HU ISSN 2062-9737

MISKOLCI EGYETEM KÖZLEMÉNYEI

Interdiszciplináris tudományok

1. kötet (2011) 1. szám

MISKOLCI EGYETEMI KIADÓ

Miskolc
2011

HU ISSN 2062-9737

MISKOLCI EGYETEM KÖZLEMÉNYEI

Interdiszciplináris tudományok

1. kötet (2011) 1. szám

MISKOLCI EGYETEMI KIADÓ

Miskolc
2011

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG

TISZA Miklós
főszerkesztő
Mechanikai Technológiai Tanszék, Miskolci Egyetem
H-3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: tisza.miklos@uni-miskolc.hu

GÁCSI Zoltán
Anyagtudományi Intézet, Miskolci Egyetem
H-3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: femtangz@uni-miskolc.hu

GINSZTLER János
Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Budapesti Műszaki Egyetem
H-1111 Budapest, XI. Bertalan L. u. 7., e-mail: jginsztler@mti.bme.hu

ILLÉS Béla
Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék, Miskolci Egyetem
H-3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: altilles@uni-miskolc.hu

KUNDRÁK János
Gépgyártástechnológiai Tanszék, Miskolci Egyetem
H-3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: ggytkj@gold.uni-miskolc.hu

POKORÁDI László
Műszaki Menedzsment és Vállakozási Tanszék, Debreceni Egyetem
H-4032 Debrecen, Ótemető u. 2-4., e-mail: pokoradi@eng.unideb.hu

ROÓSZ András
Fémtani és Képlékenyalakítástani Tanszék, Miskolci Egyetem
H-3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: femroosz@uni-miskolc.hu

SZABOLCSI Róbert
Katonai Robotika Tanszék, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
H-1581 Budapest, Pf. 15. e-mail: szabolcsi.robert@zmne.hu

SZIGETI Ferenc
Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológiai Tanszék,
Nyíregyházi Főiskola, H-4400 Nyíregyháza, Sóstói u. 31./B
e-mail: szigetif@nyf.hu

SZŰCS Péter
Környezetgazdálkodási Intézet, Miskolci Egyetem
H-3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: hgszucs@uni-miskolc.hu

TIHANYI László
Kőolaj és Földgáz Intézet, University of Miskolc
H-3515 Miskolc-Egyetemváros, E-mail: tihanyil@kfgi.uni-miskolc.hu

TÓTH László
Gépészmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem
H-4032 Debrecen, Ótemető u. 2-4., e-mail: tlaszlo@bzlogi.hu

A kötetet szerkesztette:
TISZA MIKLÓS

Kiadja: a Miskolci Egyetem
A kiadásért felelős: a Miskolci Egyetem rektora
Megjelent a Miskolci Egyetemi Kiadó gondozásában
Felelős vezető: Dr. Péter József

Készült:
a Miskolci Egyetem Sokszorosító Üzemében
A sokszorosításért felelős: Kovács Tibor üzemvezető
Példányszám: 250; HU ISSN 2062-9737

TARTALOMJEGYZÉK

Oldal

Előszó
Tisza Miklós 9

Logisztika a tudományban és a gazdaságban
Illés Béla 11

Reaktív gátak komplex tervezése
Madarász Tamás, Szűcs Péter, Lakatos János, Gombkötő Imre, Szántó Judit, Radeczky János, Trauer Norbert, Zákányi Balázs, Székely István 21

Katonai robotok számítógéppel támogatott tervezése: Quadro Lab szakmai műhely létesítése az új, nemzeti közszolgálati egyetemen
Szabolcsi Róbert 31

Alakíthatósági elemzések inkrementális lemezalakításnál
Tisza Miklós 43

A karbantartás, mint a termelésmenedzsment támogatója
Vermes Pál 55

Egyenes alkotójú hengeres test körüli határréteg-áramlás numerikus vizsgálata, Kalmár László, Czibere Tibor 69

A szemcsék és a szemcsehalmazok néhány geometriai és topológiai kérdéséről, Lámer Géza 79

Néhány megjegyzés a burkolófelületek vizsgálatához
Nándoriné Tóth Mária 87

Flow-shop ütemezési feladatokat megoldó genetikus algoritmus mutáció operátorainak érzékenységvizsgálata, Oláh Béla 95

Mátrixalgebrai hibafa-érzékenységelemzés
Pokorádi László 103

Határréteg áramlás lejtőn
Vadászné Bognár Gabriella, Hriczó Krisztián 111

Új fázisok kialakulása grafittal adalékolt Si_3N_4 kerámia kompozitokban
Koncsik Zsuzsanna, Marosné Berkes Mária, Kuzsella László 119

Csatornacső anyagok hidegtűrő képességének vizsgálata
Ráthy Istvánné, Fórián Sándor, Tompa Krisztián, Kéki Sándor 127

Oldal

Alapanyag-rangsorolás problémák a beszállítói minőségbiztosításban
Varga Tamás 135

Speciális geometriájú gépelemek rekonstrukciója
Bihari Zoltán, Szente József 143

A fúrószerszám és a munkadarab érintkezésekor fellépő mechanikai kölcsönhatás vizsgálata modellezéssel
Dezső Gergely, Varga Gyula, Szigeti Ferenc 151

Spiroid csiga matematikai, geometriai modellezése és gyors prototípus gyártása, Dudás Illés, Bodzás Sándor 159

Vápa összetett vizsgálata
Dudás Illés, Monostoriné Hörcsik Renáta 167

Kopásálló acélok környezettudatos fúrása során a technológiai paraméterek hatásának vizsgálata,
Kovács Attila, Varga Gyula, Szigeti Ferenc 173

A holonikus gyártórendszer optimalizálási lehetősége
Mándy Zoltán, Dudás Illés 181

Dörzsköszörülés jósági mutatói és technológiai optimálása
Szabó Ottó 189

Indítómotorok modellezésére alkalmas módszerek összehasonlító elemzése
Kovács Ernő, Füvesi Viktor 197

Anyagmozgató felrakógép tervezési lépései
Vitális Csaba, Szabó Zoltán, Hajdu Sándor, Kulcsár Béla 205

Erőműi szerkezeti elemek élettartam gazdálkodásának támogatása a törésmechanika alkalmazásával, Lukács János 213

Üvegek maradó feszültségének jellemzése műszerezett karcvizsgálattal,
Marosné Berkes Mária, Koncsik Zsuzsanna 221

Foto-elektromos energiatermelő rendszer üzemeltetésének tapasztalatai
Hagymássy Zoltán, Gindert-Kele Ágnes 229

Vasbetonszerkezetek diagnosztikája
Boda István, Pankhardt Kinga, Kovács József, Almássy Piroska 235

Dinamikus teherrel terhelt acél gerenda megerősítése utófeszítés alkalmazásával, Radnay László, Iványi Miklós 243

Csónakhinta az egyiptomi piramisok építéstechnológiája
Csanády Gábor 251

Oldal

Passzívház fűtési energiaigényének fedezése sugárzási hőnyereséggel
Kozmáné Szirtesi Krisztina 259

Fél-merev oszloptalpak tervezése az EUROCODE 3 szabvány szerint
Viczián Csaba 267

Próbamérések terepi körülmények között könnyű ejtősúlyos dinamikus terhelőtárcsával, Makó Ágnes 275

Porózus kőzetekben történő beszivárgás meghatározása
Kompár László 283

Hol van termál-karsztvíz a Bükk-térségben?
Lénárt László 291

A bükki karsztvízszint észlelő rendszer által szolgáltatott adatokon végzett vízminőségi monitoring bemutatása és statisztikai módszerek alkalmazása
Németh Ágnes, Szegediné Darabos Enikő, Lénárt László 299

Az ACE algoritmus alkalmazása karsztvízszint adatok hidrogeológia vizsgálatára, Szűcs Péter, Darabos Enikő, Németh Ágnes 307

Az ivóvízminőség-javító program Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei sajátosságai, Virág Margit 315

Ásványi szenek alkalmazhatósága a szennyezések tovaterjedését megakadályozó gát-technológiákban
Lakatos János, Madarász Tamás 325

DNAPL szennyezések transzport-modellezési lehetőségei a GMS programban, Zákányi Balázs 333

A környezetvédelem egyik alappillére az egészségtudatosság, felmérés a környezetmérnök hallgatók körében
Ozsváth Gábor, Tóth Ilona, Godó Zoltán Attila 341

Elemanalitikai módszerek összehasonlítása halak nehézfémtartalmának kimutathatósága szempontjából
Czédli Herta, Szíki Gusztáv Áron 349

Távérzékelés és informatika a mezőgazdaságban
Gindert-Kele Ágnes, Hagymássy Zoltán 357

A szőlőhegyek és pajták egymáshoz viszonyított elhelyezkedése és kapcsolata, Kántor Anita 363

ELŐSZÓ

A Miskolci Egyetem Közleményei jellemzően tematikus sorozatokban adnak számot a Miskolci Egyetem egyes karain folyó tudományos kutatómunkáról. A számos tudományterületet integráló, sokkarú egyetem fejlődése azonban egyre inkább szükségessé tette egy olyan karközi, interdiszciplináris kiadvány létrehozását, amelyben az egyetem karai által művelt legkülönfélébb területekről származó tudományos közlemények látnak napvilágot. A társadalomtudományi (a jogi, a gazdaságtudományi és a bölcsészettudományi) karok e célból már korábban megalapították a Miskolci Egyetem közleményei sorozatban az *Európai Integrációs Tanulmányok* címet viselő karközi kiadványt. Hasonló célkitűzés jegyében alapították meg az egyetem műszaki karai az anyagtudományi, a föld- és környezettudományi, a gépészeti és informatikai tudományok eredményeinek közös megjelentetésére a *Miskolci Egyetem Közleményei, Interdiszciplináris tudományok* című karközi kiadványt.

Az olvasó e karközi kiadvány első évfolyamának 1. számát tartja most kezében, amelyben a Miskolci Egyetemen 2011. május 18-án megrendezett *Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2011* című konferencián elhangzott előadásokból, a konferencia Szervező Bizottsága által kiválasztott, az egyetemi közleményekben publikálásra elfogadott közleményeket tartalmazza.

Ezt a rendezvényt a „*Műszaki Tudomány az Észak Alföldi Régióban*" című konferencia-sorozat folytatásaként szerveztük és rendeztük meg. A sorozat a Magyar Tudományos Akadémia Debreceni Területi Bizottság (DAB) Műszaki Szakbizottságának javaslatára indult 2006-ban. Indulásakor, a konferencia szervezői – amint a konferencia megnevezése is tükrözi – az Észak-Alföldi régió műszaki tudományos életének bemutatását fogalmazták meg fő célkitűzésként.

Az első rendezvénynek a Nyíregyháza Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Kara adott otthont, 2006-ban. Ezt követően a konferencia „körbejárta" a régiót. A soron következő évek rendezvényeinek a régió felsőoktatási intézményei adtak otthont: 2007-ben a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki Kar Repülőműszaki Intézete, Szolnokon; 2008-ban a Debreceni Egyetem Műszaki Kara, Debrecenben; 2009-ben a Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Kara, Mezőtúron és 2010-ben a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Kara, Nyíregyházán volt a rendezvény házigazdája.

2010-ben csatlakozott a rendezvényhez, akkor, mint közreműködő-szervező, az MTA Miskolci Területi Bizottság Gépészeti Szakbizottsága. Ekkor született az a döntés, amelynek alapján 2011. május 18-án, Miskolcon, kibővített címmel és tartalommal a Miskolci Egyetem adott otthont a két régió – az Észak-Alföld és az

Észak-Magyarországi Régió – műszaki tudományos életét, aktuális eredményeit bemutató konferenciának.

A konferenciára a Szervező Bizottság a beküldött összefoglalók alapján nyolc szekcióban, összesen 70 előadást fogadott el, amelyet a Miskolci Egyetem mellett, a Debreceni Egyetem, a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Kara, a Szolnoki Főiskola Műszaki és Agrárgazdálkodási Intézet, valamint a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Hadmérnöki Kar, Repülő és Légvédelmi Intézetének oktatói-kutatói tartottak. A konferencián a felsorolt intézményekből összesen mintegy 100 fő vett részt.

E mintegy 70 előadásból a konferencia Szervező Bizottsága e kiadványban való megjelentetésre 43 konferenciacikket választott ki, amelyeket a kiválasztott előadások szerzői a Miskolci Egyetem Közleményei formai és tartalmi követelményeinek figyelembevételével dolgoztak át.

A kötetben átfogó tudományos cikkeket olvashatunk korszerű anyagtudományi és technológiai fejlesztésekről, a logisztika tudományáról, a termelés- és karbantartás menedzsment legújabb eredményeiről és olyan különleges témákról is, mint a katonai robotok számítógéppel támogatott tervezése. A konferencián hagyományosan egy szekció keretében, a közreműködő intézmények hallgatói tudományos munkájának bemutatására is lehetőséget biztosítottunk és a legkiválóbbak e szekcióból is bekerültek a kiadványba.

E folyóirat elején, a konferencián meghívott előadók által tartott, átfogó plenáris előadások anyagát olvashatjuk. A szekciókban elhangzott – közel 70 előadásból kiválasztott további előadások anyagát átfogó, nagyobb témakörök szerinti csoportosításban adjuk közre.

A kötet szerkesztőinek meggyőződése, hogy amellett, hogy a kiválasztott cikkek jól tükrözik a résztvevő intézményekben folyó kutatómunkát, színvonalas, értékes kutatásokról adnak számot, amely egyúttal e konferencia sorozat létjogosultságát is alátámasztja.

A kötet szerkesztője ezúton is köszönetét fejezi ki valamennyi közreműködőnek a kéziratok gondos elkészítéséért. Ugyancsak köszönetünket fejezzük ki a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt által nyújtott támogatásért, amely lehetővé tette a színvonalas kiadvány megjelentetését.

A Szerkesztőbizottság nevében

Dr. Tisza Miklós
a Miskolci Egyetem Közleményei
Interdiszciplináris tudományok
különkiadás szerkesztője

Miskolc, 2011. augusztus

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 11-20.

LOGISZTIKA A TUDOMÁNYBAN ÉS A GAZDASÁGBAN

Illés Béla
tanszékvezető egyetemi tanár
Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék,
3515 Miskolc-Egyetemváros
altilles@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A logisztika tudományterület kialakulása szorosan kapcsolódik az anyagmozgatási tevékenység több ezeréves fejlődéséhez. Az alapvető anyagmozgatási tevékenységektől (R-S-T; rakodás-szállítás-tárolás) napjainkig eljutottunk az anyag- és információáramlás komplex átfogásáig a termelés és piac együttes kezelésén keresztül. Az anyag- és információáramlás kezeléséhez már meglévő tudományterületek meglévő részeit veszi ki és összegzi a logisztika, hogy az anyag- és információáramlás tervezhető, irányítható, ellenőrizhető, fejleszthető és működtethető legyen. Ezek segítségével feltárhatók a logisztikai folyamatok főbb kapcsolati rendszerei, jellegzetes információáramlásai, a hálózati szintű logisztikai irányítás információs kapcsolatai. A logisztika fejlődési tendenciáin át bemutatjuk az elektronikus piacterek szerepét.

Kulcsszavak: *anyagmozgatás, információáramlás, logisztika, integrált tudomány, hálózatok*

Abstract

Establishment of logistics science has close relation to thousand years of development of materials handling activities. There was a long process from the basic material handling activities (loading-transport-storage), across the integrated management of the production and the market, till the present complex management of material- and information flows. Logistics applies and utilizes the elements of existing science fields to manage material- and information flows, that the material- and information flows could be planned, controlled, verified, improved and operated. The main relations of logistics processes, typical types of information flows and information relations of network like logistics controlling can be identified. The electrical market place will be described through logistics development tendencies.

Keywords: *Material flow, information flow, logistics, integrated science, networks*

1. Történeti áttekintés

Az emberiség történetében már több ezer évvel ezelőtt megjelentek az igények az alapvető anyagmozgatási tevékenységek vonatkozásában. Az alapvető anyagmozgatási tevékenységeknek a rakodás, a szállítás és a tárolás, vagyis az R-S-T tevékenységek tekinthetők.

Az egyiptomi piramisok létrehozásához nagy mennyiségű, nagy tömegű anyagok kezelését kellett megoldani. A nagy tömegű tárgyak emelése több ezer évvel ezelőtt megfogalmazták az emelőgépek szükségletét. A bányászati tevékenységek szintén több ezer évvel ezelőtt igényelték a nagy mennyiségű anyag tárolását és szállítását.

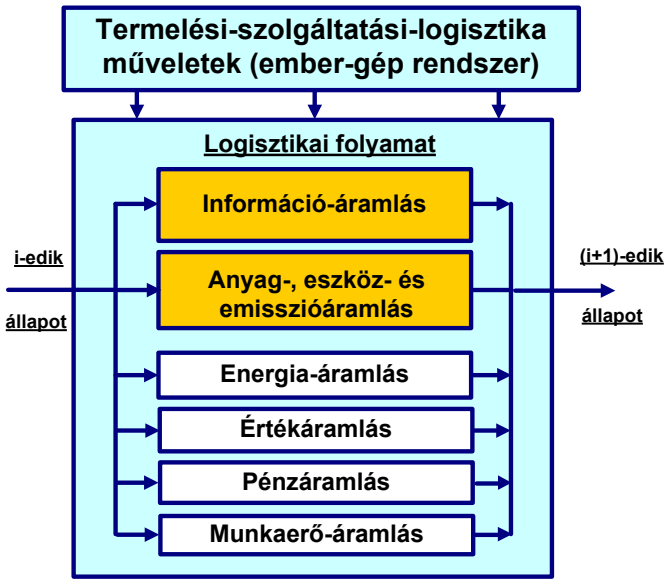
Az R-S-T tevékenységekre az emberiség történetében mindig volt igény. Ezek az igények voltak a fejlődés rugói az anyagmozgatás területén. Az igényeknek megfelelően külön-külön az R-S-T tevékenységeknél kialakulnak az anyagmozgató eszközök. Az erőgépek felfedezése (gőzgép, robbanó motorok, stb.) megteremti a lehetőségét a nehéz fizikai munka kiváltására. A különböző anyagmozgató eszközök együttes alkalmazása elvezet bennünket az anyagmozgató rendszerekhez. Az anyagmozgató rendszerek teremtik meg a termelési folyamatokban a rendszerteremtő képességet. A rendszerteremtő képesség eredményként csökken a termékek átfutási ideje, csökken az alkalmazott raktárkészlet, nő a termelőberendezések kihasználása és egy meghatározott ütemesség jellemzi a folyamatot.

A piacokon bekövetkezett változások – egyedi igények, széles és dinamikusan változó termékstruktúra, rövid termék-életciklus, rövid sorozatok, csökkenő termelési mélység – a vállalatok termelési folyamatát is módosítják. Megjelennek a beszállítók, a piac és a beszállítói hálózat globalizálódik. A globalizáció igényli az anyagáramlás és információáramlás – a logisztika – összekapcsolását és komplex kiterjesztését a beszállítástól az újrahasznosításig. Ennek a feladatnak kell megfelelnie egy új tudományterületnek, a logisztikának.

2. A logisztikai rendszer meghatározása

A logisztikai rendszer és állapotváltozásának a meghatározását segíti az 1. ábra, amely alapján a következőket állapíthatjuk meg:

- a logisztikai rendszer az i. állapotából az (i+1). állapotába kerül, ha anyagáramlás és a hozzátartozó információáramlás történik,
- az anyag- és információáramlás mellett természetesen további áramlások is történnek, de a meghatározó mindig az anyag- és információáramlás,
- a logisztikai rendszer egy ember-gép rendszer, ahol mind a gép és mind az ember fontos szerepet játszik.



1. ábra *A logisztika folyamat meghatározása*

Természetesen egy rendszer működését paraméterek írják le. A logisztikai rendszereknél ilyen paraméterek a következők:

- honnan indul és hová történik az anyagáram (forrás, nyelő);
- milyen intenzitású az anyagáram;
- mikor kezdődik és mikor végződik az anyagáram;
- milyen anyag áramlik, stb.

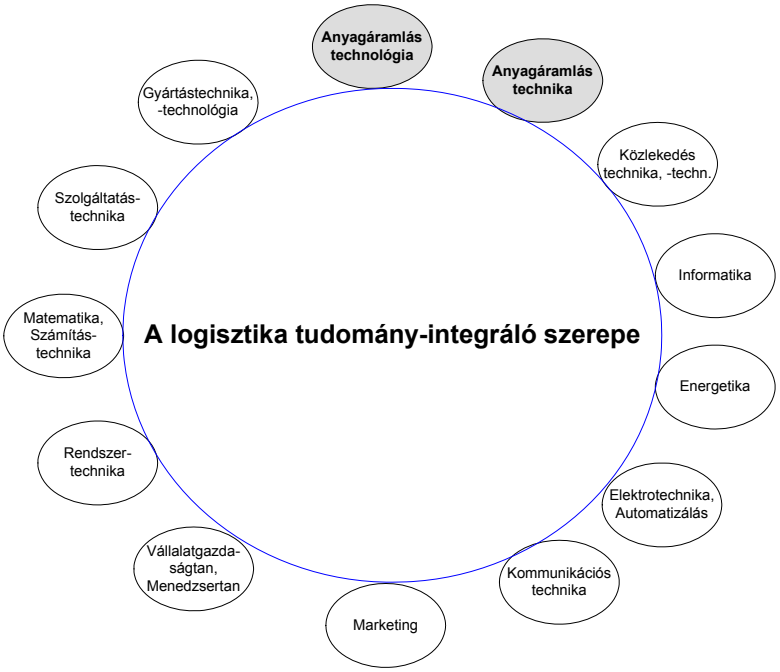
A felsorolt paraméterek időben adott értékhatárok között változó, sztochasztikus jellegű értékek. Ezek kezelése és pontos meghatározása jelenti alapvetően a logisztikai rendszerek és folyamatok működtetésének alapvető problémáit. Ezen problémák kezelésére vonatkozóan támaszkodik a logisztika különböző tudományterületek már meglévő eredményeire.

3. A logisztika tudomány-integráló szerepe

A logisztikai folyamatok működtetéséhez, tervezéshez, irányításához, vezérléséhez, kontrollingjához különböző tudományterületek már meglévő eredményeinek integrálása és felhasználása szükséges. Ezt mutatja a 2. ábra, amely alapján a következőket állapíthatjuk meg:

- a logisztikai magába foglalja a tipikus anyagáramlási és információáramlási tudományterületeket,

- különböző műszaki tudományterületekből emel ki részeket azért, hogy a logisztikai folyamat tervezhető, irányítható, stb. legyen,
- különböző gazdaságtudományi területekből is kivesz részeket, amelyekkel a logisztikai folyamat kontrollingja, menedzselése megoldható,
- alap tudományterületekből használ fel részeket, amelyekkel a logisztikai folyamat szimulálható, optimálható.

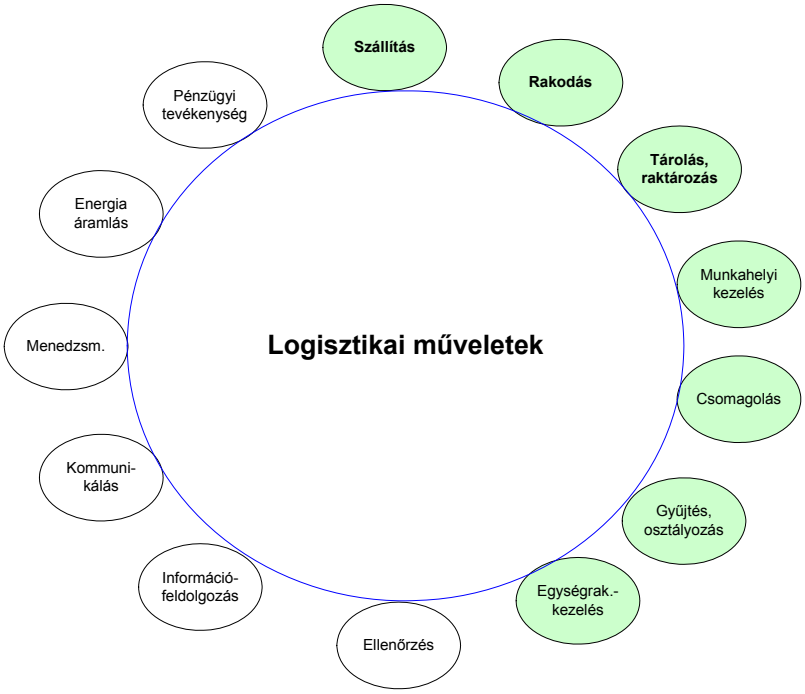


2. ábra *A logisztika, mint integrált tudomány*

Ezek a megállapítások azt támasztják alá, hogy a logisztika épít más tudományterületek meglévő eredményeire és ezeket az anyag- és információáramlással összefüggő tevékenységeknél felhasznál.

4. Logisztikai műveletek és állapotváltozások

A jellegzetes logisztikai műveleteket a 3. ábra mutatja. A 3. ábra arra hívja fel a figyelmet, hogy a hagyományos R-S-T műveletek mellett jelentős számú és szerteágazó egyéb tevékenységet is megvalósít a logisztika. Ezek a műveletek alapvetően függenek az informatika és információs technológia fejlettségétől. Mivel az említett két tudományterület napjainkban rohamosan fejlődik, így a logisztika fejlődése is biztosított.



3. ábra *Jellegzetes logisztikai műveletek*

A 4. ábra azt elemzi, hogy lehetséges-e az állapotváltozási paraméterek valamelyikét kiemelni a logisztikai folyamatoknál. Az x jel a paraméter fontosságát jelenti adott logisztikai művelet esetén.

Logisztikai műveletek		Állapotváltozás							
	Művelet	**Hely**	**Idő**	**Meny-nyiség**	**Minőség**	**Energia**	**Információ változás**	**Érték-változás**	**Emisszió**
Anyag-áramlás	Szállítás	xx	xx			xx		xx	xx
	Rakodás	x	x			x	x	x	x
	Tárolás-raktározás		xxx			x		x	x
	Csomagolás		x	x	xx	x		x	x
	Gyűjtés, osztályozás		x	x	xx	x		x	x
	ER képzés-bontás		x	xx	(x)	x		x	x
Információ-áramlás	Ellenőrzés, állapot felügyelet		x			x	xx		
	Információ gyűjtés, áramoltatás, feldolgozás és tárolás		x			x	xxx		
	Kommunikálás a rendszerrel		x			x	xx		
Energia	Energia-áramlás		x						x

4. ábra *Logisztikai műveletek állapotváltozási paraméterei*

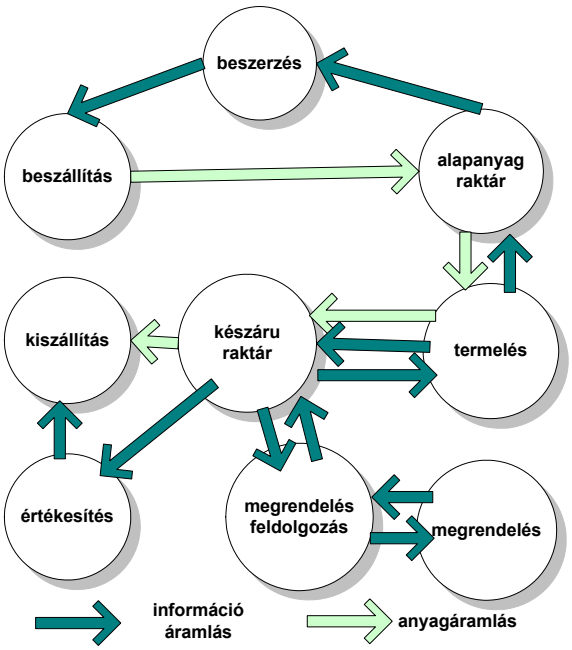
Megállapítható, hogy nem lehet kiemelni egy paramétert sem fontosság alapján az állapotváltozás során, vagyis minden paraméter kezelése fontos.

5. A logisztika egyszerűsített anyag- és információáramlása

A beszállítók előtérbe kerülése, valamint a megváltozott piaci igények együttes tárgyalását segíti elő az 5. ábra. Az 5. ábra alapján levezethetők a piaci igények kielégítésének jellegzetes esetei.

- közvetlenül a készáru raktárból,
- a termelés-készáru raktár úton át,
- az alapanyag raktár – termelés - készáruraktár úton át,
- a beszállító – alapanyagraktár – termelés - készáruraktár úton át.

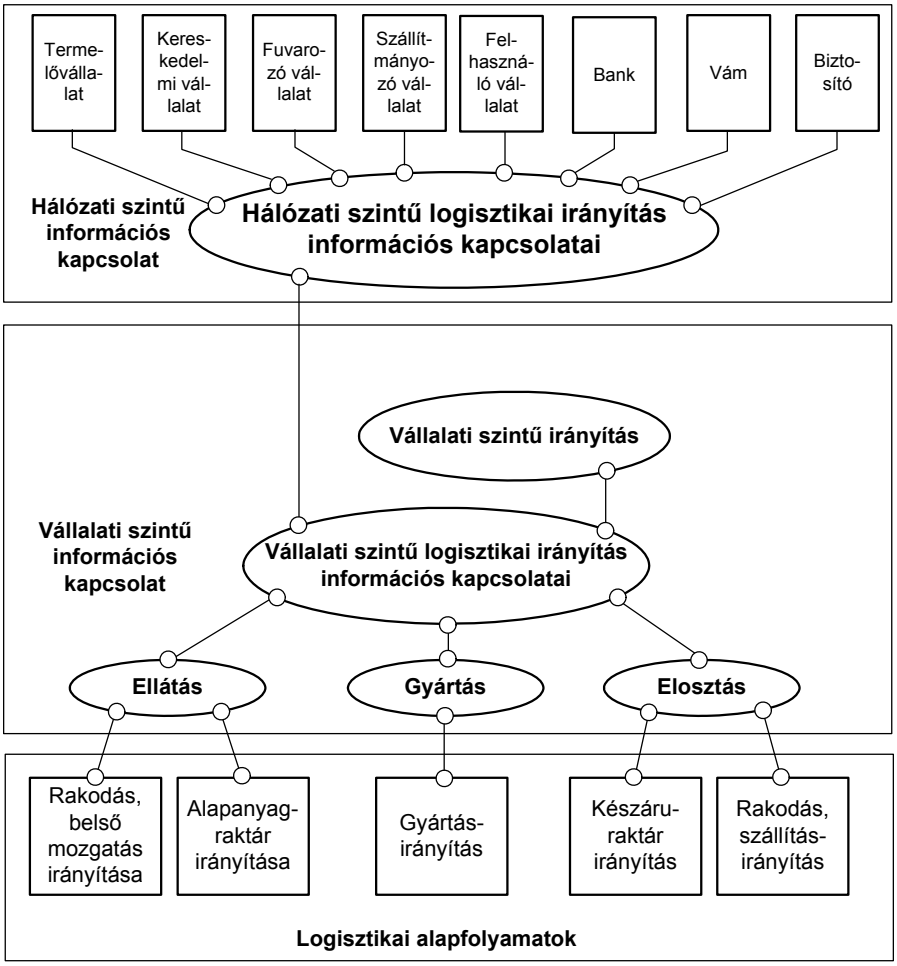
Ezekhez az anyagáram útvonalakhoz hozzátartoznak az anyagáramot kiváltó, kísérő és nyugtázó információk is.



5. ábra *A logisztika egyszerűsített anyag és információ áramlása*

6. A logisztika fejlődési tendenciái és ezek megnyilvánulása a logisztikai rendszereknél

Az előzőkben már említettük a piacokon történt változásokat, amelyek a logisztika fejlődését is megalapozták. A változások hatására a logisztikai rendszerek osztott intelligenciás, hierarchikus struktúrák alapján működnek (6. ábra).



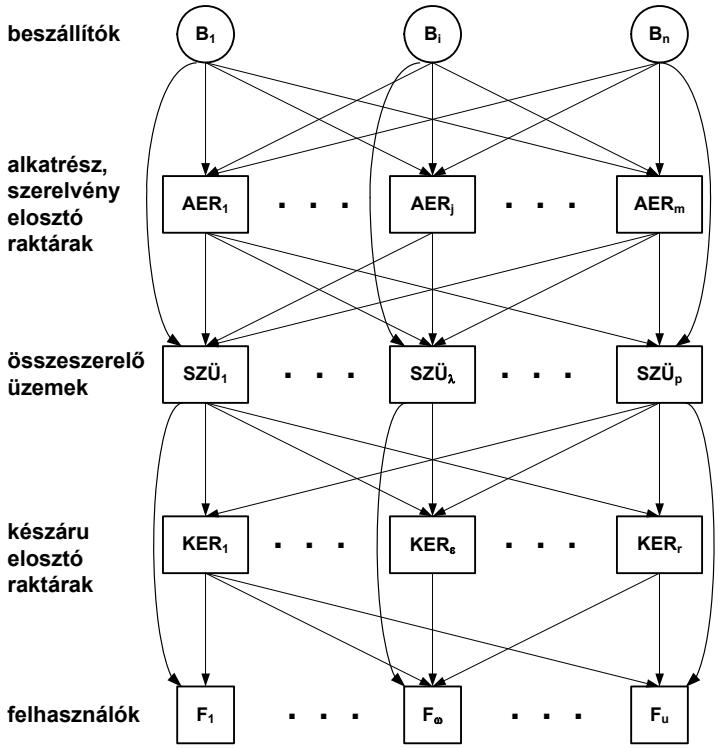
6. ábra *Osztott intelligenciás, hierarchikus logisztikai rendszer*

A változások a következőkben foglalhatók össze:

- egyedi piaci igények széles földrajzi elhelyezkedéssel,
- dinamikusan változó, sok terméket tartalmazó termékstruktúrák,
- folyamatosan csökkenő termelési mélység,

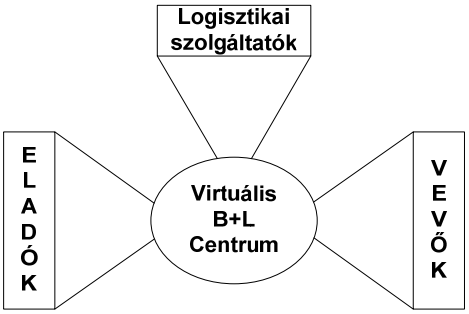
- percre-kész (JIT) elvű beszállítások és kiszállítások,
- gyártani vagy vásárolni elv folyamatos vizsgálata,
- vevő-orientált logisztikai szolgáltatások,
- legjobb gyakorlat, legjobb elmélet módszereivel történt összehasonlítások,
- több telephelyes vállalati struktúrák,
- beszállítói hálózat kialakulása,
- logisztikai rendszerek hálózatszerű működtetése,
- feladatok outsourcing-ba adása,
- folyamatok újjászervezése, folyamatorientált szemlélet,
- lean production filozófia alkalmazása.

A termelési folyamatok jellegzetes, hálózatszerűen működő logisztikai rendszerekben valósulnak meg (7. ábra).



7. ábra *Hálózatszerű logisztikai rendszer*

Kialakulnak az elektronikus piacterek, amelyek nagyszámú eladó, nagyszámú vevő és nagyszámú logisztikai szolgáltató optimális együttműködését valósítják meg.



8. ábra *Elektronikus piactér*

Az elektronikus piactér jellemzői:

- **nagy számú**: eladó, vevő és logisztikai szolgáltató,
- a **Virtuális B+L Centrum** optimalizálja az üzleti és a kapcsolódó logisztikai folyamatokat (szállítás, tárolás, csomagolás, egységrakomány képzés stb.),
- a **Virtuális B+L Centrum** megvalósítja az elektronikus piacteret.

7. Összefoglalás

A logisztika napjaink gazdaságának meghatározó eleme. Az informatika és az információs technológiák rohamos fejlődése az alapot, a piac és a termelés anyag- és információáramlásának komplex átfogása az igényt adta a logisztika számára. A termelés és a szolgáltatás fejlődése négyzetes fejlődést igényel a logisztikai részéről. Ezek a tények alátámasztják azt, hogy a logisztika napjaink tudománya.

8. Köszönetnyilvánítás

Az ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

9. Felhasznált irodalom

[1] Cselényi J.; Illés B.: *Logisztikai rendszerek*; Miskolci Egyetemi Kiadó 2004.; p.: 1-369

[2] Cselényi J.; Illés B.:*Anyagáramlási rendszerek tervezése és irányítása*; Miskolci Egyetemi Kiadó 2006. ISBN 963 661 672 8; p 1-380

[3] Illés B.; E. Glistau; Norge I.C.Machado: *Logisztika és Minőségmenedzsment;* Miskolc 2007.; ISBN 978 963 87738 0 7 p.: 1-196

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 21-30.

REAKTÍV GÁTAK KOMPLEX TERVEZÉSE

Madarász Tamás, Szűcs Péter, Lakatos János, Gombkötő Imre, Szántó Judit, Radeczky János, Trauer Norbert, Zákányi Balázs, Székely István

Levelező szerző: Madarász Tamás, egyetemi docens; hgmt@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515, Miskolc-Egyetemváros,

Összefoglalás

Reaktív gátakat (PRB-ket) a 90-es évektől kezdődően egyre elterjedtebben alkalmaznak a szennyezett területek felszín alatti vízszennyezéseinek felszámolására. A műszaki beavatkozás során a szennyező csóva útjában egy megfelelően méretezett, és a szennyezés mentesítésére alkalmas áteresztő gátat alakítunk ki. Miközben a felszín alatti víz a reaktív falon áthalad a szennyezőanyag a reagens felületén kicsapódik, adszorbeálódik vagy lebomlik, így a fal mentett oldalán már a tisztított talajvíz lép ki. Cikkünkben egy újszerű reaktív gát alkalmazás koncepcióját és méretezésének legfontosabb szempontjait és lépéseit mutatjuk be.

Kulcsszavak: *reaktív gátak, huminsav tartalmú töltet kifejlesztése, környezetbeillesztés, méretezés*

Abstract

Since the 90s there is a widespread technology for passive remediation alternatives that is called Permeable Reactive Barriers (PRBs). The remediation is based on a carefully designed permeable barrier installed in the path of the moving dissolved plume that is capable to treat the groundwater. While groundwater moves through the permeable wall the pollutants are precipitated, adsorbed or decomposed and water with acceptable quality leaves the safe side of the wall. The traditional reactive materials applied in such installations are iron and active carbon granulates. Our paper shows the concept and design protocol of a new generation of reactive barriers.

Keywords: *Permeable reactive barriers, development of new reactive materials, hydraulic compliance; design protocol*

1. A projekt bemutatás, célja

A felszín alatti víz szennyezések kezelésének legáltalánosabban alkalmazott technikája az ún. „pump-and-treat" eljárás, amelynél víztermelő és besajtoló műtárgyak segítségével a szennyezett talajvizet kiemeljük, a területen tisztítjuk és a tisztított vizet visszasajtoljuk a vízadóba. Az eljárás során minden esetben bizonytalanságot jelent, hogy a szennyezett terület teljes kiterjedéséről egyenletesen be tudjuk-e fogni a szennyezett vizet, és nem hagyunk-e hátra szennyezett elszigetelt „lesza-

kadt" csóvákat. A beavatkozás során egy hosszú távú, folyamatos üzemű, költséges és állandó felügyeletet igénylő aktív kármentő rendszert kell hónapokon/éveken át üzemeltetni [1]. Ezért egyre növekszik azoknak a műszaki megoldásoknak a jelentősége, amelyek a szennyező anyagokat nem „kitermelik" és tisztítják, hanem a talajvíz útjába helyezett reaktív közeg által, a szennyezőkkel reakciót előidézve, azokat kevésbé toxikus vagy veszélytelen formájúvá alakítják át, vagy kivonják a tovaáramló közegből [2]. A fenti elven működő permeábilis reaktív gátak (Permeable Reactive Barrier; PRB) kialakításának egyik alapfeltétele a szennyezővel kölcsönhatásba lépő reaktív gátkomponens kiválasztása. A műszaki beavatkozás során a szennyező csóva útjában egy megfelelően méretezett, és a szennyezés mentesítésére alkalmas áteresztő gátat alakítunk ki. Miközben a felszín alatti víz a reaktív falon áthalad a szennyezőanyag a reagens felületén kicsapódik, adszorbeálódik vagy lebomlik, így a fal mentett oldalán már a tisztított talajvíz lép ki [3].

A hagyományos reaktív gátanyagok a vas, és aktív szén granulátumok. A megfelelően megválasztott töltetű gátak alkalmasak szerves és szervetlen oldott szennyezők (pl. szénhidrogének, klórozott szénhidrogének, egyes peszticidek, króm és egyéb toxikus fémek, nitrát és szulfát tartalmú szennyezések, valamint savas bányavizek (AMD)) mentesítésére [4]. Kutatócsoportunk töltetanyagként huminsav tartalmú természetes anyagokat alkalmaz, amelyek bekerülési költsége legalább egy nagyságrenddel kisebb az aktív szén töltetétől és bár szennyezés visszatartó képessége (CRC) elmarad attól, de laboratóriumi kísérletek igazolják, hogy annak kb. 30%-át elérheti. Kimerülése esetén a költsége regenerálás helyett a töltet energetikai hasznosítására és új töltet behelyezésére van lehetőség. Amennyiben a reaktív falas eljárás gazdaságossá és így elérhetővé válik a kármentesítést végző számára, a pump-and-treat eljárást bizonyos esetben kb. 40-50%-kal olcsóbb technológia válthatja fel [5].

Az új generációs reaktív fal alkalmazásának másik innovatív sajátossága, hogy a fal műszaki kialakításakor a töltetet kiemelhető betétek formájában helyezzük el a műtárgyban. A kimerült betétek szükség esetén új betétekre cserélhetők. A kimerült és kiemelt betétek energetikai hasznosítása - megfelelő előkészítés után – megoldható.

2. A lignit alapú töltet fejlesztése

A töltet kifejlesztése során elsősorban lignit mintákat vizsgáltunk. A lignitnek négy szemcsetartományával (0/5 mm frakciók, azon belül 0,125/0,25mm, 0,25/0,5 mm és 0,5/1mm) külön-külön végeztük el a vizsgálatokat, emellett meghatároztuk a minta jellemző fizikai tulajdonságait (sűrűség, szemeloszlás, nedvességtartalom).

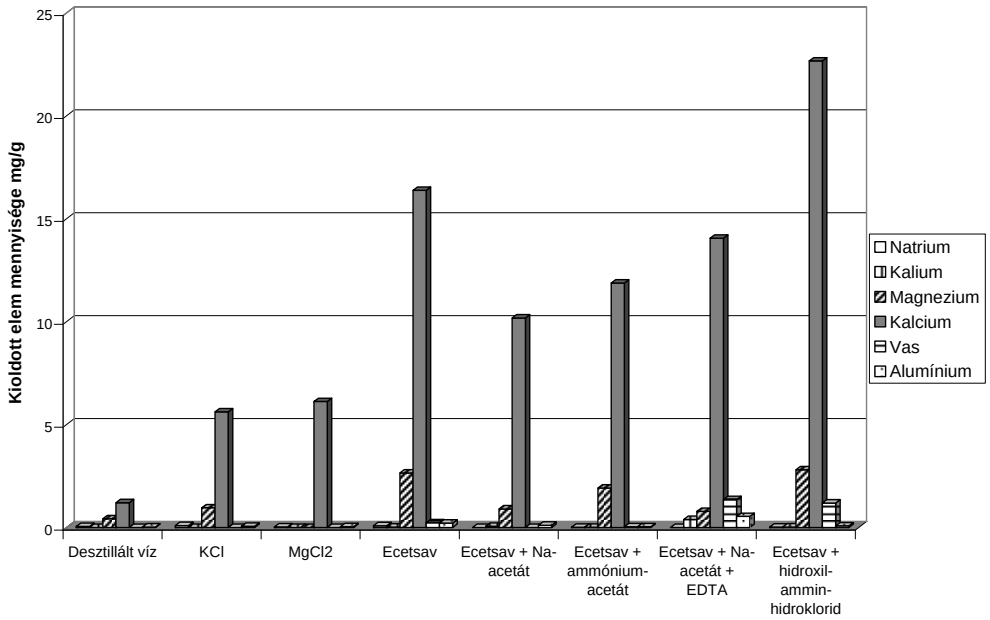
A töltetként használandó anyag esetében ismernünk kell, hogy az milyen fémiont tartalmaz a cserehelyeken, s a toxikus fémion megkötésekor milyen ionokat bocsáthat ki a környezetbe. Megvizsgáltuk a szén cserehelyeiről, valamint a kísérő szervetlen meddőből mobilizálható ionok összetételét (Ca, Mg, Na, K, Al,

Fe), mert mobilizálódásuk esetén gátból toxikus anyag juthat ki a környezetbe, illetve hatással lehetnek a gát hatékonyságára, mivel szervetlen alkotók oldódhatnak, s ez a versengés révén gátolhatja az eltávolítandó ion megkötődését [6].

A vas és az átmeneti fémek erősen kötődnek a szén cserehelyein így a versengés révén meggátolhatják a toxikus ionok megkötődését, vagy leszoríthatják a már megkötött toxikus ionokat. A komplex gát szerkezetben ezért indokolt lehet egy olyan modul beépítése, amelyik a fenti jelenséget megakadályozza. Megállapítható, hogy kalcium, magnézium és esetenként kevés vas található ioncserével mobilizálható formában. Nátrium, kálium gyakorlatilag nincs ilyen módon kötötten a szeneken (1. ábra).

A kioldódó ionok vizsgálata után a töltet legfontosabb tulajdonságát, a szorpciós kapacitását vizsgáltuk. A szorpció leírásának egyik lehetősége Langmuir izoterma alkalmazása:

$$\mathbf{c_{(s)} = q*(c_{(l)}/(c_{(l)}+b)).} \qquad (1)$$



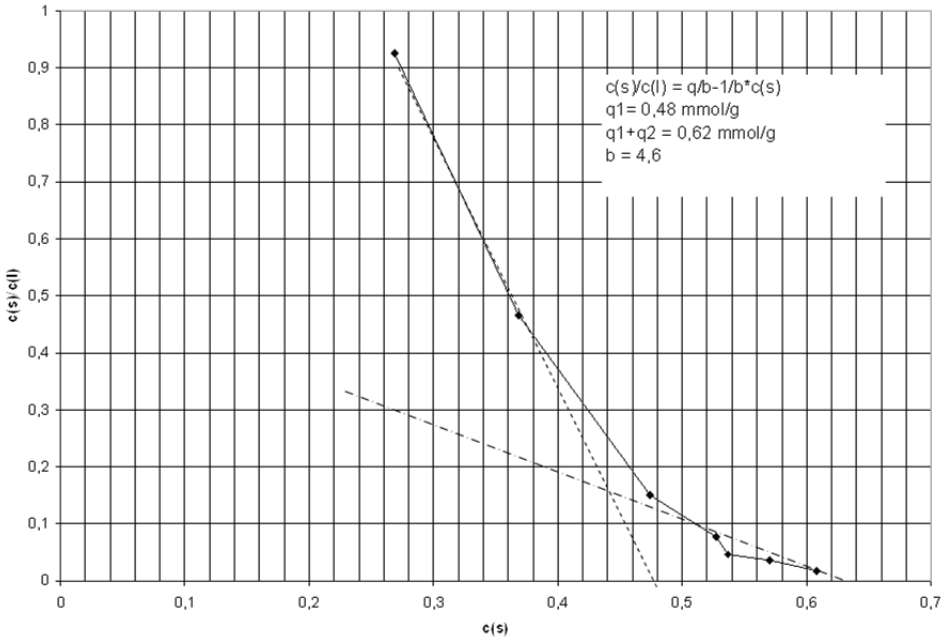
1. ábra. *Kioldott elemek mennyisége a Bükkábrányi lignit (új) 0,5<d<1 mm esetében, különböző kivonószerek hatására;*
(1:40 szilárd:folyadék arány, kontaktidő: 8 nap)

Az izoterma a szorpciót nem csak matematikailag jellemzi, hanem olyan paramétereket tesz meghatározhatóvá, mint a szorpciós kapacitás és a szorpció erőssége (q a

kapacitás, b a szorpció erősségére jellemző állandó). Az izoterma egyik jól használható linearizált formája:

$$\mathbf{c_{(s)}/c_{(l)} = q/b\text{-}1/b*c_{(s)}.} \qquad (2)$$

Az ábrázolásból megítélhető az, hogy milyen tartományban teljesül a Langmuir hipotézis. A 2. ábrán látható, hogy a szorpciós pontsor nem írható le az un. „egy felületű" Langmuir egyenlettel. A „kétfelületű" Langmuir leírást alkalmazva az erős szorpcióra és a gyenge szorpcióra nyerhetünk adatokat. A gát tervezésekor erős kölcsönhatáshoz tartozó kapacitásra alapozunk. (Ilyenkor a gyenge kölcsönhatást elhanyagoljuk, ami a valóságban ha fellép kedvező irányba tolja a gát áttörését élettartamát, felfoghatjuk egyfajta biztonsági tartaléknak a rendszer szennyezés visszatartó képessége szempontjából.) [7]

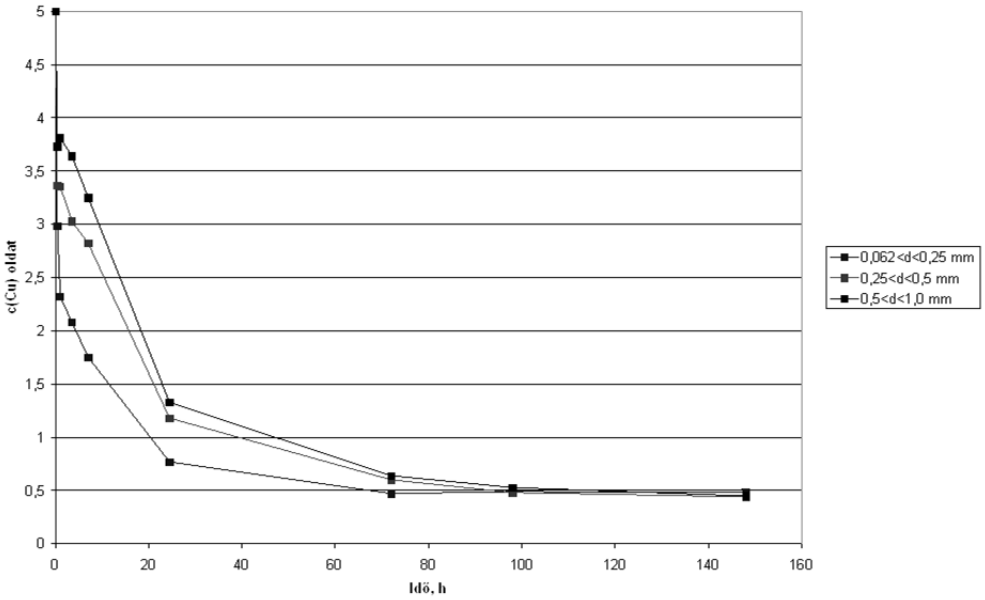


2. ábra. *Linearizált Langmuir izoterma Cu(II) megkötődése bükkábrányi ligniten. A bükkábrányi lignit különböző szemnagyság tartományú örleményei, statikus körülmények között . Szilárd: folyadék arány: 1:40. Kontakt idő:) 95 h, Nem kevert rendszer (napi két összerázás).*

Különböző eredetű szénmintákon végzett szorpciós vizsgálatokkal azt is megállapítottuk, hogy az erős kölcsönhatásokhoz tartozó, azonos szénültségű szenek kapacitása nem mutat nagy különbséget, a származási helytől függő eltérés a kapacitásokban a gyenge kölcsönhatásokhoz rendelhető. A kapacitások értékét összevetve más lehetséges gátanyagokéval látható, hogy a lignit mintegy 0,1-0,01 résznyi ka-

pacitással rendelkeznek az ioncserélő gyantákhoz viszonyítva. Az aktív szenekkel összevetve a két szorbens kapacitása egy nagyságrenden belül van. Igazoltuk, hogy az ásványi szenek a kapacitásukat tekintve megfelelő gátanyagnak tekinthetők a toxikus átmeneti és nehéz fémek eltávolítására.

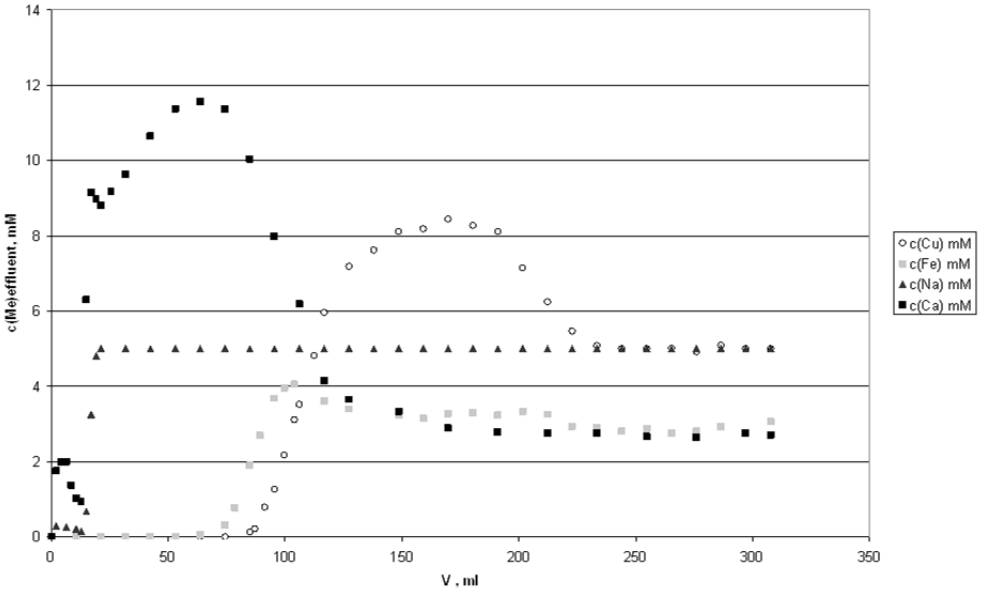
Az 3. ábrán bemutatott görbék alapján az is megállapítható, hogy a szorpció sebessége kicsi. Statikus rendszerben vizsgálva kb. 100 óra (4 nap) szükséges ahhoz, hogy az egyensúly beálljon. Ez az érték 0,01 pórustér/h áramlási sebességnek felel meg, ami a gátra alkalmazva azt jelenti, hogy egy pórustér/4 nap áthaladáskor beállhat az egyensúly és ez esetben, mint a szorpciós izotermák is mutatták lásd 3. ábra nincs szorbens részecske méret függés. A kontaktidőt ettől az értéktől kisebbnek választva van értelme modellezni.



3. ábra. *A szorpció sebessége, Cu(II) ionok megkötődése különböző méretfrakciójú bükkábrányi ligniteken.*

A statikus vizsgálatok mellett dinamikus oszlopkísérleteket is végeztünk, ahol a modellgáton átjutó ionok áttörési görbéjét vettük fel. A modellgátról lejövő folyadék jellemző ion-koncentrációjának változását a 4. ábra mutatja a besajtolt vagy átáramoltatott kezelendő folyadék térfogata függvényében. Látható, hogy a nem kötődő nátriumion egy pórustér térfogatú folyadék besajtolásakor áttör. A szorpciós helyeken, mint azt korábban megállapítottuk döntően kalcium ionok vannak ezért a réz(II) és a vas(II) ionok megkötődése miatt a kalcium ionok deszorpciója miatt ionkoncentrációja a nátriummal azonos áttörési görbén magasabbra növekszik, mint besajtolt oldat koncentrációja. Az 5 mM fölötti görbe görbealatti területének azonosnak kell lenni a megkötött réz(II) és Vas(II) ion mennyiségé-

vel. A vas(II) áttörése hamarabb következik be, mint a rézé, ennek ellenére a vas(II) a réz egy részét leszorította a cserehelyekről, ami nem biztos, hogy a vas(II)-nek tulajdonítható. A vas(II) ugyanis vas(III)-á könnyen átalakulhat és ez az ion biztosan erősebben kötődik, mint a Cu(II).



4. ábra. *A különböző ionok áttörése visontai lignit -fehérvárcsúrgói homok tölteten több iont tartalmazó folyadék áramoltatásakor. (m(lignit) 2 g, c(Cu): 5 mM, c(Na): 5mM, c(Ca): 5mM, c(Fe(II)): 5 mM, Folyadék áramlási sebesség : v: 0,1 cm3min-1 (0,5 pórustér/h)).*

3. A töltet hidrodinamikai méretezése, környezetbe illesztése

A reaktív gát környezetbe illesztése rendkívül fontos a helyes működés biztosításához. A környezetétől jelentősen kisebb szivárgási tényezővel rendelkező gát a talajvizet visszaduzzasztja és a szennyező csóva megkerüli a gátat. A lignitből készített töltetanyag szivárgási tényezőjének vizsgálata fontos része a méretezésnek, ezért a töltetanyag tulajdonságait flexibilis falú permeabiméterben vizsgáltuk, majd eltérő geometriájú gátak hidrodinamikai viselkedését modelleztük [8].

A három kiválasztott szemcsetartomány esetében laboratóriumban mértük a lignit a szivárgási tényezőjét (1. táblázat), ezután a homok és lignit különböző arányú keverékeinek szivárgási tényezőjét vizsgáltuk, hogy meghatározzuk az egyes hidraulikai környezetben alkalmazható töltet-homok keverék arányokat. Négy lignit/homok keverési arányt alkalmaztunk: 90/10%; 50/50%; 30/70%; 10/90%. A homok arányának változtatásával a szorpciós kapacitás állandó értéken tartása mel-

lett beállítható a töltet szükséges hidraulikai paramétere, azaz a töltet a környezetébe illeszthető. A töltet variánsok szivárgási tényező értékeit mátrixokban foglaltuk össze és színkódokkal jelöltük a szivárgási tényező tartományokat (5. ábra).

1. táblázat.

Szemcsetartomány	**k szivárgási tényező értéke**
0,5-1 mm	$1{,}39.10^{-4}$m/s
0,25-0,5 mm	$5{,}3.10^{-5}$m/s
0,063-0,25 mm	$5{,}86.10^{-7}$m/s

Szivárgási tényező (k) [m/s]		**Lignit-0,1-es homok keverési arányok**			
		90%:10%	**50%:50%**	**30%:70%**	**10%:90%**
Lignit minták szemcsemérete (d)	**1-3 mm**	2,11E-04	8,08E-05	6,25E-05	5,44E-05
	0,5-1 mm	1,40E-04	1,35E-04	1,27E-04	1,08E-04
	0,25-0,5 mm	4,79E-05	5,32E-05	5,54E-05	5,83E-05
	0-0,25 mm	3,60E-06	4,55E-06	7,71E-06	9,05E-06

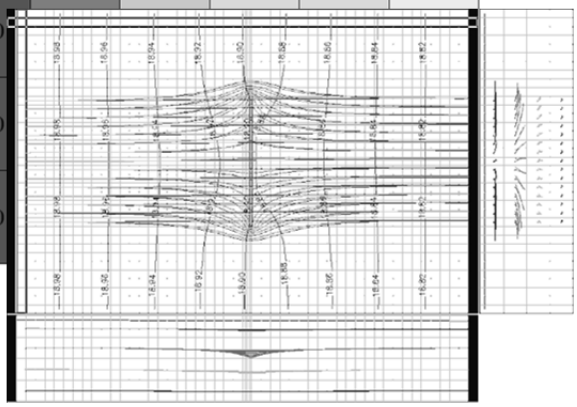
5. ábra. *A különböző homok-lignit keverési arányok esetében kapott szivárgási tényező eredményeket bemutató mintatáblázat.*

A tényleges gátkialakítások modellezését a Processing Modflow programcsomag segítségével végeztük el. A gátakat a η- befogási hatásfokkal jellemezhetjük, amely megadja, hogy a gát keresztmetszetére érkező áramlási trajektóriák hány százalékban haladnak át a gáton, vagy kerülik meg azt (6. ábra).

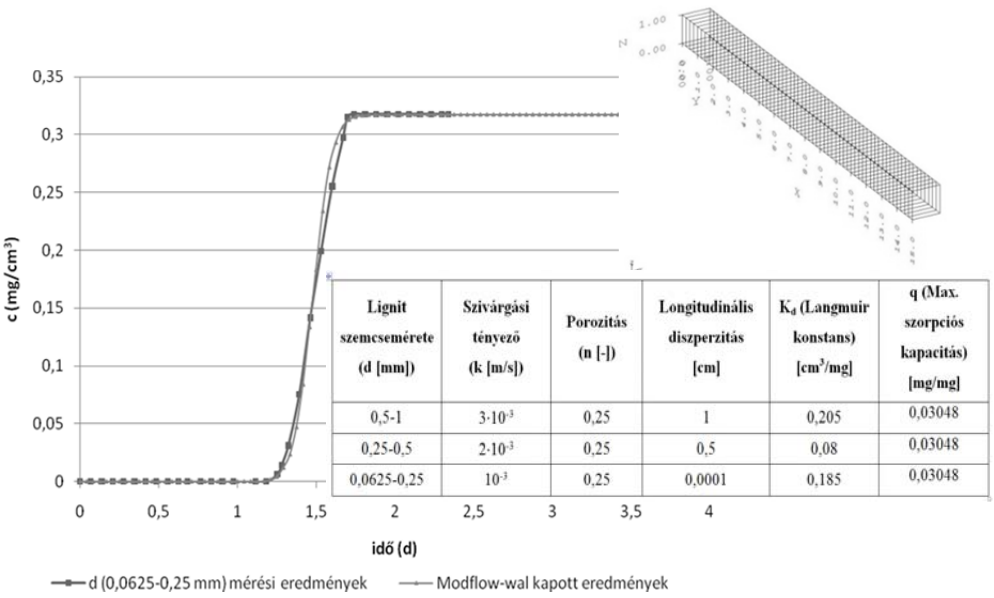
A dinamikus oszlopkísérletek során kapott áttörési görbéket a transzport modell segítségével „reprodukáltuk” úgy, hogy a transzport modellel kapott áttörési görbék a lehető legjobb fedésben legyenek a laborban kapottakkal. A legjobb illeszkedéshez tartozó transzport paramétereket rögzítettük, mivel ezek alkalmazásával modellezhető a valóságos gátak működése. Ily módon egy megbízható eszközt találtunk a gátak méretezéséhez, amivel a gát szükséges geometriáját és kimerülésének idejét, azaz csereperiódusát is meghatározhatjuk.

Az áttörési görbe transzport modellel illesztett változatát és a kapott transzport paraméterek összefoglaló táblázatát mutatja a 7. ábra.

η (%)		0,5 m széles teljes gát, szivárgási tényezői (k_{PRB} [m/s])							
		$5 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	$5 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	$5 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	$5 \cdot 10^{-6}$	10^{-6}
Közeg, szivárgási tényezője (k_h [m/s])	10^{-3}	100	100	100	86	73	40	20	6
	10^{-4}	100	100	100					
	10^{-5}	100	100	100					
	10^{-6}	100	100	100					



6. ábra. *A η- befogási hatásfok eredmények összefoglaló táblázata különböző földtani környezet/gát változatok esetében*



Lignit szemcsemérete (d [mm])	Szivárgási tényező (k [m/s])	Porozitás (n [-])	Longitudinális diszperzitás [cm]	K_d (Langmuir konstans) [cm^3/mg]	q (Max. szorpciós kapacitás) [mg/mg]
0,5-1	$3 \cdot 10^{-3}$	0,25	1	0,205	0,03048
0,25-0,5	$2 \cdot 10^{-3}$	0,25	0,5	0,08	0,03048
0,0625-0,25	10^{-3}	0,25	0,0001	0,185	0,03048

7. ábra. *Az áttörési görbe előállítása transzport modell segítségével és a kapcsolódó transzport paraméterek összefoglaló táblázata.*

4. A gát tervezés folyamata

A fenti méretezési modulok nem értelmezhetők egymástól függetlenül, azok a gát méretezése során jelentős mértékben hatnak egymásra. A méretezései szempontok bizonyos esetekben egymással konkurálnak (pl. megkívánt szivárgási tényező és reaktív anyag mennyisége). Az egyes fejlesztési modulok egymásra hatásának meghatározása és a méretezés folyamat leírása az összes tervezési szempont egységes kezelését igényli. Ezért fontosnak tartottuk egy tervezési protokoll összeállítását, ami végigvezet a tervezés lépésein. A tervezés folyamatát négy részre osztottuk: 1, Ellenőrző lista; 2, Anyagmérleg alapú megközelítés; 3, Paraméteres méretezési protokoll; 4, Fél üzemi kísérlet.

5. Összefoglalás

Az újszerű reaktív gátak alkalmazása nehézfémmel szennyezett talajvizek esetében lehetséges. A kutatásunk során a töltetfejlesztés és a gát környezetbeillesztésével kapcsolatos vizsgálatok mellet a gát műszaki kialakításával és a kimerült töltetanyag hasznosításával is foglalkoztunk.

Jelen cikkünkben a gátanyag fejlesztésével kapcsolatos eljárástechnikai és kémiai vizsgálatokat legfontosabb lépéseit mutattuk be és igazoltuk, hogy bár a lignit alapú töltetek kation megkötő képessége elmarad egyes elterjedten használt gátanyagokétól, de gazdaságos alternatívát jelentenek megfelelő méretezés mellett, különösen, ha a töltetanyag cseréjének műszaki megoldása lehetséges. A gát környezetbeillesztését és hidraulikai méretezését laboratóriumi mérésekre alapozva és modellezési feladatok megoldásával oldottuk meg. A méretezési eljárás folyamatának legfontosabb, paraméteres méretezési lépését is bemutattuk.

6. Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával jelent meg.

7. Irodalomjegyzék

[1] J. Bőhm, Á Debreczeni, *I. Gombkötő*: PEREBAR – *Innovative Groundwater remediation. In The Functioning and Management of the Water – Soil – System at River Basin Scale: Diffuse Pollution and Point Sources*, BRGM – Bureau de Recherches Géologiques et Mines, 2003, p. 437-445: Water Cycle and Soil-related Aspects EU-Workshop, Orléans, France, 2003; ISBN: 3-937750-00-2

[2] Madarász T.- Tóth R. (2010) *Új generációs reaktív falak alkalmazása talajvíz szennyezések kármentesítésé*re, Műszaki megvalósítási modul (II. Részletjelentés)

[3] Filep Gy.- Kovács B.- Lakatos J.- Madrász T.- Szabó I. (2002) *Szennyezett területek kármentesítése* (Miskolci Egyetemi kiadó 2002)

[4] J. Lakatos, I. Szabó, B. Csőke, C. E Snape: *Coals and biomass as active materials for permeable reactive barriers*. Anyagmérnöki Tudományok, Miskolc, 33 vol. 13-22 (2007).

[5] Szucs P, Madarasz T: *Complex hydrogeological modeling of multifunctional artificial recharge options of the Great-Forest Park in Debrecen, Hungary.; In:* Brebbia CA, Antunes do Carmo JS(szerk.)Water Pollution VIII, Modelling, Monitoring and Management..Southampton ; Boston: WIT Press, 2006. pp. 177-184.

[6] J. Lakatos, C. E. Snape, M. Ulmanu: *Transition and heavy metal sorption from multi component system.* Proc of the 4th Intern. Conf. on Carpatian Euroreigion Ecology, Miskolc- Tapolca, 128-134 (2003).

[7] J . Lakatos , S.D. Brown, C.E.Snape: *Coals as sorbent for the removal and reduction of hexavalent chromium for aqueous waste stream*s .Fuel, 81, 691-698 (2002).

[8] Szucs P, Civan F, Virag M: *Applicability of the most frequent value method in groundwater modeling*.; HYDROGEOL J 14: (1-2)31-43 (2006), Springer.; Impact Factor: 1.288

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 31-42.

Katonai robotok számítógéppel támogatott tervezése: Quadro Lab szakmai műhely létesítése az új, nemzeti közszolgálati egyetemen

Szabolcsi Róbert
egyetemi tanár
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Katonai Robotika Tanszék
1581 Budapest, Pf. 15. szabolcsi.robert@zmne.hu

Összefoglalás
*A robotok széles körben alkalmazott eszközök. Úgy polgári, mint katonai alkalmazások területén számos lehetséges alkalmazási terület nyílik. A robotok – képességeik révén – lehetővé teszik olyan műveletek végrehajtását is, ami sok esetben nem lehetséges, vagy nem célszerű emberi beavatkozás révén. A cikkben a szerző a pilóta nélküli repülőgépek (**U**nmanned **A**erial **V**ehicle) repülésének automatizálásával az UAVk közül kiemelten a multi-rotoros légijárművek repülésszabályozásával foglalkozik.*

Kulcsszavak: *katonai robotok, felderítő felszíni robotok, légi robotrendszerek, számítógépes tervezés.*

Abstract
Robots are widely applied tools both in military and non-military missions. Leaning on theirs possibilities they allow executing missions impossible for human beings, i.e. in dangerous missions. The paper deals with the automation of the flight phases of the unmanned aerial vehicles (UAV), what is a requirement from UAV users. From large scale of available UAVs author will deal with multirotors. The spatial motion of the quadrotors will be investigated, and first solutions will be examined in vertical motion of the quadrotors.

Keywords: *military robots, recce surface robots, air robot systems, CAD.*

1. Bevezetés

A robotika, és a mechatronika legújabb tudományos eredményei alapján tervezett robotok katonai alkalmazása egyre szélesebb körű. A robotika területeiről a légi-, és a felszíni kutatórobotok alkalmazása már széleskörű, mindazonáltal a jelenlegi alkalmazási területeken kívül számos új alkalmazási terület is nyílik, amelyek, a teljesség igénye nélkül, az alábbiak: klímaváltozás kutatási, monitoring feladatok ellátása légi felderítés segítségével; belvízvédelem, árvízvédelem területén légi felderítés; adatgyűjtés kárfelméréshez; természeti katasztrófák következményeinek felmérése; ipari katasztrófák következményeinek felderítése: vegyi-, biológiai-, és radiológia légi felderítés; városi légi felderítő alkalmazások; felszíni felderítő feladatok ellátása; veszélyes területek megközelítése, és adatgyűjtés; biztonsági kérdések megoldása; kritikus infrastruktúra védelme.

2. Multirotoros légijárművek alkalmazása „tiszta”, és „EC_D3”[1] repülési feladatokra

2.1. Quadrotorok alkalmazása „tiszta” feladatokra

A multirotoros repülőeszközök jól használhatók a kis repülési sebességű, kis magasságú felderítő repülések esetén, mint például ipari létesítmények (pl. gyárak, üzemek, közlekedési infrastruktúra stb.), veszélyes üzemek monitoring vizsgálata; mezőgazdasági termőterületek, növényi kultúrák, erdők szennyezettségének, és biológiai állapotának vizsgálata; hálózatok állapotának vizsgálata; vízügyi helyzet monitoring vizsgálata; árterek, gátak megfigyelése; városi alkalmazások (stadionok megfigyelése, közlekedési forgalmi szituációk megfigyelés); határőrizeti tevékenység támogatása [6, 7, 8, 9].

2.2. Quadrotorok alkalmazása „EC_D3” feladatokra

Az UAV alkalmazások során, sokszor ún. „D3”, azaz (**D**irty-**D**ull-**D**angerous) repüléseket kell végrehajtani. Mikor mondhatjuk egy repülési feladatra, hogy az „D3” tulajdonságokkal bír? A *Dirty* repülési feladat fogalmát még nem írták le szakirodalmak, ezért az alábbiakban egy sajátos, általam javasolt definíciót adok közre.

Egy repülési feladat *Dirty*, ha fizikailag szennyezett területek felett hajtjuk végre (pl. ipari katasztrófák, atomerőművek, természeti katasztrófák, közlekedési balesetek, árvizek, belvizes területek); bizonyos érdekeket sértő, de ugyanakkor legális repülések során (pl. éjszakai felderítési feladat, városi alkalmazások; középületek (bevásárló központok, stadionok, pályaudvarok) monitoringja; közterületek monitoringja) adatgyűjtést végzünk; katonai alkalmazások felderítési céllal (célazonosítás, célkövetés, tűzvezetés stb.); UAVk harcászati alkalmazása (fedélzeti fegyverek alkalmazása).

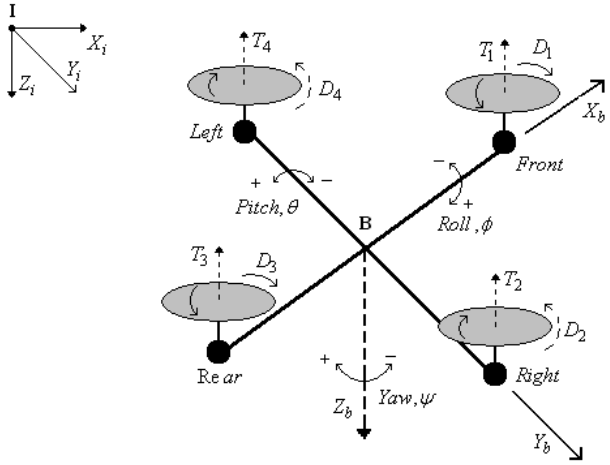
Egy repülési feladat *Dull*, ha a repülési idő hosszú; a kezelőszemélyzet számára unalmas, egyhangú, és gyakorlatilag rutinszerű, eseménytelen repüléseket kell végrehajtani.

Egy repülési feladat *Dangerous*, ha a repüléseket *Dirty* körülmények között kell végrehajtani, ezért az UAV leszállása, esetleg kényszerleszállása olyan területeken történik, hogy elveszíthetjük a repülőeszközt, vagy olyan károsodásokat szenvedhet, amelyek rövidebb, vagy hosszabb időre, repülésre alkalmatlanná teszik az UAVt; repülések olyan domborzati viszonyok között, ahol a nem tervezett leszállások során károsodást szenvedhet az UAV, esetleg teljesen össze is törhet, vagy az is előfordulhat, hogy nem találjuk meg a leszállás helyén; erdőtüzek, láptüzek, bozóttüzek monitoringja; katonai alkalmazások felderítési céllal (célazonosítás, célkövetés, tűzvezetés stb.), amikor számolni kell a repülőgép elvesztésével, vagy sérülésével; UAVk harcászati alkalmazása (fedélzeti fegyverek alkalmazása).

[1] EC_D3: **E**xtra **C**heap_D3

3. A quadrotorok térbeli mozgásának dinamikus modellje

A négyrotoros UAV dinamikus viselkedését vizsgáljuk az 1. ábrán. A 'függés' repülési helyzetben mind a négy motor fordulatszáma azonos. Értelemszerű, hogy a függőleges tengely mentén a manőverezést a négy motor fordulatszámának azonos mértékű, és azonos irányú megváltoztatásával tudjuk elérni.



1. ábra. *A négyrotoros UAV dinamikus viselkedése.*

Az 1. ábrán **I** jelöli az inercia(vonatkoztatási) rendszert, míg **B** jelöli a légijárműhöz rögzített „test" koordináta-rendszert. A légijármű „test" koordináta-rendszerben mért Euler-szögeinek változási sebessége az alábbi módon írható fel:

$$\begin{bmatrix}\dot{\phi} & \dot{\theta} & \dot{\psi}\end{bmatrix}^T = \mathbf{M}^{-1}\begin{bmatrix}\omega_{x_i} & \omega_{y_i} & \omega_{z_i}\end{bmatrix}^T = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{A}\begin{bmatrix}\omega_{x_b} & \omega_{y_b} & \omega_{z_b}\end{bmatrix}^T, \qquad (3.1)$$

ahol: ϕ bedöntési szög; θ bólintási szög; ψ irányszög; ω_{x_i} szögsebességek az inercia-rendszerben; ω_{x_b} szögsebességek a „test" koordináta rendszerben; valamint:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \frac{c\psi}{c\theta} & \frac{s\psi}{c\theta} & 0 \\ -s\psi & c\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} c\psi c\theta & c\psi s\theta s\phi - s\psi c\phi & c\psi s\theta c\phi - s\psi s\phi \\ s\psi c\theta & s\psi s\theta s\phi + c\psi c\phi & s\psi s\theta c\phi - c\psi s\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix} - \text{forga-}$$

tómátrixok, ahol: c – cos, s – sin.

Tekintettel arra, hogy számunkra a későbbi feladatok megoldása miatt csak a „test" koordináta-rendszer **B** pontjának a sebessége a szabályozandó paraméter, ezért a „test" koordináta-rendszerben mért sebességeket az alábbi egyenlettel határozhatjuk meg:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_b & \dot{y}_b & \dot{z}_b \end{bmatrix}^T = \mathbf{A}^{-1} \begin{bmatrix} \dot{x}_i & \dot{y}_i & \dot{z}_i \end{bmatrix}^T, \tag{3.2}$$

ahol x_b, y_b, z_b koordináták a test-koordináta rendszerben, és x_i, y_i, z_i koordináták az inercia(referencia) koordináta rendszerben.

3.1 A quadrotor egyenesvonalú mozgásegyenletei

A mozgásegyenletek levezetése során feltételezzük, hogy a quadrotor szerkezete merev, és szimmetrikus; a quadrotor tömegközéppontja a **B** pontban helyezkedik el (l. 1. ábra); a légcsavar-lapátok merev szerkezetek, és a quadrotor nem végez bólintó mozgást. Az *i*-edik légcsavarlapátok által létesített felhajtóerő arányos az adott légcsavar forgási sebességének négyzetével, vagyis [9]:

$$T_i = C_1 \left(\frac{1 - 2\pi LCS}{P\alpha_i} + 2\pi \frac{\dot{z}_b - w_{z_b}}{P\alpha_i} \right), \tag{3.3}$$

ahol: $C_1 = k_t \rho A_p \alpha_i^2 R_p^2$; k_t aerodinamikai felhajtóerő tényező; ρ a levegő sűrűsége; A_p a légcsavar felülete; α_i az *i*-edik légcsavar szögsebessége; R_p a légcsavar sugara; *L* a légcsavar középpontjának távolsága az origótól; P a légcsavarlapátok beállítási szöge, és végül, w_{z_b} a légköri turbulencia vektorának *z*-tengelyre eső vetülete. *C*=1, ha *i*=1, vagy *i*=4. *C*= –1, ha *i*=2, vagy *i*=3. $S = \omega_{y_b}$, ha *i*=1, vagy *i*=3. $S = \omega_{x_b}$, ha *i*=2, vagy *i*=4. A légijármű hossztengelye mentén ható erők eredője az alábbi egyenlettel írható le [9]:

$$F_{wI} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} k_s (w_{x_b} - \dot{x}_b) & k_s (w_{y_b} - \dot{y}_b) & k_u (w_{z_b} - \dot{z}_b) \end{bmatrix}^T, \tag{3.4}$$

ahol: k_s, k_u az egyenesvonalú mozgás együtthatói; w_{x_b} és w_{y_b} a légköri turbulencia vektorának *x–, és y*–tengelyekre eső vetületei, értelemszerűen.

A quadrotor térbeli lineáris mozgásának állapot–egyenlete a következő mátrixos alakban is megadható [9]:

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_i \\ \ddot{y}_i \\ \ddot{z}_i \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} \omega_{x_b} \\ \omega_{y_b} \\ \omega_{z_b} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{x}_i \\ \dot{y}_i \\ \dot{z}_i \end{bmatrix} + g \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{F_{wI}}{m} - \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{m} \mathbf{A} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \tag{3.5}$$

ahol: *g* a nehézségi gyorsulás, *m* a légijármű tömege.

3.2 A quadrotor forgómozgásának egyenletei

Ismeretes, hogy a légcsavarlapátok légellenállásból származó nyomatéka arányos a légcsavarlapát forgási sebességének a négyzetével, vagyis [9]:

$$D_i = C_2 \left(\frac{1 - 2\pi LCS}{P\alpha_i} + 2\pi \frac{\dot{z}_b - w_{z_b}}{P\alpha_i} \right), \tag{3.6}$$

ahol: $C_2 = k_d \rho A_p \alpha_i^2 R_p^3$; k_d a nyomatéki együttható.

A légcsavarlapátok eredő reakciónyomatéka az alábbi egyenlettel írható le:

$$I_{ct} = J_p\left(-\dot{\alpha}_1 + \dot{\alpha}_2 - \dot{\alpha}_3 + \dot{\alpha}_4\right), \tag{3.7}$$

ahol: J_p egy légcsavarlapát tehetetlenségi nyomatéka.

A súrlódási terhelő nyomatékot az alábbi egyenlet alapján is számíthatjuk:

$$\mathbf{M}_f = k_r\begin{bmatrix}\dot{\phi} & \dot{\theta} & \dot{\psi}\end{bmatrix}^T, \tag{3.8}$$

ahol: k_r a súrlódási együttható.

A légi jármű motorjának forgórészére redukált nem irányítható zavarások (pl. légköri turbulencia) a következő összefüggéssel írható le:

$$\tau_d = \begin{bmatrix}\tau_{x_b} & \tau_{y_b} & \tau_{z_b}\end{bmatrix}^T, \tag{3.9}$$

A légijármű giroszkópikus nyomatéka a következő egyenlettel írható le:

$$\mathbf{M}_g = J_p\begin{bmatrix}\dot{\theta}\alpha & \dot{\phi}\alpha & 0\end{bmatrix}^T, \tag{3.10}$$

ahol: $\alpha = -\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3 + \alpha_4$.

Mindezek alapján, a quadrotor térbeli forgómozgásának állapot–egyenlete a következő mátrixos alakban is megadható [9]:

$$\begin{bmatrix}\dot{\omega}_{x_b}\\ \dot{\omega}_{y_b}\\ \dot{\omega}_{z_b}\end{bmatrix} = -J^{-1}\omega \times J\begin{bmatrix}\omega_{x_b}\\ \omega_{y_b}\\ \omega_{z_b}\end{bmatrix} - J^{-1}\left(\mathbf{M}_f + \tau_d + \mathbf{M}_g\right) + J^{-1}\begin{bmatrix}L(T_4 - T_2)\\ L(T_1 - T_3)\\ D_1 - D_2 + D_3 - D_4 + I_{ct}\end{bmatrix}, \tag{3.11}$$

ahol: $\omega = \begin{bmatrix}0 & -\omega_{z_b} & \omega_{y_b}\\ \omega_{z_b} & 0 & -\omega_{x_b}\\ -\omega_{y_b} & \omega_{x_b} & 0\end{bmatrix}$, $J = \begin{bmatrix}J_{xx} & 0 & 0\\ 0 & J_{yy} & 0\\ 0 & 0 & J_{zz}\end{bmatrix}$ a főtehetetlenségi mátrix; J_{xx}, J_{yy}, J_{zz} a hossz-, a kereszt-, és a függőleges tengelyre vett főtehetetlenségi nyomatékok, értelemszerűen.

3.3 A quadrotor egyenáramú motorjának dinamikája

Ismeretes, hogy az egyenáramú motor – kis motor induktivitás esetén – dinamikus egyenlete a következő alakban írható fel:

$$J_p\dot{\alpha}_i = G\tau_{m_i} - D_i, \tag{3.12}$$

ahol: $\tau_{m_i} = k_i(V_i - \frac{k_v\alpha_i}{G})R^{-1}$ a motor dinamikus gyorsító nyomatéka; k_i a motor állandója; k_v a motor forgási sebesség állandója; V_i a motor vezérlő feszültsége; R a motorellenállás; G a motor-légcsavar rendszer áttételi száma.

Vizsgáljuk kismagasságú függés repülési helyzetben a quadrotor dinamikáját, ha a függőleges tengely mentén kell emelkedő mozgást végrehajtania. A kiindulási feltételek – zavarásmentes esetre – most az alábbiak lesznek:

$$\theta = 0^o; \phi = 0^o; \psi = 0^o; v_{x_{b_o}} = 0m/s; v_{y_{b_o}} = 0m/s; v_{z_{b_o}} = 0m/s\,, \tag{3.13}$$

A (3.1)–(3.5) egyenleteket felhasználva, a (3.13) kezdeti feltételek figyelembe vételével a quadrotor függőleges tengely mentén végrehajtott mozgásának dinamikus egyenlete az alábbi alakban írható fel:

$$\ddot{z}_b = \frac{F_{mI}}{m} - \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{m} + g\,, \tag{3.14}$$

Az egyes rotorlapátok felhajtóereje az alábbi egyenlettel adható meg:

$$T = C_1\left(\frac{1}{P\alpha_i} + 2\pi\frac{\dot{z}_b}{P\alpha_i}\right), \text{ ahol } C_1 = k_t\rho A_p\,\alpha_i^2 R_p^2 = 4{,}15872\cdot 10^{-6}\,\alpha_i^2 \tag{3.15}$$

Helyettesítsük be a (3.15) egyenletet a (3.14) egyenletbe:

$$\ddot{z}_b + \dot{z}_b\left(\frac{1}{m} + \frac{4}{m}C_1 2\pi\frac{1}{P\alpha_i}\right) = g - \frac{4}{m}C_1\frac{1}{P\alpha_i}\,. \tag{3.16}$$

Egy hipotetikus quadrotor paramétereinek felhasználásával a (3.16) egyenlet a következő alakban írható fel [9]:

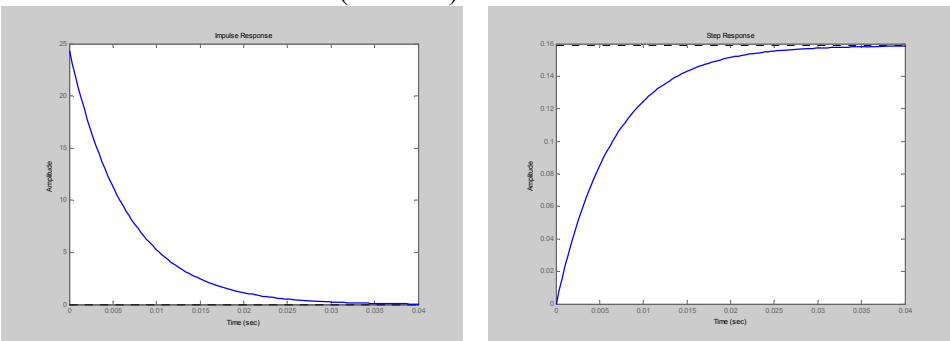
$$\ddot{z}_b + \dot{z}_b\left(0{,}222568 + 153{,}0451369\cdot 10^{-6}\alpha_i\right) = 9{,}81 - 24{,}35789\cdot 10^{-6}\alpha_i\,. \tag{3.17}$$

Legyen $\alpha_{i_o} = 1000\,ford/p$. Így a függőleges sebesség változását a következő egyenlet adja meg: $\dot{v}_b + v_b 153{,}2677049 = 9{,}81 - 24{,}35789\Delta\alpha_i$. (3.18)

A (3.18) egyenlet alapján a quadrotor átviteli függvénye a következő lesz:

$$Y(s) = \frac{v_b(s)}{\Delta\alpha_i(s)} = -\frac{24{,}35789}{153{,}2677049 + s}\,. \tag{3.19}$$

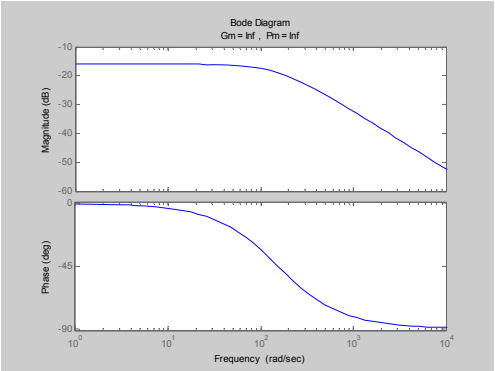
A továbbiakban vizsgáljuk meg a quadrotor viselkedését idő-, és frekvenciatartományban. A számítógépes szimuláció eredménye a 2. ábrán látható. A 2. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy a quadrotor gyorsan reagál a bemenetekre, képes nagy sebességgel reagálni a gerjesztő jelre, és állandó sebességgel emelkedni (2.b. ábra). A súlyfüggvény állandósult állapotban zérushoz tart, így az irányított quadrotor stabilis viselkedésű (2.a. ábra).



a) Súlyfüggvény *b) Átmeneti függvény*

2. ábra. *Tranziens analízis eredménye.*

A 3. ábrán a quadrotor Bode-diagramja látható.



3. ábra. *Bode-diagram.*

A 3. ábrán jól látható, hogy a quadrotor alul-áteresztő jelleggel viselkedik. Nagyfrekvenciás tartományban „levágja" a bemeneti jeleket, más szóval, jól szűri a nagyfrekvenciás zajokat. Úgy az erősítési- mint a fázistartalék végtelen értékű. A (3.20) átviteli függvény arányos, egytárolós tagot ad meg, így az erősítés körfrekvencia jelleggörbe vízszintes meredeksége -20 dB/dekád meredekségre vált az $\approx 1/153{,}26$ 1/s törésponti frekvencián.

4. LQ-alapú szabályozótervezés quadrotor függőleges térbeli mozgásának automatizálása

Lineáris, autonóm szabályozási rendszer állapot-, és a kimeneti egyenletet az alábbi alakban szokás megadni [3]:

$$\mathbf{\dot{x} = Ax + Bu\,;\, y = Cx + Du}\,, \tag{4.1}$$

ahol: **x** állapotvektor, **u** bemeneti vektor, **y** kimeneti vektor, **A** állapotmátrix, **B** bemeneti mátrix, **C** kimeneti mátrix és **D** segédmátrix.

Többváltozós állandó paraméterű irányított rendszer esetében a minimálandó funkcionált az alábbi egyenlettel szokás megadni [3]:

$$J = \frac{1}{2}\int_0^{\infty}\left(\mathbf{x}^{\mathrm{T}}\mathbf{Q}\,\mathbf{x} + \mathbf{u}^{\mathrm{T}}\mathbf{R}\,\mathbf{u}\right)dt \rightarrow \mathrm{M}in\,, \tag{4.2}$$

ahol : **Q** pozitív definit (vagy pozitív szemidefinit) diagonális súlyozó mátrix, **R** pozitív definit diagonális súlyozó mátrix.

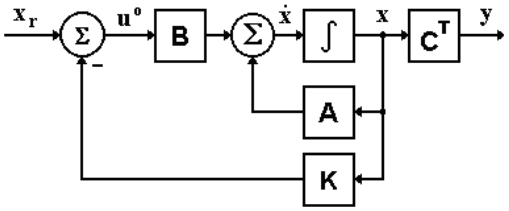
Az integrálandó $\mathbf{x}^{\mathrm{T}}\mathbf{Q}\,\mathbf{x}$ kvadratikus alak a minőségi jellemzőkről hordoz információt, míg az $\mathbf{u}^{\mathrm{T}}\mathbf{R}\,\mathbf{u}$ kvadratikus függvény a költségeket jellemzi [3]. Ezek a tagok skalár mennyiségek, mivel az $x_i^2(t)$ és az $u_j^2(t)$ négyzetes időfüggvények.

Az optimális vezérlési törvény:

$$\mathbf{u}^{\mathrm{o}}(t) = -\mathbf{K}\,\mathbf{x}(\mathrm{t}) \tag{4.3}$$

alakú, amely biztosítja a (4.2) négyzetes integrálkritérium minimális értékét. Az optimálási feladat megoldottnak tekinthető bármely $\mathbf{x}(0)$ kezdeti értékre, ha is-

mertek a **K** mátrix elemei. Az optimális szabályozási rendszer hatásvázlata a 4. ábrán látható. A referencia jel legyen zérusértékű, vagyis, $x_r(t) = 0$.



4. ábra. *A teljes állapot-visszacsatolású rendszer hatásvázlata.*

Helyettesítsük a (4.3) egyenletet a (4.1) állapotegyenletbe. Kapjuk, hogy:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\,\mathbf{x} - \mathbf{B}\,\mathbf{K}\,\mathbf{x} = (\mathbf{A} - \mathbf{B}\,\mathbf{K})\mathbf{x}\,. \tag{4.4}$$

A továbbiakban feltételezzük, hogy az $(\mathbf{A} - \mathbf{BK})$ mátrix sajátértékei negatív valós részűek. Helyettesítsük az (4.4) egyenletet a (4.2) egyenletbe. A következő egyenletet kapjuk:

$$J = \frac{1}{2}\int_0^\infty (\mathbf{x}^{\mathrm{T}}\mathbf{Q}\mathbf{x} + \mathbf{x}^{\mathrm{T}}\mathbf{K}^{\mathrm{T}}\mathbf{R}\mathbf{K}\mathbf{x})\,\mathrm{dt} = \frac{1}{2}\int_0^\infty \mathbf{x}^{\mathrm{T}}(\mathbf{Q} + \mathbf{K}^{\mathrm{T}}\mathbf{R}\mathbf{K})\mathbf{x}\,\mathrm{dt} \to \mathrm{Min}\,. \tag{4.5}$$

Az LQ-alapú optimális szabályozótervezés során keressük azt az optimális

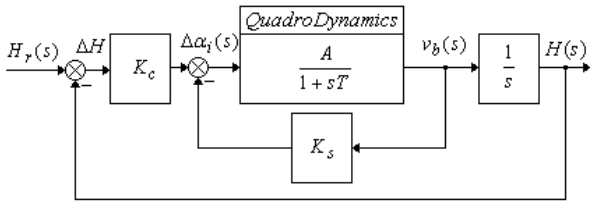
$$\mathbf{u}^o(t) = -\mathbf{K}^o\mathbf{x}(\mathrm{t}) = -\mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{x}(\mathrm{t}) \tag{4.6}$$

vezérlési törvényt, amely egyik egyensúlyi állapotából úgy viszi át másik állapotába a dinamikus rendszert, hogy a (4.2) integrálkritérium minimális értéket vesz fel [3]. A (4.6) egyenletben **P** valós elemű, pozitív definit Hermite - féle hermetikus (Ljapunov) költségmátrix.

A **P** mátrixot az ún. elfajult, Ricatti-féle mátrixegyenletből határozzuk meg:

$$\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{P} + \mathbf{P}\mathbf{A} - \mathbf{P}\mathbf{B}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}^{\mathrm{T}}\mathbf{P} + \mathbf{Q} = 0\,. \tag{4.7}$$

A quadrotor magasságstabilizáló rendszere az 5. ábrán látható.



5. ábra. *A magasságstabilizáló rendszer hatásvázlata.*

Az 5. ábra alapján írjuk fel a szabályozási rendszer állapot-egyenletét.

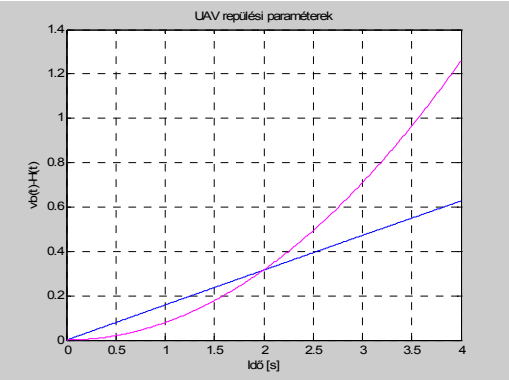
$$v_b(s) = \frac{A}{1+sT}\Delta\alpha_i(s) \;\rightarrow\; \dot{v}_b(t) = -\frac{v_b(t)}{T} + \frac{A}{T}\Delta\alpha_i(t) \tag{4.8}$$

$$H(s)=\frac{1}{s}v_b(s) \;\rightarrow\; \dot{H}(t)=v_b(t) \tag{4.9}$$

A (4.8), és a (4.9) egyenletek alapján a rendszer állapotegyenlete a következő mátrixos alakban írható fel:

$$\dot{\mathbf{x}}(t)=\begin{bmatrix}\dot{v}_b(t)\\ \dot{H}(t)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-\frac{1}{T} & 0\\ 1 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}v_b(t)\\ H(t)\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}A/T\\ 0\end{bmatrix}\Delta\alpha_i(t) \tag{4.10}$$

A nemirányított quadrotor átmeneti függvényei a 6. ábrán láthatók.



6. ábra. *A nemirányított UAV átmeneti függvényei.*
Függőleges repülési sebesség *Repülési magasság*

A 6. ábrán jól látható, hogy a „függőleges repülési sebesség-fordulatszámváltozás” dinamikus rendszer arányos-tárolós átviteli függvényű, de az exponenciális tranziens folyamat meglehetősen lassú lefolyású. A repülési magasság változása lényegesen gyorsabb, tekintettel a függőleges sebesség és a repülési magasság közötti integráló matematikai kapcsolatra.

A zárt szabályozási rendszer vezérlési törvénye – $H_r(t)=0$ esetén – az alábbi egyenlettel adható meg:

$$\mathbf{u}(t)=\Delta\alpha_i(t)=-H(t)K_c-v_b(t)K_s=-\mathbf{K}\mathbf{x}\,, \tag{4.11}$$

ahol: $\mathbf{x}=\begin{bmatrix}v_b & H\end{bmatrix}^T$ - állapot-vektor; $\mathbf{K}=\begin{bmatrix}K_c & K_s\end{bmatrix}$ - teljes állapot-visszacsatolási mátrix. Tervezzük meg az optimális állapot-visszacsatolási mátrixot az alábbi, un. egységnyi, azonos súlyozás elvén meghatározott súlyozó mátrixok esetén, vagyis:

$$\mathbf{Q}_1=\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix};r_1=1\,. \tag{4.12}$$

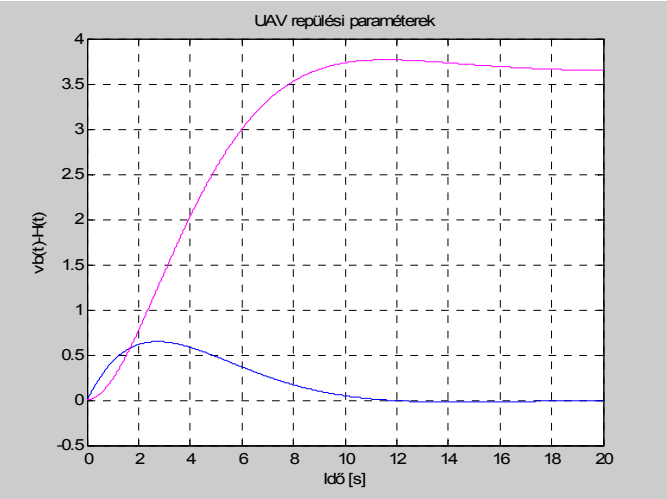
A teljes állapot-visszacsatolási mátrix most a következő lesz [1, 2]:

$$\mathbf{K}_1=\begin{bmatrix}K_c & K_s\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}3{,}6449 & 1\end{bmatrix}, \tag{4.13}$$

A zárt szabályozási rendszer átmeneti függvénye a $H_r(t)=1(t)$ bemeneti jelre a (4.12) súlyozás esetén a 7. ábrán látható.

A 7. ábrán jól látható, hogy az egységnyi bemeneti jelre adott válasz stacioner értéke $H(\infty)\approx 3{,}7m$, tehát az ideális alapjel követés nem valósul meg. A zárt szabályozási rendszer minőségi jellemzői nem felelnek meg az előírt értékeknek [4]. A hivatkozott katonai szabvány az ember vezette légi járművekre vonatkozik,

így annak alkalmazása az UAV-kra túlságosan szigorú minőségi követelménynek tűnik.



7. ábra. *UAV zárt szabályozási rendszer átmeneti függvényei*
Függőleges repülési sebesség *Repülési magasság*

A zárt szabályozási rendszer minőségi jellemzőit az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. *Minőségi jellemzők.*

Sajátértékek	Csillapítási tényező, ξ	Körfrekvencia, [rad/s]
$-0{,}293 \pm 0{,}27i$	0,735	0,399

Hangoljuk a (4.12) súlyozó mátrixokat heurisztikusan. A zárt szabályozási rendszer előírt minőségi jellemzőit teljesítő súlyozó mátrix-kombináció a következő lesz:

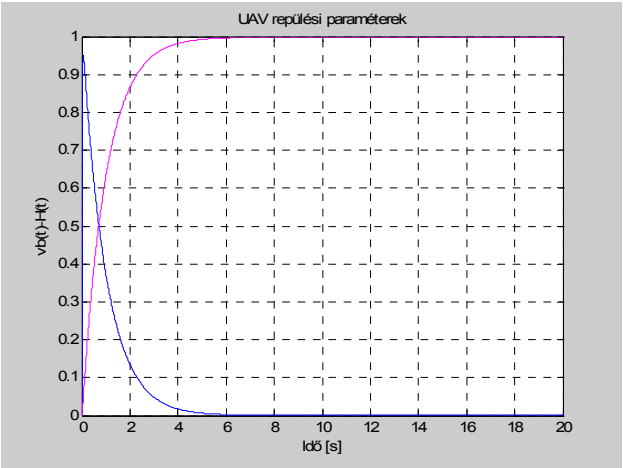
$$\mathbf{Q}_2 = \begin{bmatrix} 0{,}97 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; r_2 = 0{,}000005 \,. \qquad (4.14)$$

A (4.14) súlyozó mátrixok alapján határozzuk meg a teljes állapot-visszacsatolási mátrixot [1, 2, 4]:

$$\mathbf{K}_2 = \begin{bmatrix} K_c & K_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 446{,}7565 & 447{,}2136 \end{bmatrix}, \qquad (4.15)$$

A zárt szabályozási rendszer átmeneti függvénye a $H_r(t) = 1(t)$ bemeneti jelre a (4.14) súlyozó mátrixok esetére a 8. ábrán látható.

A 8. ábrán jól látható, hogy az egységnyi bemeneti jelre adott válasz stacioner értéke $H(\infty) = 1m$, tehát megvalósul az ideális alapjel követés. A zárt szabályozási rendszer minőségi jellemzői megfelelnek meg az előírt értékeknek [4].



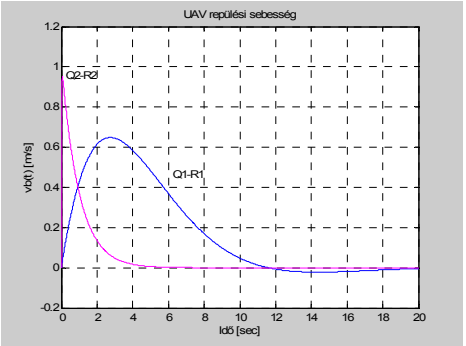
8. ábra. *UAV zárt szabályozási rendszer átmeneti függvényei*
Függőleges repülési sebesség Repülési magasság

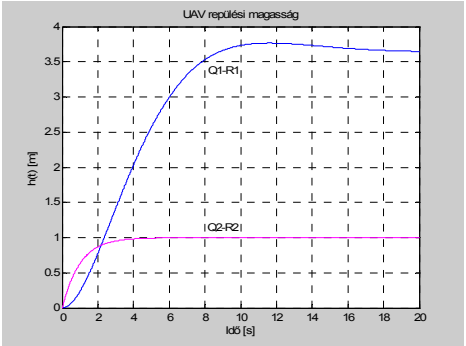
A módosított zárt szabályozási rendszer minőségi jellemzőit a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat. *Minőségi jellemzők.*

Sajátértékek	Csillapítási tényező, ξ	Körfrekvencia, [rad/s]
-70	1	70
$-1{,}02$	1	1,02

Hasonlítsuk össze a két súlyozás alapján tervezett rendszer zárt szabályázási rendszer viselkedését. A 9. ábrán jól látható, hogy az alapjel követés a $H_r(t) = 1(t)$ bemeneti jelre megvalósul, és a zárt szabályozási rendszer minőségi jellemzői is megfelelnek az előírt értékeknek [4].





UAV függőleges repülési sebesség *UAV repülési magasság*
Q1-R1 Q2-R2 *Q1-R1 Q2-R2*

9. ábra. *Az UAV zárt magasságstabilizáló rendszerének átmeneti függvényei.*

6. Összefoglalás

A pilóta nélküli repülőgépek széles körben használt eszközök számos katonai, és polgári alkalmazási területen. A cikk a lehetséges UAVk közül a multirotoros (négyrotoros, quadrotor) UAV-ra korlátozódik, tekintettel az alakuló Nemzeti Közszolgálati Egyetemen működő QUADRO LAB szakmai műhelyben alkalmazott GAUI-330X quadrotorokra. A szakmai műhely fő feladata a műveleti területi felderítő repülések végrehajtása, valamint katasztrófavédelmi-, és egyéb más alkalmazások támogatása. A szerző bemutatta a quadrotorok térbeli mozgásának matematikai modelljét, és az egyik, talán leginkább gyakori repülési üzemmóddal, a „függés" manőverrel foglalkozik. E repülési manőver optimális szabályozási rendszer segítségével is végrehajtható. Az LQR feladat megoldására a szerző új súlyozást mutatott be, aminek révén olyan szabályozó tervezhető, amely biztosítja a zárt repülésszabályozó rendszer előírt minőségi jellemzőit. A téma több új területet is felkínál vizsgálatra, amit a QUADRO LAB szakmai műhely keretében kívánunk megoldani.

7. Irodalomjegyzék

[1] *Control System Toolbox 8. Getting Started Guide,* The MathWorks™, 2008.

[2] *MATLAB® 7 (R2010b). Getting Started Guide,* The MathWorks™, Inc., 2009.

[3] McLean, D.: *Automatic Flight Control Systems*, Prentice-Hall International, New York-London-Toronto-Sydney-Tokyo-Singapore, 1990.

[4] *MIL-STD 1797A*, Notice 3. *Flying Qualities of Piloted Aircraft*, Department of Defense, Interface Standard, 2004.

[5] Pokorádi, L.: *Rendszerek és folyamatok modellezése*, ISBN 978-963-9822-06-1, Campus Kiadó, Debrecen, 2008.

[6] Szabolcsi, R.: *Pilóta nélküli repülőgépek polgári alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata*, Elektronikus Műszaki Füzetek IV, MTA, Debreceni Akadémiai Bizottság, Műszaki Szakbizottsága, p(59–65), Debrecen, 2007.

[7] Szabolcsi, R.: *Conceptual Design of Unmanned Aerial Vehicle Systems for Non-Military Applications*, Proceedings of the 11th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies VSDIA 2008, ISBN 978-963-313-011-7, pp (637-644), Budapest University of Technology and Economics, 10-12 November 2008, Budapest, Hungary.

[8] Szabolcsi, R.: *Conceptual Design of the Unmanned Aerial Vehicle Systems Used for Military Applications*, Scientific Bulletin of "Henri Coanda" Air Force Academy, No. 1/2009., ISSN 2067-0850, pp. (61-68).

[9] Szabolcsi, R.: *Multirotoros légijárművek, repülésdinamikai modellje, és azok vizsgálata*, Repüléstudományi Közlemények, 2011/2. szám, HU ISSN 1789-770X**, „**Véget ért a MiG-korszak" tudományos konferencia kiadványa, Szolnok, 2011. április 15. (http://www.szrfk.hu/rtk/index.html).

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp.43-54.

ALAKÍTHATÓSÁGI ELEMZÉSEK INKREMENTÁLIS LEMEZALAKÍTÁSNÁL

Tisza Miklós
egyetemi tanár, tanszékvezető
Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék,
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros
tisza.miklos@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

Az utóbbi években egyre erőteljesebb igény jelentkezik rugalmas, új innovatív alakító eljárások kidolgozására és széles körű alkalmazására. A hagyományos képlékenyalakító eljárások általában merev, fix kialakítású szerszámokat alkalmaznak: a munkadarab alakját megfelelően kiképzett alakító bélyeggel és matricával együttesen határozzuk meg. Azonban különösen olyan esetekben, amikor a szerszámozás költségeinek csökkentése fontos szempont, a szerszám nélküli, rugalmas alakító eljárások alkalmazása különösen előnyös lehet. Az inkrementális alakítás egyike e követelményeket kielégítő új innovatív technológiáknak. A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke a Ljubljanai Egyetemmel közösen ezen új technológiai eljárás kutatására nyert el EUREKA projektet. Az ennek keretében megkezdett kutatásokat a Miskolci Egyetem hazai és nemzetközi versenyképességének komplex megújítása című projektben folytatjuk.

Kulcsszavak: *inkrementális lemezalakítás, technológiai paraméterek*

Abstract

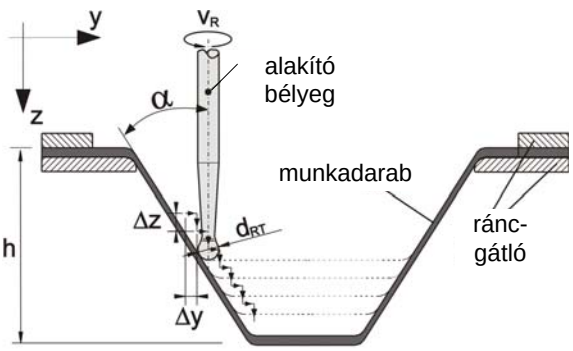
Recently, there is a strong demand for the elaboration and widespread application of new, flexible, innovative forming processes. Conventional forming processes apply rigid tool constructions: the shape of the part to be produced is usually defined by the forming punches and dies. However, particularly in those cases when the reduction of tool costs is of utmost importance, the application of flexible, dieless forming processes has the highest priority. Incremental sheet metal forming is one of the most promising innovative new processes elaborated during the last decades. The Department of Material Processing Technologies at the University of Miskolc together with the Production Engineering Department at the University of Ljubljana have gained a joint EUREKA project to study these new processes and to further develop them. The research work started in the above project is further continued within the framework of the Hungarian national project entitled: Complex renewal of domestic and international competitiveness of the University of Miskolc.

Keywords: *incremental sheet forming, technological parameters*

1. Bevezetés

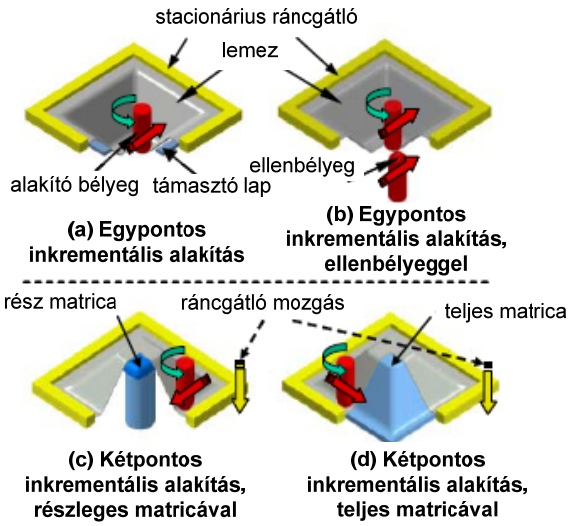
Az inkrementális alakítás alapötletét Leszak [1] szabadalmaztatta az Egyesült Államokban 1967-ben. Ezt követően számos szakközlemény foglalkozott az inkrementális alakítás különféle változatainak elemzésével.

Az inkrementális lemezalakításnál rendszerint egy egyszerű gömbvégződésű alakító bélyeggel, matrica nélkül, az alakító szerszámelem mozgásának térbeli vezérlésével, elemi alakítási lépések sorozatával, bonyolult, nagymértékű alakváltozást igénylő alkatrészek viszonylag egyszerűen, költséghatékonyan gyárthatók. Az eljárás sematikus vázlatát a főbb geometriai és technológiai paramétereket is feltüntetve az 1. ábra szemlélteti.



***1. ábra**. Elvi vázlat az inkrementális alakítás értelmezéséhez*

Az inkrementális alakítás technológiai változatait elemezve két alapvető csoportot különböztethetünk meg, nevezetesen a szimmetrikus és az aszimmetrikus inkrementális lemezalakítást [2]. Mindkét esetben az alakítást egy viszonylag egyszerű kialakítású, sokcélúan felhasználható alakító bélyeggel végezzük, amelynek derékszögű koordinátákban meghatározott mozgását a megmunkáló gép CNC vezérlése biztosítja. Az x és az y tengelyek a lemez síkjában értendők, míg a z-tengely jelöli a bélyeg elmozdulásának irányát, amelynek mentén az alakítás történik. A szimmetrikus inkrementális alakítás közvetlenül a fémnyomásból eredeztethető, amelynél a gyártandó szimmetrikus alkatrész alakítását a fémnyomásnál megismert tüske és alakító szerszám helyett egyetlen, ún. egypontos alakító szerszámmal végezzük (az eljárás elvi vázlata az 1. ábrán látható).



***2. ábra.** Az aszimmetrikus inkrementális lemezalakítás négy alapesete [3]*

Az inkrementális alakítások második főcsoportját az aszimmetrikus inkrementális alakítás jelenti, amely további

alcsoportokra bontható. Az aszimmetrikus inkrementális alakítás eljárás változatainak 2. ábrán látható átfogó rendszerezését Bambach és Hirt ismertetette [3].

Általános esetben az inkrementális alakításhoz szerszámként csak egyetlen, univerzális alakító bélyegre van szükség. A legáltalánosabban tömör, félgömbvégződésű alakító bélyegeket alkalmaznak, amelyek az alakítás során folyamatos érintkezést biztosítanak a szerszám és az alakítandó lemez között. Különösen kis falszögek esetén előfordulhat, hogy a bélyeg szárátmérőjét a bélyegvégződés átmérőjénél kisebbre kell választani, a bélyegszár és az alakítandó lemez érintkezésének elkerülése érdekében. Erre egyébként a bélyeg mozgáspályájának generálásánál is mindig tekintettel kell lenni.

2. Az inkrementális alakítás technológiai, alakíthatósági kérdései

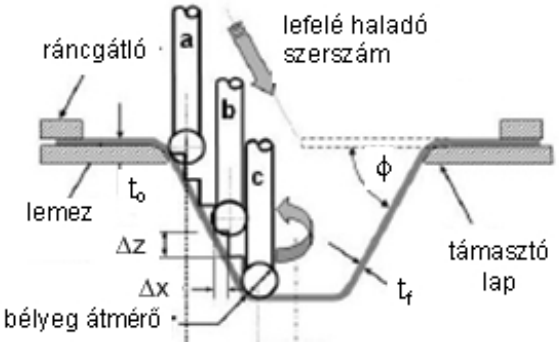
Az inkrementális lemezalakítás legfontosabb technológiai paramétereit a lemezvastagság (t), a szerszám átmérő (d), a szerszám forgási sebesség (ω), a behúzási szög, azaz a munkadarab falszöge (ϕ), valamint a bélyeg x és z-tengely irányú elmozdulásai (Δx, illetve Δz) jelentik. E paraméterek jelölése a 3. ábrán is látható, amely egyben az inkrementális lemezalakítás folyamatának jobb megértését is segíti. (Az ábra egypontos, inkrementális lemezalakításra vonatkozik.)

Az előzőkben felsorolt és a 3. ábrán is bejelölt technológiai paraméterek mind az alakíthatóságra, mind pedig a termék minőségére lényeges hatást gyakorolnak, amelyek elemzésére a következő pontokban térünk ki részletesen.

2.1. A technológiai paraméterek és az alakíthatóság kapcsolata

Mind az eljárás adott célra való alkalmazhatósága, mind pedig az alakítási folyamat végeselemes modellezése szempontjából kiemelkedő fontosságú az alakíthatóság kérdéseinek vizsgálata, az eljárással megvalósítható alakváltozási határértékek meghatározása. E határértékeket a lemezalakításban legáltalánosabban az alakítási határdiagramokkal adjuk meg, amelyekkel részletesen a 2.2. pontban foglalkozunk.

Kezdetben – az inkrementális alakításra érvényes alakítási határdiagramok hiánya miatt – az alakíthatóság jellemzésére a 3. ábrán is bejelölt, ún. behúzási szöget (ϕ) alkalmazták. Ha a ϕ behúzási szög értékét növeljük, a falvastagság a



3. ábra. *Egypontos, inkrementális alakítás főbb technológiai paraméterei*

$$t_f = t_o \sin\alpha \tag{1}$$

összefüggéssel megadott szinusz törvény szerint változik, azaz csökken, ahol az α falszögre az $\alpha = 90^o$-ϕ összefüggés érvényes. Amikor a falvastagság csökkenés olyan mértéket ér el, amelynél az anyagban repedés keletkezik, az ehhez tartozó (ϕ_{max}) értékét tekintették az alakíthatóság határértékének. Az ily módon elfogadott ϕ_{max} anyagjellemző annak megítélésére is alkalmas, hogy az alakítás egy, vagy több egymást követő alakítási lépésben végezhető-e el.

Bár az inkrementális alakítás alakváltozási állapota annál jóval összetettebb, hogy a maximális behúzási szög (ϕ_{max}), mint egyetlen paraméter elegendő legyen az alakíthatóság megítélésére, mégis számos olyan vizsgálatot dolgoztak ki az inkrementális alakítás alakváltozási határértékeinek meghatározására, amelyeknél az alakíthatósági határértéket a ϕ_{max} értékéhez kötötték. Az egyik ilyen – legáltalánosabban elfogadott benchmark vizsgálat kidolgozása Micari és Ambrogio [4] nevéhez fűződik. Vizsgálataik alapján egy olyan csonkakúp alakú próbatestet javasoltak, amelynél az alapkúp átmérője D = 72 mm és a magassága H = 40 mm. A vizsgálatokat az előzők szerint rögzített geometriai paraméterekkel, a ϕ behúzási szög változtatásával végezték és a ϕ_{max} értékeként az első repedés megjelenéséhez tartozó behúzási szöget tekintették.

Jeswiet és munkatársai [5] parametrikus kísérlet sorozat eredményeiből összefüggést állítottak fel az alakíthatóság jellemzésére alkalmazott ϕ_{max} és a lemezvastagság között. Különböző alumínium ötvözeteket vizsgálva, azonos jellegű, csak a paramétereikben különböző összefüggéseket állapítottak meg, például

$$\begin{aligned} \phi_{max} &= 8,5t_o + 60,7^o \qquad \text{AA } 3003-\text{O Al ötvözetre, és} \\ \phi_{max} &= 3,3t_o + 58,3^o \qquad \text{AA } 5754-\text{O Al ötvözetre.} \end{aligned} \tag{2}$$

Az előzőkben tárgyalt egyszerű alakíthatósági paraméter mellett természetesen az inkrementális alakításnál is fontos a különböző alakváltozási történeteket is magába foglaló alakítási határdiagramok meghatározása, amelyre a 2.2. és a 2.3. pontokban térünk ki részletesebben.

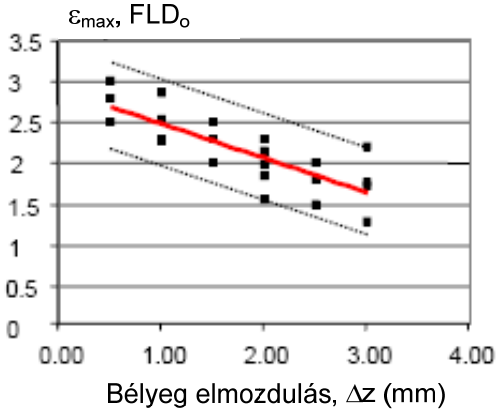
Az előzőkből is nyilvánvaló, és az inkrementális alakítás sajátos alakváltozási állapotából is következik – nevezetesen, hogy minden egyes pillanatban csak egy kis tartományra lokalizált képlékeny zóna létezik – ezért a hagyományos alakító eljárásokra érvényes alakítási határdiagramok nem alkalmazhatók közvetlenül az inkrementális alakításra.

A 3. ábrán feltüntetett alapvető technológiai paraméterek (a lemezvastagság, a szerszám átmérő, a szerszám x és z-tengely irányú elmozdulása, valamint a szerszám forgási sebessége) az alakíthatóság szempontjából is fontos szerepet játszanak. A következőkben röviden ezen alapvető paramétereknek az alakíthatóságra gyakorolt hatását elemezzük.

Hirt és munkatársai [9] három különböző vastagságú, DC04 anyagminőségű, mélyhúzható acéllemezzel végzett kísérlet sorozat eredményei alapján kimutatták, hogy a lemezvastagság jelentős hatást gyakorol az előzőkben elemzett ϕ_{max} maximálisan megengedhető falszögre. Hasonló következtetésre jutott Kim és Park [10] AA 1050-O anyagminőségű alumínium ötvözet vizsgálatakor. Kísérleteiket vékony, t_o = 0,3 mm és t_o = 0,5 mm vastagságú lemezeken végezték. A lemezvastagság 0,5 mm-ről 0,3 mm-re való csökkentésével az alakítási határgörbe FLD_o értéke 1,2-ről 0,92-re csökkent.

A szerszám átmérő hatását elemezve Micari [11] megállapította, hogy bizonyos határok között a szerszám átmérő csökkentése az alakíthatóságot növeli. Ezt a megállapítást azzal támasztotta alá, hogy míg a kisebb szerszám átmérő esetén az alakváltozó zóna közvetlenül a szerszám-munkadarab érintkezésére koncentrálódik, a nagyobb szerszám átmérő a képlékeny zóna nagyobb tartományra való kiterjedését eredményezi. Hasonló eredményre jutott Hirt is [7], aki 6-30 mm átmérőjű szerszámokkal végzett kísérleteket, t = 1,5 mm vastagságú, DC04 anyagminőségű lágyacélon. A szerszám átmérőt 30 mm-ről 6 mm-re csökkentve, az alakíthatóság közel kétszeres növekedését tapasztalta.

A technológiai paraméterek közül a bélyeg elemi, növekményi elmozdulásai (Δx és Δz) is jelentős hatással vannak az alakíthatóságra. (A marógépen való megmunkálás analógiáját felhasználva a Δz, mint *fogásmélység*, míg a Δx, mint az *előtolás* értelmezhető.) A Δz értékének növelésével a növekvő mértékű alakváltozás következtében a lemez alakíthatósága csökken, amint az a 4. ábrán is látható. Micari [10] t_o = 1 mm kiinduló lemezvastagságú, Al 1050-O anyagminőségű alumínium ötvözetre a 4. ábrán bemutatott diagramon a szórási tartományt is feltüntette. Hasonló eredményekre jutott Hirt [9], valamint Hagan és Jeswiet [12] is. Mivel adott falszög esetén Δz értékével a Δx „előtolás” érték is adott, ugyanezt állapíthatjuk meg a szerszám előtolás és a megvalósítható maximális alakváltozás kapcsolatára is.



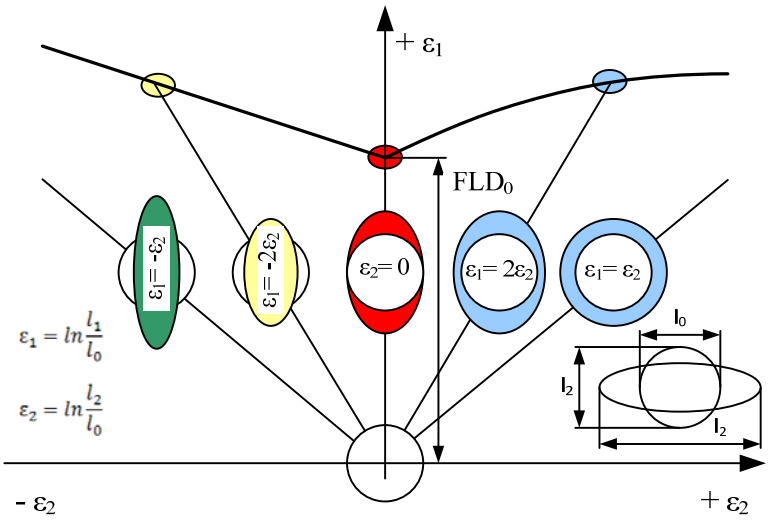
4. ábra. *Az ε_{max} (FLD_o) változása a Δz bélyeg elmozdulás függvényében*

Micari [10] szerint a szerszám forgási sebességének növelése ugyancsak növeli az alakíthatóságot. Ezt egyrészt a nagyobb szerszám sebesség által keltett lokális hő hatásának, másrészt a szerszám és a lemez közötti súrlódás csökkenésének tulajdonította. Ugyanakkor a szerszám fordulatszám növelésének határt szab egyrészt a szerszám növekvő kopása, másrészt az a körülmény, hogy a súrlódás csökkentésére alkalmazott kenőanyag elégése is bekövetkezhet, amely részben ellenté-

tes hatást fejt ki, másrészt pedig biztonsági és környezetvédelmi problémákat is felvet.

2.2. Alakítási határdiagramok

Az eddigiekben az alakíthatóság és a technológiai paraméterek kapcsolatával, az alakíthatóságot befolyásoló alapvető tényezőkkel foglalkoztunk. Azonban, ahogyan arra már korábban is utaltunk, inkrementális alakításnál is fontos a különböző alakváltozási történeteket is magába foglaló alakítási határdiagramok ismerete. A hagyományos lemezalakító eljárásoknál az alakítási határdiagram alakja jellegzetes V-alakkal jellemezhető, amint az 5. ábrán is látható.

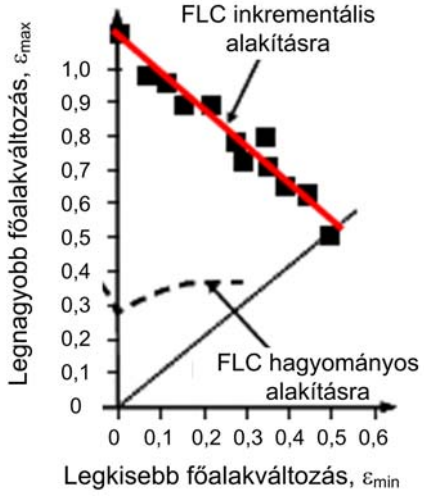


***5. ábra**. Hagyományos lemezalakításra érvényes alakítási határdiagram*

Az 5. ábrán néhány jellegzetes alakváltozási történetet bemutató alakítási útvonalat is feltüntettünk a legnagyobb (ε_1) és a legkisebb (ε_2) főalakváltozások kapcsolatának megadásával. Mivel a határdiagramot gyakran a legnagyobb és legkisebb főalakváltozás irányát szemléletesen érzékeltető körháló felvitelével és torzulásának mérésével határozzuk meg, az 5. ábrán is megadtuk az alakítás előtt szabályos körháló alakjának az alakítási folyamat közbeni megváltozását.

Az 5. ábrán bemutatott diagram első változatát Keeler [13] javasolta az alakítási határértékek megállapítására. A Keeler által kidolgozott alakítási határdiagram csak a pozitív ε_1 és ε_2 főalakváltozások tartományára érvényes. A diagramot Goodwin [14] fejlesztette tovább, kiterjesztve a legkisebb főalakváltozások negatív tartományára is, ezért e diagramokat a szakirodalom Keeler-Goodwin alakítási határdiagramoknak nevezi [17].

Az alakítási határdiagramok kísérleti meghatározása idő- és munkaigényes feladat. Napjainkban a lemezalakításban leginkább elterjedt két vizsgálati technika a Marciniak [15] és a Nakazima [16] nevével fémjelzett módszer. A hagyományos lemezalakításra érvényes alakítási határdiagramok meghatározásának önálló irodalma van, e helyen csak az alakítási határdiagramok elmélete és kísérleti meghatározása témában, a szerzők által készített összefoglaló tanulmányra utalunk [17].



6. ábra. *Alakítási határdiagram hagyományos és inkrementális alakításra*

Az eddigi kutatások azt mutatják, hogy az 5. ábrán bemutatott, hagyományos alakításokra vonatkozó alakítási határdiagramokkal szemben, az alakítási határgörbe inkrementális alakításnál jó közelítéssel egy negatív iránytangensű egyenessel adható meg, amint az a 6. ábrán is látható [18].

Az inkrementális alakításra vonatkozó alakítási határdiagram meghatározása a hagyományos alakításnál megszokottnál is összetettebb feladat. Amint az alakítási határdiagramok elméletéből is ismert [19] a határgörbe meghatározásához többféle próbatest kialakítást alkalmaznak. Fokozottan érvényes ez az inkrementális alakításra. Az egyik legátfogóbb vizsgálat e területen Young és Jeswiet [23] nevéhez fűződik.

Öt különböző alakú próbatestet alkalmaztak az ún. kompozit FLD meghatározására. A próbatest alakok: csonka kúp, félgömb, hiperboloid, gúla és egy ún. „ötszirmú virágalak" amelyben alakítás közben egyidejűleg nyomó- és a húzófeszültségek is ébrednek. A különböző alakú próbatestek mindegyike egy alakítási határgörbét eredményez, amelyeket egyetlen diagramban egyesítve a legösszetettebb alakokra is alkalmazható, ún. kompozit alakítási határdiagramot kapunk.

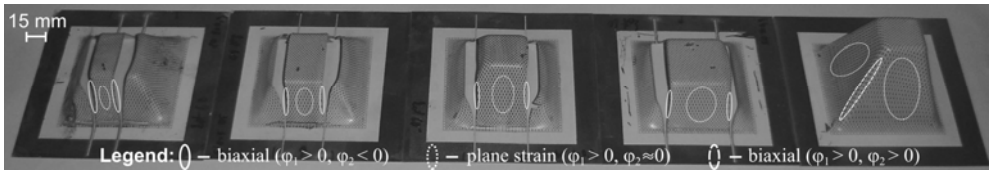
2.3. Inkrementális alakítási határdiagram kísérleti meghatározása

A már említett EUREKA projekt keretében az inkrementális alakításra érvényes alakítási határdiagramok meghatározására mi a hagyományos alakításoknál alkalmazott Marciniak vizsgálat egy módosított eljárását alkalmaztuk [24]. A módszer elvi alapjait PhD értekezésében a projektben is közreműködő kutatóként Ales Petek dolgozta ki [25].

Az inkrementális alakításra érvényes alakítási határdiagram meghatározásához – a Marciniak módszerhez hasonlóan – azonos alaplemezből különböző bevágásokkal készített lemezcsíkokat használtunk. Az alaplemez 150×150 mm méretű

volt és négy további – az alaplemezzel azonos kiinduló méretű lemezből, 20, 30, 40 és 50 mm szélességű bevágással készített – lemez próbatestet alkalmaztunk. A vizsgálathoz Al 3003 minőségű alumínium lemezt használtunk. Mindegyik próbatestet 84×84 mm gúla alaplap méretekkel jellemezhető, csonka gúla alakot eredményező vezérpályán mozgó bélyeggel alakítottuk. A vizsgálatok előtt a próbatestekre az alakváltozások mérése céljából d = 2 mm-es körhálót vittünk fel. A vezérlőprogram olyan szerszámpályát határoz meg, amellyel a csonka gúla alapja 84×84 mm, az oldaléleknél a lekerekítési sugár 10 mm. A különböző méretű bevágásokkal készített próbatesteknél a bevágásoknál az ütésszerű hatások kiküszöbölésére az alaplemez méretével megegyező, folytonos felületű „védőlemezt" helyeztünk az alakítandó próbatest és az alakító szerszám közé.

A korábbi vizsgálatok eredményeiből tudjuk, hogy minimum két paraméter elemzése szükséges az inkrementális alakítás határ alakváltozási értékeinek vizsgálatánál, nevezetesen a maximális behúzási szög (ϕ_{max}) és a megvalósítható maximális alakváltozás (ε_{max}). Ehhez meg kell határoznunk a maximális behúzási szög határértékét minden egyes próbatest geometriára. Ennek érdekében a kísérleteket minden lemez próbatest esetén 5 fokonként növekvő falszöggel végeztük, miközben az alakítás többi paraméterét nem változtattuk. A vizsgálatokat a próbatestek szakadásáig folytattuk. Az alakítási határgörbe (FLC) meghatározása két fő lépésből áll: az első lépés a munkadarab inkrementális alakítása, az előzőkben leírt módon, míg a második lépés az előzetesen a próbatestek felületére felvitt körháló alakítás hatására bekövetkezett torzulásának pontos mérése optikai alakváltozás méréssel. A mérésekből az optikai alakváltozás mérő rendszer a legnagyobb (ε_1) és a legkisebb (ε_2) főalakváltozásokat közvetlenül meghatározza. Az alakított próbatestek a deformált rácshálózattal láthatók a 7. ábrán.



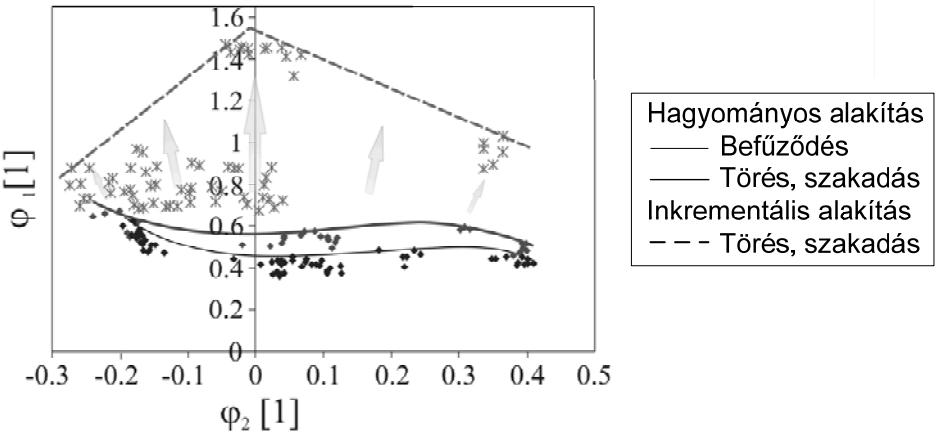
7. ábra. *Az inkrementális alakítási határdiagram meghatározásához alkalmazott alakított próbatestek a deformált rácshálózattal*

A különböző szélességű bevágásokat tartalmazó lemezcsíkok más-más alakváltozási állapotot testesítenek meg. A 150×150 mm méretű, bevágás nélküli alaplemez deformált hálózatán két jellegzetes alakváltozási tartomány figyelhető meg: a sík oldalfelületeken az anyag alapvetően az alakító bélyeg mozgásirányát követve áramlik, azaz lényegében síkalakváltozási állapot a jellemző ($\varepsilon_1 \neq 0$, $\varepsilon_2 \approx 0$). Ezzel szemben a sarkok görbült felületein (az oldallapok lekerekítési sugara környezetében) a lemez hosszirányban is alakváltozik, ezért itt kéttengelyű, biaxiális alakváltozási állapotról ($\varepsilon_1 \neq 0$, $\varepsilon_2 \neq 0$) beszélhetünk. Mivel mind a két főalakváltozás

pozitív, ez csak az alakítási határdiagram pozitív térnegyedének meghatározására alkalmas. Az alakítási határdiagram teljes tartományának meghatározásához általában további próbatestekre van szükség: erre a célra legáltalánosabban alkalmazott a Young és Jeswiet [23] által javasolt, ötszirmú virágalak. Azonban az általunk alkalmazott különböző szélességű lemezcsíkok (7. ábra) alakítása lokálisan ugyancsak olyan alakváltozási állapotokat eredményez, amelyekből az alakítási határdiagram negatív tartománya is meghatározható. A legkisebb főalakváltozás negatív értékei a lemezcsíkok bevágási élei környezetében észlelhetők, amint az a 7. ábrán is látható.

Az előzőkben leírt módszerrel meghatározott alakítási határdiagram látható Al3003 alumínium ötvözetre a ***8. ábr***án. Az ábrán feltüntettük ugyanezen anyagminőség hagyományos alakításra érvényes alakítási határgörbéit is. A ***8. ábr***ából jól látható, hogy a teljes alakítási tartományban az inkrementális alakításra érvényes alakítási határgörbe a hagyományos alakításra érvényes alakítási határgörbe fölött halad. Különösen jelentős a különbség a $\varepsilon_1 > 0$ és $\varepsilon_2 = 0$ esetén, azaz síkalakváltozási állapotban. Síkalakváltozás esetén inkrementális alakítással közel háromszor nagyobb alakváltozás érhető el, mint ugyanezen alakváltozási állapotban hagyományos alakításnál.

A nagyobb alakváltozóképesség egyik lehetséges magyarázata az inkrementális alakítás ciklikus alakváltozási története, amely az ismételt képlékeny alakváltozás során egy szuperponált hidrosztatikus feszültségkomponenst eredményez, amint erre Hirt [26] is utalt. Egy másik gyakran felhozott érv az inkrementális alakításnál alkalmazott szerszám kisebb mérete. A kis szerszámátmérő az alakváltozást a bélyeg és az alakított lemez kis érintkezési felületére koncentrálja, a növekvő szerszám átmérő pedig egyre növekvő tartományra kiterjedően osztja el.



8. ábra. *Alakítási határdiagram Al 1050 anyag hagyományos és inkrementális alakítására*

3. Összefoglalás – Következtetések

A cikk magyar-szlovén nemzetközi együttműködésben, EUREKA projekt keretében folyó kutatás, az inkrementális lemezalakító eljárás elemzésével foglalkozik. A bemutatott rövid ismertetésből is nyilvánvaló, hogy az inkrementális alakító eljárások számos előnnyel rendelkeznek. Az eljárás legfontosabb előnyeit röviden az alábbiakban összegezhetjük:

- Összetett, bonyolult alkatrészek gyorsan, egyszerűen gyárthatók közvetlenül az alkatrész CAD modelljéből előállított szerszámpálya vezérlő programmal.
- Az eljárás nem igényel különleges szerszámozást, sőt lényegéből fakadóan rendszerint csak egy viszonylag egyszerű, általánosan alkalmazható alakító bélyegre van szükség.
- Az előzőkből következően az eljárás kiválóan alkalmas gyors prototípus gyártásra és kissorozatú gyártásra egyaránt.
- Az alkatrész kialakításának módosítása a gyártásban könnyen és gyorsan megvalósítható, a bélyeg mozgását vezérlő CNC program módosításával, ezáltal nagyfokú rugalmasságot biztosítva az alkatrészek széles választékának és változatainak előállításában.
- Ugyancsak az eljárás lényegéből fakadóan a pillanatnyi képlékeny zóna kis kiterjedésű és növekményi természetéből következően az alakíthatóság jelentős növekedését eredményezi a hagyományos eljárásokhoz viszonyítva, ezáltal
  - egyrészt nehezen alakítható anyagok megmunkálására is alkalmas,
  - másrészt összetett geometriájú alkatrészek a hagyományos alakító eljárásokhoz viszonyítva kevesebb alakítási lépéssel megvalósíthatók.
- Nem igényel különleges megmunkáló gépet, a legtöbb, legalább 3-tengelyes CNC vezérléssel rendelkező egyetemes megmunkáló gépen is elvégezhető.
- A gyártandó alkatrész méretét lényegében csak a megmunkáló gép méretei korlátozzák.

Az eljárásnak természetesen vannak bizonyos hátrányai is, amelyeket röviden az alábbiakban összegzünk:

- Az eljárás legnagyobb hátrányaként azt kell megemlíteni, hogy a gyártási idő a hagyományos alakító eljárásokhoz képest – az eljárás inkrementális, növekményi jellegéből következően – rendszerint lényegesen nagyobb.
- Ebből következően az eljárás termelékenysége is általában kicsi, következésképpen az egyedi, illetve kissorozatú gyártásban lehet csak versenyképes alternatíva.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka az EUREKA_HU_ISMFP_ME és a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt közös finanszírozásában – az Új Magyarország fejlesztési terv keretében – az Európai Unió támogatásával, és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

[1] LESZAK, E.: *Apparatus and process for incremental dieless forming*, US Patent, US 3342051A1, published 1967.09.19.

[2] JESWIET, J. et al: *Asymmetric single point incremental forming of sheet metal*, Annals of CIRP. v. 54. pp. 623-650. 2005.

[3] BAMBACH, M., HIRT, G., JUNK, S.: *Modelling and experimental evaluation of the incremental sheet CNC sheet metal forming*, 7th Int. Conf. on Computational Plasticity, COMPLAS'2003, Barcelona, 7-10. April 2003.

[4] MICARI, F. és AMBROGIO, G.: A *Common Shape for Conducting Incremental Forming Tests,* 1st Incremental Forming Workshop, University of Saarbrucken, 9 June 2004. On CD-ROM.

[5] JESWIET, J. et. al.: *Asymmetric single point incremental forming of sheet metal*, Annals of CIRP. v. 54. pp. 623-650. 2005.

[6] TISZA, M., KOVÁCS, P. Z.: *A complex measuring and evaluation system for determination of forming limit diagrams*, Materials Science Forum, Vol. 589 (2008) pp. 233-238.

[7] HIRT, G. JUNK, S., WITULSKI, N.: *Incremental Sheet Forming: Quality Evaluation and Process Simulation,* 7th ICTP International Conference on Technology of Plasticity, October 27-November 1, 2002, Yokohama, Japan, paper no. 343.

[8] HIRT, G., JUNK, S., BAMBACH, M., CHOUVALOVA, I.: *Process Limits and Material Behaviour in Incremental Sheet Forming with CNC-Tools*, THERMEC 2003, International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials - Processing, Fabrication, Properties, Applications, July 7-11, 2003, Leganés, Madrid, Spain.

[9] HIRT, G., AMES, J., BAMBACH, M., KOPP, R.: *Forming Strategies and Process Modelling for CNC incremental Sheet Forming,* Annals of CIRP vol 53/1/2004; pp. 203-206.

[10] KIM, Y. H AND PARK, J. J.: *Effect of process parameters on formability in incremental forming of sheet metal,* Journal of Materials Processing Technology; vol. 130-131, 2002, pp. 42-46.

[11] MICARI, F.: *Single Point Incremental Forming: recent results,* Seminar on Incremental Forming, 22 October 2004. Cambridge University. CD-ROM

[12] HAGAN, E., AND JESWIET, J.: *Analysis of surface roughness for parts formed by CNC incremental forming,* IMECHE part B, J. of Engineering Manufacture. Vol. 218 No. B10, 2004. pp. 1307 – 1312.
[13] KEELER, S. P.: *Plastic instability and fracture in sheets stretched over rigid paunches*, Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Boston, MA 1961.
[14] GOODWIN, G. M.: *Application of strain analysis to sheet metal forming problems in the press shop,* Society of Automotive Engineers, 1968. 680093, pp. 380-387.
[15] MARCINIAK, Z., KUCZYNSKI, K.: *Limit strains in the process of stretch forming of sheet metal,* Int. Journal of Mechanical Science, 1967. 9. k. pp. 609-620.
[16] NAKAZIMA, K., KIKUMA, T., ASAKU, K.: *Study on the formability of sheet metal,* Yawata Technical Report, 1968. pp. 1-264.
[17] KOVÁCS, P., Tsiaz, M.: *Alakítási határdiagramok elméleti és kísérleti vizsgálata,* Kutatási jelentés, OTKA 61724, Miskolc, 2006. pp. 1-37.
[18] YOUNG, D., AND JESWIET, J.: *Forming Limit Diagrams for Single Point Incremental Forming of Aluminium Sheet,* IMECHE part B, J. of Engineering Manufacture, vol. 219 part B 2005. pp. 1 – 6.
[19] TISZA, M., KOVÁCS, P. Z.: *Hatékony inkrementális alakító eljárások kidolgozása*, Kutatási jelentés, Készült az EUREKA_HU_08 (OMFB 220/2009) projekt keretében, Miskolc, 2010. pp. 1-45.
[20] FILICE, L., FRATINI, L., MICARI, F.: *Analysis of Material Formability in Incremental Forming*, Annals of the CIRP, v. 51/1/2002: 199-202.
[21] JESWIET, J., HAGAN, E., SZEKERES, A.: *Forming Parameters for Incremental Forming of Aluminum Sheet Metal*, IMECHE part B, J. of Engineering Manufacture. 2002 Vol. 216, pp. 1367 – 1371.
[22] LIEVERS, W.B., PILKEY, A.K., LLOYD, D.J.: *Using Incremental Forming to Calibrate a Void Nucleation Model for Automotive Aluminum Sheet Alloys,* Acta Materiala, vol.52. (2004) pp. 3001-3007.
[23] YOUNG, D., AND JESWIET, J.: *Forming Limit Diagrams for Single Point Incremental Forming of Aluminum Sheet,* IMECHE part B, J. of Engineering Manufacture, vol. 219. part B 2005. pp. 1 – 6.
[24] KUZMAN, K., TISZA, M., PETEK, A., KOVÁCS, P.: *Investigation of Forming Limit Diagrams for Single Point Incremental Sheet Forming,* IDDRG 2010. Graz, 31.05.2010-02.06.2010. pp. 461-468.
[25] PETEK, A.: *Definition of Stable Technological Window for Incremental Sheet Metal Forming*, PhD Thesis, University of Ljubljana, 2008. pp. 1-132.
[26] HIRT, G.; BAMBACH, M.; JUNK, S.; *Modelling of the Incremental CNC Sheet Metal Forming Process*; Proceedings of the 10th Int. Conf. on Sheet Metal; 2003. pp. 495-502.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 55-68.

A KARBANTARTÁS MINT A TERMELÉSMENEDZSMENT TÁMOGATÓJA

Vermes Pál
főiskolai tanár
Szolnoki Főiskola, Műszaki és Agrárgazdálkodási Intézet, Műszaki és Gépészeti Tanszék
5000 Szolnok, Tiszaligeti sétány 14., vermesp@szolf.hu

Összefoglalás
Az eszközök használata és karbantartása a munkamegosztás növekedésével vált szét, de ma már a karbantartási tevékenység végrehajtásában a gépkezelők és a karbantartók több fenntartási feladatot egyre inkább közösen látnak el. Érdemes a kétféle célú tevékenység egyes menedzsment feladatait oly módon összevetni, hogy nyilvánvalóvá váljanak azok a kapcsolódások, amelyek a hatékonyabb termelést, így a versenyképesség növelését segítik.

Kulcsszavak: *karbantartás, karbantartási stratégia és rendszer, termelésmenedzsment*

Abstract
The use and maintenance of the tools have been separated due to the fact that the distribution of the tasks has been increased. However, nowadays mechanics and maintenance professionals work closely together in more and more tasks. It makes sense to compare the management tasks of these two kinds of activities in a view that it shows the connection points of them, resulting in productivity and competitiveness.

Keywords: *maintenance, maintenance strategy and system, production management*

1. Bevezetés: Néhány állomás a karbantartás és a termelés fejlődéstörténetében

Az emberi cselekvés két alapvető iránya egyrészt a javak alkotása, másrészt e javak használata és karbantartása. A használat és a karbantartás különválása fokozatosan, évszázadokkal ezelőtt kezdődött, és az ipari tevékenység megjelenésével, a munkamegosztás kiteljesedésével vált jellemzővé. Az eszközökre (gépekre, berendezésekre) szűkítve a karbantartás szemszögéből a **használat és a karbantartás** viszonya koronként, időszakonként változó volt, de néhány kiemelés ide kívánkozik:

- Hammurápi király (ie. 18. század) rendelkezése: „Ha valaki a gátat nem gondozza, úgyhogy abban repedések nyílnak, és a folyó a földet elönti… és emberek halnak meg, akkor a vétkes vettessen tűzbe."
- Nagy Sándor (ie.~335) parancsa Parmenionnak az ázsiai hadjárat előtt: „Tartsd rendben az ostromgépeket, hogy sok esztendőn keresztül használhatók maradjanak!" [1]
- Korai középkor-újkor: szakmák, céhek, szövetségek, stb. részt vesznek a karbantartás kialakításában, fejlesztésében.
- Az iparvállalati termelésszervezés kezdetei a 20. század elején.

- A termelés és a mennyiség preferálása következtében a karbantartást másodlagos tevékenységnek tekintették még a múlt század közepén is, hangsúlyozva a nem termelő (improduktív) jellegét.
- Az Európai Karbantartási Társaság 1967-es angliai üléséhez köthető a rendszerszemlélet „ős"-ének megjelenése a karbantartásban az ún. terotechnológia szemléletének (kétkörös modelljének) elfogadásával.
- A Római Klub „A növekedés határai" című jelentése (1972) rádöbbentette a világot a hiánycikkekre (pl. anyag, energia), ez az addigi „eldobó" szemlélet visszaszorulása és a karbantartás jelentőségének növekedése irányába történő elmozdulást indította el.
- A fenntartással szembeni követelmények változását érzékelteti, hogy a múlt században a fenntartással szemben új követelmények jelentkeztek a rendelkezésre álláson kívül, pl. a minőség, a környezeti károk elkerülése, a nagyobb biztonság.
- A karbantartás a hajdani kiszolgáló folyamatból a termelés partnerévé, annak egyik fontos feltételi folyamatává lépett elő.
- A karbantartást is produktív tevékenységnek kezdik tekinteni, mégpedig olyannak, amely az eszközök használatához szükséges készletet, az ún. elhasználódási tartalékot (EHT) állítja elő.
- A teljeskörű hatékony karbantartás (TPM) elvének és gyakorlatának megjelenése többek között oldja a termelés és a karbantartás közötti merev határokat azzal, hogy bizonyos karbantartási feladatokat a gépkezelők látnak el.

Mégsem mondható, hogy a **karbantartás és a termelés viszonya** minden tekintetben és pozitívan változna. Jól példázza ezt egy karbantartási benchmarking-elemzés során kidolgozott AMIS-módszerrel **nemzetközi** szinten, különböző profilú, nagyságrendű vállalatoknál végzett **vizsgálat** néhány eredménye, megállapítása:

- a TPM elven alapuló megoldások aránya 5 %-ról 45 %-ra emelkedett;
- a berendezések teljesítménye ugyan 79 %-ról 82 %-ra nőtt, de üzemképességük változatlanul 85 % körüli;
- nem veszik kellően figyelembe a karbantartás, valamint a termelés költségei, minősége, a cég versenyképessége és eredményessége közötti összefüggést;
- erősödik a termelés és a karbantartás közötti konfliktus a rendelkezésreállás szigorodó követelményei miatt;
- akad példa arra, hogy a termelési stratégiával összehangolt karbantartás következtében a termelékenység és a minőség is javult;
- a rendelkezésreállás magasabb szintjét nagyobb karbantartási ráfordítással lehet elérni;
- a vizsgált vállalatoknak csupán 3%-a dolgoz ki közös, egységes termelési és karbantartási tervet, 57%-a utólag hangolja össze a karbantartást a termeléssel. [2]

2. A termelés és a karbantartás rendszerszemléletű kapcsolata

2.1. A termelés és a karbantartás rendszermodellje

Ha megvizsgáljuk a karbantartás kapcsolatát a termelési főfolyamattal, akkor hasonlóságok (pl. termelési tényezők jellege) és specifikus eltérések tapasztalhatók. Feltárható, hogy az egész termelőrendszer tekintetében a karbantartás milyen szerepet játszik, hogyan vesz részt a termelőrendszer műszaki, gazdasági, piaci, stb. céljainak elérésében. Ezt példázza az ***1. ábrán*** látható **rendszermodell**, amely mind a termelési főfolyamattal való – a géphasználati folyamaton keresztül megvalósuló – kapcsolatát, mind a karbantartás szerepét, feladatát jól tükrözi.

A modell érzékelteti és igazolja a fenntartás produktivitását is: a fenntartási erőforrások felhasználásával elhasználódási tartalékot (EHT) „termel" a tervezett termék-előállításhoz.

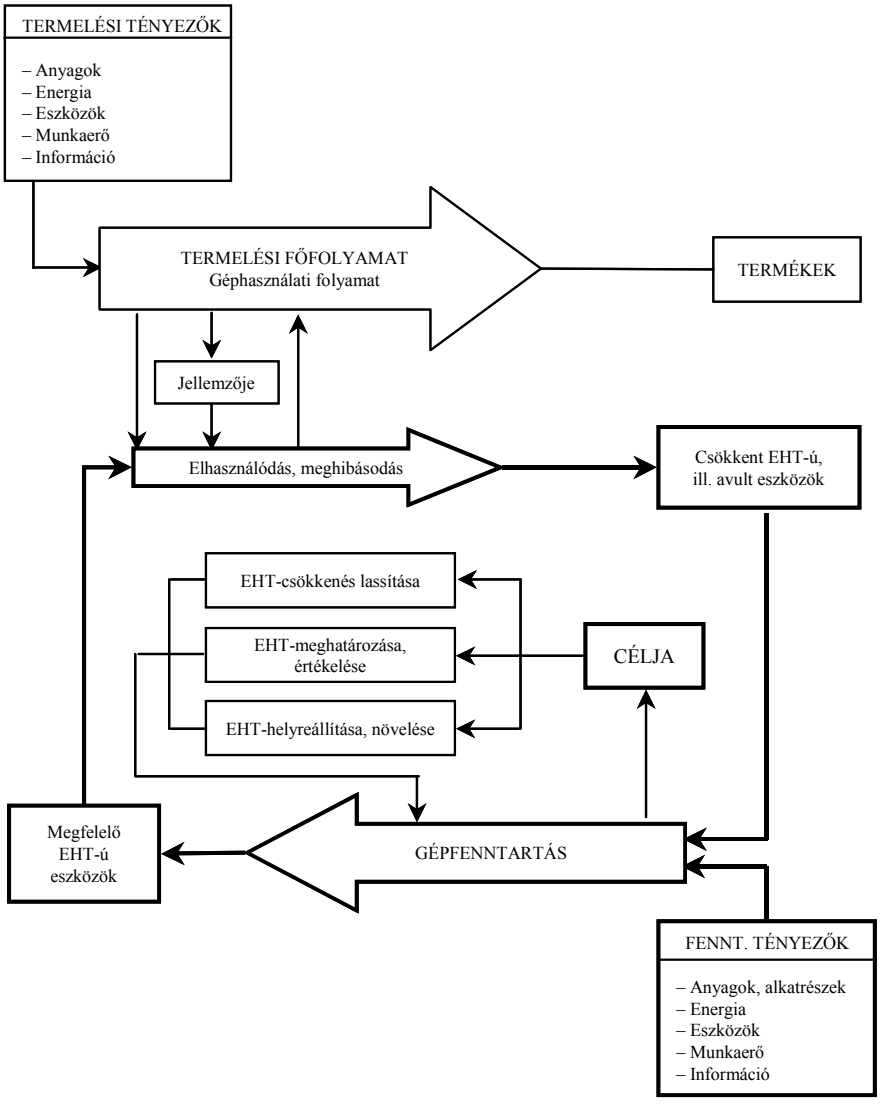
2.2. Az elhasználódási tartalék: kapcsolat a termelés és a karbantartás között

A különféle gépekre, berendezésekre azért van szükségünk, hogy azokkal a termelés által igényelt funkciókat teljesíthessük. A funkcióteljesítés az üzemeltetés során valósul meg, miközben a gép szükségszerűen elhasználódik, de tényleges használat nélkül is bekövetkezhet (elég csak a korrózióra gondolnunk).

A **funkcióképesség** feltétele, hogy a gépeket a funkcióteljesítéshez szükséges tartalékkal, készlettel állítsák elő. Ezt a funkcióteljesítést biztosító készletet nevezik **elhasználódási tartaléknak (EHT),** ez jelenti a gép használati értékét az üzemeltető számára. A tartalék értékét szerencsés esetben egy géprészre egyetlen jellemzővel - például a kopás mértékével - határozhatjuk meg, de ez az elhasználódás soktényezős jellegéből következően ritka. Ha a tartalék egyetlen fizikai jellemzővel nem határozható meg, akkor általában beszélhetünk az elhasználódási tartalékról és mértékét célszerűen százalékban fejezzük ki a kezdeti (a gyártás befejezésének időpontjához tartozó) értékéhez képest.

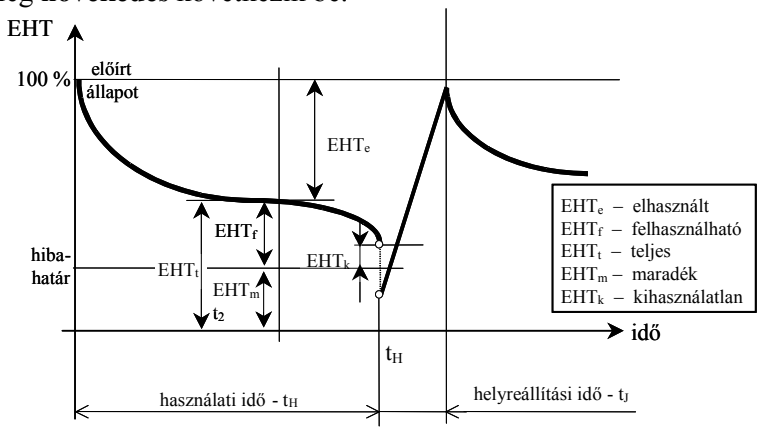
Az EHT a használat során a meghibásodás jellegétől függően folyamatosan vagy hirtelen, gyorsabban vagy lassabban csökken. Meghatározott karbantartási intézkedésekkel a leépülés mérsékelhető (ápolás-gondozás), az értéke megállapítható (ellenőrzés), vagy helyreállítható (javítás). Az EHT lényeges információkat közöl és fontos mind a karbantartó, mind az üzemeltető számára. A karbantartót általában a maradék élettartam érdekli elsősorban, amelynek meghatározása a karbantartás egyik elméleti, ugyanakkor közvetlen gyakorlati problémája is. A karbantartó és az üzemeltető is jogosan keresi az EHT kapcsolatát a még teljesíthető üzemórával, a még legyártható termékmennyiséggel. Az EHT mellett a kihasználási tartalékot értelmezhetjük, mint azt a termékmennyiséget, amely a termelési/szolgáltatási kapacitásokkal, meghatározott körülmények között teljesíthető, miközben az elhasználódási tartalék elfogy. Tehát az EHT a kiinduló, a kihasználá-

si tartalék pedig a célmennyiség, előbbi a gépre, utóbbi a teljesítményre vonatkozik. A megkülönböztetés lényeges a felelősségi viszonyok tekintetében is: a karbantartás a funkcióképességhez szükséges EHT rendelkezésre állásáért, ennek kihasználásáért a termelés felelős. Példaként gondoljunk a gépkocsi üzemeltetésére. Ha a gumiköpeny EHT-át a mintázat bordamélységével mérjük, tudhatjuk, hogy adott időpontban a még rendelkezésre álló EHT normál körülmények között hány kilométer megtételére elegendő, de a tényleges futásteljesítmény számos ismert körülménytől függ és a teljesítmény (kihasználási tartalék) felelőssége a gépjárművezetőé.



1. ábra. *A gépfenntartás rendszermodellje [3]*

A **teljes-** (EHT_t), a **felhasználható-** (EHT_f) és a **maradék** (EHT_m) **elhasználódási tartalék** fogalmai a *2. ábra* alapján értelmezhetők. Egy konkrét időpontra és eszközre (gép, részegység, alkatrész) vonatkoztatva az EHT_f az előre meghatározott hibahatárig rendelkezésre álló, funkcióellátásra igénybe vehető tartalékot jelenti, míg az EHT_t a tartalék teljes elfogyásáig tart. Ilyen értelemben használhatjuk az **EHT részleges,** illetve **teljes elvesztése** fogalmakat, de vegyük figyelembe, hogy az $EHT_m = EHT_t - EHT_f$ funkcióellátásra nem alkalmas. Az EHT_m értékének a helyreállítás szempontjából van jelentősége, hiszen a helyreállítás megkezdésekor, a t_H időpontban rendelkezésre álló EHT_t nagysága elsősorban a javítási költségeket, átfutási időt, stb. befolyásolja. A t_H időpontban a **kihasználatlan** (EHT_k) elhasználódási tartalék is értelmezhető. Az EHT_f és EHT_k nagyságát a hibahatár, vagyis a funkcióellátáshoz megkívánt szint természetesen befolyásolja. A helyreállítás szintjétől, műszaki megoldásától függően az eredeti EHT-hoz képest **csökkenés**, esetleg **növekedés** következik be.



2. ábra. *Az elhasználódási tartalék alakulása a használati idő függvényében [3]*

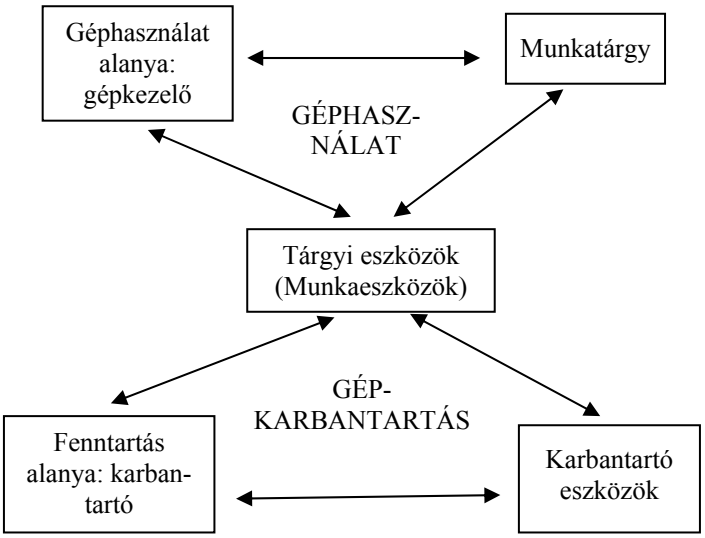
Az EHT fogalma és leépülésének folyamata alapján a **meghibásodás** eseménye a **gép, ill. valamely szerkezeti egysége eredeti vagy helyreállított elhasználódási tartalékának** a hibahatárt elérő részleges vagy teljes **elvesztése.** A meghibásodás a gépet olyan állapotba juttatja, amelyben a gépnek funkcióellátásra igénybe vehető tartaléka nincsen: tehát a **hibaállapotban az $EHT_f = 0$.**

A **hibahatár** úgy is értelmezhető, hogy annak túllépése még nem feltétlenül teszi szükségessé a működtetés megszakítását, mert esetleg csökkent teljesítménnyel az még folytatható. Ennek termelési, gazdasági, műszaki indokai és következményei (alacsonyabb teljesítmény, kisebb pontosság, növekvő selejt, stb.) is vannak. Ugyanakkor ez az "alku" új funkcionális követelményt, vagyis **új hibahatárt** jelent, amelyre szintén érvényes az $EHT_f=0$ szimbólum.

2.3. A karbantartás és a termelés szervezési alapjai

A vállalati folyamatrendszerben természetesen a termékelőállító és/vagy szolgáltatást nyújtó **főfolyamat** a meghatározó, de a **feltételi folyamatok** sorában kiemelkedően fontos a fenntartás (karbantartás).

Egy **munkafolyamat elemei** általánosan: a munka alanya (ember), a munkaeszköz (gép, berendezés, műszer, stb.), a munka tárgya, amelyekkel mind a géphasználati, mind pedig a gépkarbantartási folyamatot leírhatjuk *(**3. ábra**)*.



3. ábra. *Géphasználat és gépkarbantartás összefüggése*

Egyértelművé válik, hogy a gépkarbantartási folyamat tárgya a géphasználati folyamat munkaeszköze. Tekintsük át, hogy a termelési főfolyamat, illetve a karbantartási folyamat kialakításánál mely tényezők az elsődlegesek, és ezek között milyen kapcsolat tárható fel.

Egyértelművé válik, hogy a gépkarbantartási folyamat tárgya a géphasználati folyamat munkaeszköze. Tekintsük át, hogy a termelési főfolyamat, illetve a karbantartási folyamat kialakításánál mely tényezők az elsődlegesek, és ezek között milyen kapcsolat tárható fel.

A szervezési alap a termelés és a karbantartás esetében eltérő, de szorosan összefüggő. Míg a termelésnél a **termék és előállításának technológiája** a meghatározó, addig a karbantartás-szervezésnél a termékelőállítás technológiáját megvalósító eszköz (gép, berendezés, stb.) és a termelésben betöltött szerepe (funkciója) a meghatározó. Karbantartási rendszerek kialakításánál tehát az **eszköz és a funkciója együttesen** a meghatározó. A merev elkülönülést éppen a funkció figyelembevétele oldja.

Ez az elméleti megközelítés számos gyakorlati probléma megoldásában, helyes kezelésében segíthet. A termelésmenedzsment számára meghatározó alapkövetelmény, hogy a konstrukciót hatékonyan megvalósító technológiát és eszközeinek üzemeltetési követelményeit teljes részletességgel ismerje és uralja. A karbantartás-menedzsment csak akkor tud hatékony karbantartási rendszert kidolgozni és működtetni, ha a termelőeszközöket alkatrészmélységig ismeri, emellett a termelésben elfoglalt helye, feladata egy tervezési időszakban állandónak tekinthető.Ez az elméleti megközelítés számos gyakorlati probléma megoldásában, helyes kezelésében segíthet. A termelésmenedzsment számára meghatározó alapkövetelmény, hogy a konstrukciót hatékonyan megvalósító technológiát és eszközeinek üzemeltetési követelményeit teljes részletességgel ismerje és uralja. A karbantartásmenedzsment csak akkor tud hatékony karbantartási rendszert kidolgozni és működtetni, ha a termelőeszközöket alkatrészmélységig ismeri, emellett a termelésben elfoglalt helye, feladata egy tervezési időszakban állandónak tekinthető.

3. A termelés- és a karbantartás menedzsment kapcsolódása

3.1. A termelésmenedzsment és a karbantartás menedzsment értelmezése, kapcsolódó területeik

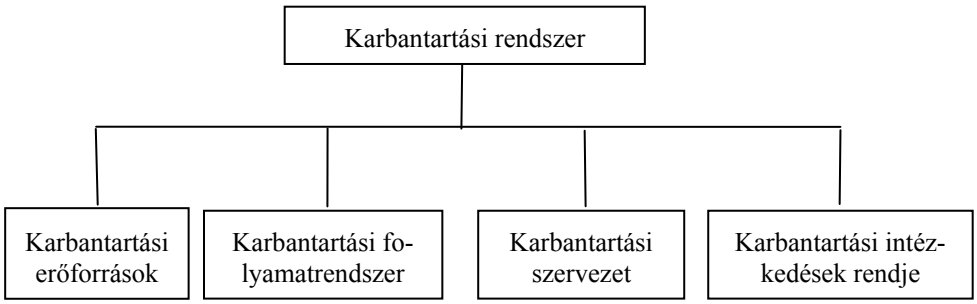
A **termelés menedzsment** annak a transzformációs folyamatnak a tervezését, szervezését, irányítását jelenti, amelynek során az ún. átalakító erőforrások egy részének felhasználásával más erőforrásokon (az ún. átalakuló erőforrásokon) új javakat (termékeket) létrehozó tartós változásokat hozunk létre. Ez lényegében a létrehozott termelőrendszer célirányos, hatékony működtetését jelenti.

A **karbantartás menedzsment** lényege hasonlóan közelíthető meg: annak a karbantartási folyamatnak a menedzselését értjük ezen, amelynek során a karbantartási rendszer működtetésével a karbantartási erőforrások egy részének (karbantartási létesítmények, gépek, berendezések, műszerek, szerszámok, munkaerő, stb.) segítségével a termelőberendezések funkcióképességét (megfelelő EHT-ú termelőeszközök rendelkezésreállását) biztosítjuk.

A karbantartás menedzsment tehát a karbantartási rendszer kialakítására és folyamatos működtetésére irányuló menedzsment tevékenység [4]. A rendszerszemléletű megközelítés közelebb visz a **karbantartási rendszer** értelmezéséhez és elemeinek meghatározásához, hiszen az

- a karbantartás átalakuló és átalakító erőforrásait,
- a karbantartási folyamatot és részfolyamatait (feltételi folyamatait),
- a karbantartás szervezetét és
- a termelőeszközök funkcióképességének fenntartásához szükséges intézkedések rendjére (jellegére, tartalmára, időpontjára, gyakoriságára, paramétereire, stb.) vonatkozó, a stratégiai elgondolások megvalósítását jelentő terveket foglalja magában ***(4. ábra)***.

A karbantartási rendszer összetettsége, bonyolultsága sok tényezőtől függ, leginkább a termelőeszközök és funkciók által megszabott intézkedések rendszere befolyásolja.



4. ábra *A karbantartási rendszer elemei*

A **kapacitás menedzsment** a (tervezett) termelési feladatokhoz szükséges kapacitások létrehozását, bővítését, működtetését, karbantartását, fejlesztését foglalja magában. Ezek közül a karbantartásmenedzsmentnek nemcsak a közvetlen karbantartásban, de – jóval kisebb mértékben – a létrehozásban (beruházásban), a fejlesztésben is van szerepe és lehetősége.

Másik lényeges, szoros kapcsolatot a **kétféle tevékenység tervezése** jelentheti. Ez konkrétan a tervezett megelőző műveletek időigényének figyelembevételét jelenti a termeléstervezés részéről, illetve a váratlan hibák elhárításának jellemzői a karbantartási rendszer sajátosságaiból fakadnak.

3.2. Optimális karbantartási stratégia és karbantartási rendszer kiválasztása

3.2.1. Karbantartási stratégiák modellezési lehetősége

Egy **modellvizsgálat** során [5] párhuzamos és soros (összesen négy) gépegységből álló gyártósor esetében **háromféle** kiinduló feltétellel meghatározott karbantartási **modelleket** (összesen 16 féle karbantartási ciklussal) **elemeztek**:

a) A megbízhatóság előírt szintjéhez minimális karbantartási költség tartozzon. A karbantartási költség az üzemidővel egyenesen, az átlagos hibamentes működési idővel pedig fordítottan arányos.
b) A lehető legnagyobb megbízhatóság elérése rögzített költségvetési korlátokkal. Csak a rögzített ráfordítások összegéig lehet karbantartási intézkedéseket végezni. A megbízhatóság növeléséhez kisebb, a költségminimumhoz nagyobb karbantartási ciklusok tartoznak.
c) A karbantartási költség és a termeléskiesés miatti veszteség összegének minimuma a teljes élettartamra.

Az **a) modell** esetében 95 %-os kívánt minimális megbízhatósági értékhez a költségminimumot (77888 USD) és az ennek megfelelő gépegységenkénti eltérő karbantartási intervallumokat határoztak meg. Az érzékenységvizsgálat pedig azt eredményezte, hogy a megbízhatóság növekedése a rendszer egészére a karbantartási költségek erőteljes, 95 % felett drasztikus növekedésével jár.

A **b) modellváltoza**t a rögzített karbantartási költséggel elérhető maximális rendelkezésre állást célozta. Az előző modellben kapott karbantartási költségnél kisebb (60000 USD) előírt költségkeret betartása mellett az eredő megbízhatósági mutató éppen csak 90 % feletti lett, amelynek 5 %-os növelése 50 %-os költségtöbblettel érhető el. A karbantartási intervallumok jelentősen (gépegységenként 20-35 %-kal) megnövekedtek.

A **c) modell** szerint vizsgált stratégiák közül a legkedvezőbb karbantartási költségigényű változat (75647 USD) esetén 500 USD/óra fajlagos veszteséggel kalkulált, összesen 123333 USD/év kiesési veszteség adódott viszonylag kicsi karbantartási ciklusokkal. Az érzékenységvizsgálat szerint a fajlagos veszteség értékének növekedésével, például 800 USD/óra értéknél 13,4 %-kal nő az összes költség.

3.2.2. Karbantartási stratégia és a gyártás termelékenysége

Karbantartási stratégiákkal kapcsolatos modellvizsgálatokat rugalmas gyártórendszerek termelékenységével kapcsolatban is végeztek [6]. A szimulációs modell jellemzői:

- egyik modellben nincsenek megelőző karbantartási műveletek, a többiben igen,
- az üzemelési idő növekedésével az egyes alkatrészek meghibásodási valószínűsége nő,
- várható eredménye annak meghatározása, hogy az egyes karbantartási változatok milyen mértékben csökkentik a hibák bekövetkezésének kockázatait.

A modellvizsgálat során egy alapváltozatot és öt karbantartási stratégiát különböztettek meg:

- alapváltozat: FRC – a teljesen megbízható, azaz semmilyen karbantartási beavatkozást nem igénylő ideális eset,
- eseti (korrekciós) karbantartás: CMP – a hiba (termelésleállás) bekövetkezésekor avatkoznak be (jellemző: két hiba közti átlagos üzemidő - MTBF),
- üzemszünet idején (pl.: műszakok végén) egyszerre végzett megelőző intézkedések: BBP – a szükséges alkatrészcserék, stb. végrehajtása mellett is előfordulnak nem tervezett beavatkozások,
- tervezett üzemeltetési időtől függő intézkedések: ABP – a tervezett használati idő a tényleges (de tervezett) elhasználódásához igazodik, nem szokásos, a termelés által determinált (pl. a műszak végétől függő) ciklusokkal,
- lehetőségekből függő stratégia: OTP – a géphiba miatti üzemszünetben a gyártócellán az esedékes megelőző beavatkozásokat is elvégzik, így a hibák bekövetkezéstől függően az EHT egy része kihasználatlan marad,

- időbeli feltételektől függő beavatkozások: COP – ekkor is a hiba miatti gépálláshoz rendelik az esedékes karbantartási műveleteket, de ezek csak előre meghatározott feltételek szerint vehetők számba (pl.: a műszak végéhez mérten a műszakidő negyedénél kisebb időtartamon belül indított hibaelhárítás esetén a megelőző karbantartásokat is elvégzik).

Egy konkrét szimulációs vizsgálat a karbantartási stratégiák hatásának megállapítását célozta a gyártócella termelékenységére (kibocsátására). A vizsgálat szerint a két hiba közötti átlagos időtartam (MTBF) alakulásától függ, hogy a gyártócella kapacitása milyen mértékben használható ki az összehasonlított karbantartási stratégiák alkalmazása esetén. A legkedvezőbb eredményt az OTP jelű adja, aztán az ABP, COP, BBP és végül a CMP következik. A stratégiák közti eltérés növekvő MTBF esetén csökken.

3.3. Összefüggések a költségmenedzsment területén

Reális menedzsment-döntéshez a berendezések teljes élettartamára eső ún. **életciklusköltségek** számbavétele ad reális alapot. Az életciklusköltségek három időszakhoz kötődően merülhetnek fel [8]:

- **beszerzési szakasz**: pl.: tervezési, beruházási, technológiai szerelési költségek,
- **üzemeltetési szakasz:** üzemeltetési költségek, pl.: energiafelhasználás, üzemeltetés személyi költségei, termelési okokból fellépő veszteségek; üzemfenntartási költségek, pl.: fenntartási intézkedések, a fenntartás működtetésének költségei, karbantartási okokból fellépő veszteségek;
- **selejtezési szakasz**: pl.: üzemen kívül helyezés, szétszerelés, hasznosítás, hulladékkezelés, ártalmatlanítás költségei.

3.3.1. Egyszerű modell a karbantartási stratégiák (rendszerek) közötti választásra

A termelési szempontok – a váratlan hibák miatti állásidő költségkihatásait – is figyelembevevő kéttényezős modell alapján dönthetünk arról, hogy az 1-es vagy a 2-es jelű (indexű) karbantartási stratégiát, illetve az ezt megvalósító karbantartási rendszert alkalmazzuk.

A két tényező:

K – a karbantartási rendszer éves átlagos „közvetlen” költsége (a karbantartás összes működési költsége [Ft/év])

V – a karbantartási rendszer alkalmazása esetén a váratlan hibákból eredő állásidőre jutó elmaradt haszon és veszteség összege [Ft/év]

Ezeket a tényezőket célszerű hosszabb (legalább egy karbantartási ciklust magában foglaló) időszak adataiból képezni mindkét karbantartási stratégiára (rendszerre) vonatkozóan.

Tekintsük a $g = \dfrac{K_1 + V_1}{K_2 + V_2}$ összefüggést.

Ha g>1, akkor a 2-es jelű stratégia (rendszer) alkalmazása a célszerű az 1-es stratégiával szemben.

3.3.2. A kockázattal bővített gazdasági megítélés lehetősége

Különösen a folyamatos üzemű eszközök, vagy nagy értékű gépek, berendezések esetén ajánlott az optimális gazdasági viszonyokra való törekvés.

Egy esettanulmány [8] a dortmundi EUS áramszolgáltató vállalat fenntartási stratégiáját elemzi. Optimálisnak tekinti azt a karbantartási tervet, amely a termelési teljesítményt, a minőséget és a kockázatokat kiegyensúlyozottan kezeli.

A példa a távvezeték hálózat németországi üzemeltetési viszonyai között egy hosszú, 10 éves időszakban összeveti a karbantartás egyre zsugorodó költségeit és a nem megfelelő karbantartás miatt a változó kockázatok alakulását.

Az elemzési adatok igazolják, hogy a karbantartási költségek csökkentése a későbbiekben a vállalati összes költség nagyobb arányú növekedését okozhatja, egyre növekvő kockázatokkal (pl.: áramellátásban, a cég gazdálkodásában). Sajnos általában nem az előírt megbízhatósághoz szükséges karbantartási költségek nagysága a kérdés, hanem ennek a fordítottja: az adott karbantartási költségekkel milyen legyen az optimális karbantartási program.

Ez utóbbit vette alapul ez a vizsgálat [8] is, amely a külső költségvetési változatok (a referenciaszint értékének százalékban meghatározva) gazdasági hatásait számszerűsítette a felújításokra, más üzemfenntartási műveletekre, a fedezethiány miatti beavatkozás-mentességre, a 10 éves élettartamra számított jelenértékű kiadásokra és az üzemzavarok fellépésének kockázataira.

Százalékban határozták meg a tárgyévet követő évre vonatkozó eredményeket. A fontosabb megállapítások a jövőre vonatkozóan:

- a 98 %-os költségkeretű fenntartás a következő év kockázatát lényegében nem emeli;
- a 80 %-os költségkeretű fenntartás az üzemzavarok kockázatát 4,45-szorosára emeli, jelenértékben a kiadások 12 %-kal növekednek;
- ha a fenntartási költségkeret netán 25 %-kal növekedne, a jelenértéke ugyan mintegy 9 %-kal nőne, de az üzemzavarok eredeti kockázata 42 %-ra csökkenne.

3.4. A fenntartás és a termelési folyamat hatékonysága

A karbantartási stratégiának azt a célt kell szolgálnia, hogy a karbantartás által okozott vagy megfelelő karbantartással elkerülhető veszteségeket hatékonyan mérsékelje. A termelési folyamat egészét ez és számos egyéb veszteség is terheli, ezeket a szakirodalom az OEE (overall equipment effectiveness) mutatóval jellemzi.

Az eszközök átfogó hatékonysági mutatója három tényező szorzata:

$$OEE = \text{rendelkezésre állás} \times \text{teljesítménykihasználás} \times \text{minőségi ráta}$$

Mindegyik tényező 2-2 veszteségelemből áll, amelyek így az ismert hat nagy veszteségforrást jelentik *(**1. táblázat**)*:

1. táblázat. *A termelés és a karbantartás hatása a veszteségforrásokra*

OEE tényezők	Hat nagy veszteségforrás	Befolyásolja	
		Termelés	Karbantartás
Rendelkezésre állás	1. Üzemzavarok miatti állásidő		+
	2. Beállítások, átállás	+	
Teljesítmény-kihasználás	3. Üresjárat, kisebb üzemszünetek	+	
	4. Csökkentett sebességű működés	+	+
Minőségi ráta	5. Minőségi hibák, újragyártás, selejt	+	
	6. Újraindítási veszteségek	+	+

A fenntartás a veszteségek egy részére lehet hatással, legfőképpen a meghibásodások miatti állásidő csökkentésére, esetleg a karbantartásra visszavezethető csökkent sebességű működésre és a váratlan hibaelhárítások utáni újraindítási veszteségekre. Ezekben is a termeléssel szorosan együttműködve járhat el hatékonyan.

Egy választott **gyártósor** május-október közötti időszak OEE tényezőinek **elemzése** [9] megmutatta, hogy a tényezők értékeinek ingadozása hatására a tényezők költséghatásainak megoszlása is széles határok között változott. Például: a gyártósor rendelkezésreállás miatti veszteségaránya csak 23% / amikor a rendelkezésreállás a legjobb-90%/, és ez 58%-ra nőtt augusztusban / amikor a rendelkezésreállás csak 84% /.

Érdekes, hogy amíg a minőségi ráta lényegében változatlan (97-98%), addig a minőségveszteségek aránya széles határok között (11-63%) változott, ellentétesen követve a rendelkezésreállás miatti veszteségarányokat (58-23%). Ez is alátámasztja a karbantartási rendszer és folyamatai hatását a termelőrendszer rendelkezésreállására és a termékek minőségére [10].

4. A karbantartás hatása a cég versenyképességére

A termelési folyamat hatását egy cég versenyképességére sokan vizsgálták, közülük [11] munkájára támaszkodunk. A gondolatokat természetesen tovább kell vinnünk, hiszen a karbantartás versenyképességre való hatását kívánjuk vázolni.

A **versenyképesség** a fogyasztó által, egy adott terméknek a szóba jöhető más termékekkel való összehasonlítása alapján érzékelt előnye (vagy éppen hátránya). A versenyképesség négy meghatározó **eleme**: a működés hatékonysága; a termék / szolgáltatás minősége; az innovációs képesség; a fogyasztóközpontúság. A versenyképesség a cég egésze teljesítményének eredménye. Minden vállalati

tevékenység – természetesen eltérő mértékben – hat a versenyképesség alakulására. A termelési folyamattal közvetlenül kapcsolatban lévő elemei: alacsony ár; magas minőség; gyors és biztonságos kiszolgálás; fogyasztói igényeknek megfelelő termék; széles termék / szolgáltatás választék.

Megállapítható, hogy a karbantartásmenedzsment által befolyásolható **hagyományos karbantartás-jellemzők** javulása, egyben a termelési folyamat, ezáltal az egész cég (termelőrendszer) **versenyképességi mutatóit** kedvezően befolyásolja. Így különösen a megfelelő (pl. kellően rugalmas) karbantartási stratégia és -rendszer kidolgozása és működtetése (beleértve a karbantartási folyamatok illesztését a vállalati folyamatrendszerbe), a termelőeszközök rendelkezésre állásának, megbízhatóságának, gépképességi mutatójának megkívánt szintje elérése, a karbantartási és kiesési költségek együttes minimalizálása, valamint hozzájárulás a termelőeszközök teljesítőképességének növeléséhez, pl. a szűk keresztmetszetek feloldásával, a karbantarthatóság növelésével hatékony karbantartási eszközt jelent.

A termelési folyamatra és a versenyképességre való hatás tekintetében is az egyik legfontosabb karbantartási eredménymutató a gépek, berendezések **rendelkezésreállásának mértéke**. Ez más megközelítésből is elsődlegesen fontos. A **Fraunhofer Intézet** 2004-ben 49 nagy német iparvállalatnál **felmérést** végzett. A megkérdezettek 90 %-a a legfontosabb három cél közé a termelékenység növelését sorolta, amelyet többek között, de első helyen a rendelkezésreállás növelésével tartottak elérhetőnek. Ugyanakkor a rendelkezésreállás megítélése nem volt egyértelmű. Miközben a vállalatoknál a gépek átlagos rendelkezésreállása 90% körüli volt,

- a 90-95 % közötti rendelkezésreállású gépekkel üzemelő vállalatok ezzel az értékkel alig, vagy egyáltalán nem voltak elégedettek;
- a 80 %-nál kisebb rendelkezésreállású gépeket használó vállalatok 20 %-ánál ez semmiféle gondot nem jelentett;
- valamennyi 90-95 % közötti rendelkezésreálló gépparkkal rendelkező vállalat a tíz legeredményesebb vállalat körébe tartozott [12].

5. Összefoglalás

A cikk be kívánta mutatni és az idézett vizsgálatokkal is igazolni, hogy

- a karbantartás a termelés nélkülözhetetlen feltételi folyamata;
- a termelés és a karbantartás kapcsolata rendszerszemléletbem kezelendő;
- karbantartási eszközökkel (pl.: a karbantartási stratégia és rendszer célszerű megválasztásával, a karbantartásra visszavezethető kiesések csökkentésével) a termelő berendezések termelékenysége, kapacitáskihasználása növelhető;
- egy-egy jellemző adat (pl.: a rendelkezésreállás mértéke) megítélése ugyan eltérő, de aligha kétséges, hogy a **hatékony** és **együttműködő termelés** és **fenntartás** a vállalat sikerességét elősegíti.

6. Irodalomjegyzék

[1] Gaál, Z. (szerk.): *Karbantartási kézikönyv*, RAABE Tanácsadó és Kiadó Kft., Budapest, 2002-2007

[2] Boros, T-né (összeáll.): *A karbantartás hatékonyságvizsgálata benchmarkingon alapuló módszerrel.* In: Műszaki Információ Üzemfenntartás-karbantartás (MIÜF), 2005/5 BME OMIKK, Budapest, p. 3-14.

[3] Vermes, P.: *A vevőszolgálat, a fenntartás, valamint a hiba- és gyengepont elemzés komplex kölcsönhatásai*, Doktori értekezés, Gödöllő: GATE, 1997., pp. 122 +mell.

[4] Vermes, P.: *Alapelvek a karbantartás-szervezésben.* In: Országos Karbantartási és Munkabiztonsági Konferencia, GTE, Nyíregyháza, 2006. jún. 28-30. CD, p. 17

[5] Gittlár, F-né (összeáll.): *Üzemfenntartási stratégia optimális viszonyainak modellszámítása.* In: Műszaki Információ Üzemfenntartás-karbantartás (MIÜF), 2007/4 BME OMIKK, Budapest, p. 14-24.

[6] Gittlár, F-né (összeáll.): *Rugalmas gyártócellák termelékenysége és az üzemfenntartási stratégia közötti kapcsolat.* In: Műszaki Információ Üzemfenntartás-karbantartás (MIÜF), 2007/3 BME OMIKK, Budapest, p. 12-22.

[7] Boros, T-né: Új megközelítés termelési segédeszközök gazdasági értékelésében. In: Műszaki Információ Üzemfenntartás-karbantartás (MIÜF), 2003/2 BME OMIKK, p. 12-17.

[8] Bühner, V.: *Asset Risk Management. Risikobewertung zur Optimierung von Instandhaltungs- und Erneuerungsmassnahmen.* In: Das Magazin für die Energiewirtschaft, 105. k. 12. sz., 2006. jún., p 18-21.

[9] Juric, J. – Sánchez, A. – Gori, A.: *Money-based overall equipment effectiveness*. In: Hydrocarbon Processing , 85. k. 5. sz., 2006., p. 43-45.

[10] Szűcs, S.: *A szükséges „rossz" mint jó befektetés. Karbantartás minőségirányításának feladatai*. In: Economica, IV. új évf. 10. sz., 2011., p. 106-115.

[11] Marosán, Gy.: *Termelés és szolgáltatásmenedzsment*, Budapest, Általános Vállalkozási Főiskola, 2006., pp. 228.

[12] Pálinkás, J. (összeáll.): *A karbantartás hatása a vállalkozás eredményességére.* In: Műszaki Információ Üzemfenntartás-karbantartás (MIÜF), 2006/6 BME OMIKK, Budapest, p. 13-16.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 69-78.

EGYENES ALKOTÓJÚ HENGERES TEST KÖRÜLI HATÁRRÉTEG-ÁRAMLÁS NUMERIKUS VIZSGÁLATA

Kalmár László [1], Czibere Tibor [2]
[1] Egyetemi docens, [2] Professzor emeritus
Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke
3515 Miskolc-Egyetemváros, aramka@uni-miskolc.hu, aramczt@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A cikk egy számítási módszert mutat be, amely egy ellipszis (határesetben kör-) keresztmetszetű hengeres test körül kialakuló határréteg-áramlás sebességeloszlásának numerikus meghatározására szolgál, az un. sztochasztikus turbulencia modell alkalmazásával [1,2]. A keresett sebességeloszlás egy differenciálegyenlet-rendszer numerikus megoldásával állítható elő a határréteg speciális koordinátarendszerében. Ez a számítási eljárás a szakirodalomban már bevett szóhasználattal a rúd körüli határréteg-áramlásnak az un. egy-egyenlet megoldási módszere. A módszer és az ennek alapján kifejlesztett számítógépes kód lamináris és turbulens határréteg áramlások esetében egyaránt alkalmazható [3].

Kulcsszavak: *lamináris és turbulens határréteg-áramlás, sztochasztikus turbulencia-modell*

Abstract

This paper deals with the introduction of a numerical method available to determine velocity distribution of the boundary layer flow around elliptical (in border-line case is cylindrical) cylinder by applying the Stochastic Turbulent Model (STM) proposed by Czibere [1,2]. The wanted velocity distributions can be determined by numerical solution of this differential equation in special coordinate system of the boundary layer. This numerical computational procedure is named in the literature as „one-equation method" applying to solve the boundary layer flow around cylindrical rod. The numerical algorithm and also the developed computer code is available to investigate both the cases of laminar and turbulent flows [3].

Keywords: *laminar and turbulent boundary layer flow, stochastic turbulent model*

1. A turbulens áramlás transzportegyenletei

1.1 Tömeg- és impulzus-megmaradási tételek

A folyékony kontinuumok turbulens áramlásában a pillanatnyi turbulens jellemzőkkel felírt tömeg- és impulzus-megmaradást kifejező alapegyenletek időbeni átlagolásával állíthatjuk elő a folyékony kontinuum turbulens mozgását leíró transzportegyenleteket az időbeni középértékkel értelmezett $\mathbf{v}(\mathbf{r},t)$ sebességtérben *összenyomhatatlan Newtoni közeg* áramlása esetére.

Az összenyomhatatlan közegre vonatkozó *tömegtranszport* egyenlete [1,2]:

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \tag{1}$$

és az *impulzustranszport* egyenlete:

$$\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \rho(\mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{v} = \rho\, \mathbf{g} + -\nabla p + \eta\, \Delta\, \mathbf{v} - \mathrm{Div}\, \rho\, (\overline{\mathbf{v}' \circ \mathbf{v}'}) \quad , \tag{2}$$

ahol: $\mathbf{v}'(\mathbf{r},t) = v_1'(\mathbf{r},t)\,\mathbf{e}_1 + v_2'(\mathbf{r},t)\,\mathbf{e}_2 + v_3'(\mathbf{r},t)\,\mathbf{e}_3$ a *turbulens ingadozási sebességtér*; $\mathbf{g}$ a tömegegységre vonatkoztatott *fajlagos térerő*; $\mathbf{r} \equiv (q_1, q_2, q_3)$ az *általános ortogonális görbevonalú koordináták*; $\mathbf{F}_R = -\rho\, (\overline{\mathbf{v}' \circ \mathbf{v}'})$ a *Reynolds-féle turbulens feszültségtenzor*.

A $\mathbf{v}(\mathbf{r},t)$ sebesség- és $p(\mathbf{r},t)$ nyomás-tér meghatározása szemszögéből nézve a fenti két transzportegyenlet ugyan a rendelkezésünkre áll. De az problémát jelent, hogy a (2) egyenletben – az $\mathbf{F}_R$ Reynolds-féle turbulens feszültségtenzor elemei – mint további ismeretlen függvények jelennek meg. A megoldandó differenciálegyenlet-rendszer az ismeretlen függvények meghatározása szempontjából nézve alulhatározott.

1.2 A turbulens kinetikus energia transzportegyenlete

A következőkben vizsgálat tárgyává tesszük a

$$k = (\overline{\mathbf{v}' \cdot \mathbf{v}'})/2 \tag{3}$$

egyenlettel definiált *fajlagos turbulens kinetikus energia* transzportját. A szükséges átalakítások [2] elvégzését követően – a részletek bemutatásának mellőzésével – nyerjük a

$$\frac{\partial k}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla)\, k = -(\overline{\mathbf{v}' \circ \mathbf{v}'}) : (\nabla \circ \mathbf{v}) - \varepsilon\ - \nabla \cdot \left[\overline{\left(\frac{\mathbf{v}' \cdot \mathbf{v}' \cdot \mathbf{v}'}{2} + \frac{\mathbf{v}'\, p'}{\rho} \right)} - \upsilon\, \nabla k - \upsilon\, \mathrm{Div}\, (\overline{\mathbf{v}' \circ \mathbf{v}'}) \right] \tag{4}$$

turbulens kinetikus energia transzportegyenletét, ahol

$$\varepsilon = \upsilon\, \overline{(\mathbf{v}' \circ \nabla) : (\mathbf{v}' \circ \nabla + \nabla \circ \mathbf{v}')} \quad . \tag{5}$$

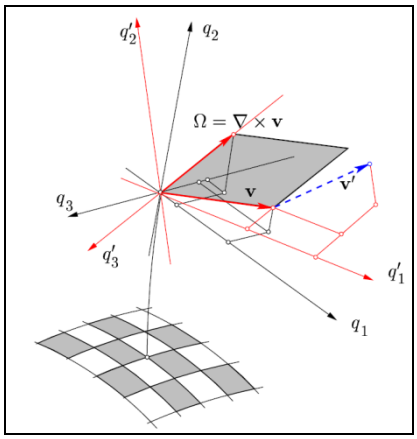
Az egyenlet bal oldalán a *turbulens kinetikus energia szubsztanciális* (időbeni teljes) *megváltozása*. A (4) egyenlet jobb oldalán álló első tag a *turbulens produkció* ($\nabla \circ \mathbf{v}$ a gerjesztője a turbulenciának), a második tag a *turbulens disszipáció* és a harmadik tag pedig a *turbulens kinetikus energia diffúziója*.

Az (1) és (2) differenciálegyenletek alkotta egyenletrendszer a turbulens kinetikus energia (4) transzportegyenletével kiegészítve is alulhatározott marad, mert újabb ismeretlen függvények is fellépnek. Ezért a kiegészített egyenletrendszert – a megoldhatósága érdekében – még bővíteni kell, vagyis a megoldáshoz modell alkotására van szükség.

2. A sztochasztikus turbulencia-modell

Az időbeni középértékekkel értelmezett sebességtérben a $\mathbf{v}$ sebességvektor és az $\boldsymbol{\Omega} = \nabla \times \mathbf{v}$ örvényvektor által meghatározott *természetes koordinátarendszer* bázisvektorai [2]:

$$\mathbf{e}_1' = \mathbf{e}_2' \times \mathbf{e}_3' \quad ; \quad \mathbf{e}_2' = \frac{\mathbf{v} \times \boldsymbol{\Omega}}{|\mathbf{v} \times \boldsymbol{\Omega}|} \quad ; \quad \mathbf{e}_3' = -\frac{\boldsymbol{\Omega}}{\Omega} \quad . \tag{6}$$



1. ábra. *A természetes* q_1', q_2', q_3' *és a számítási* q_1, q_2, q_3 *koordinátarendszer*

A *természetes* és a *számítási koordinátarendszer* közötti transzformáció az $\mathbf{E}$ transzformáció tenzor felhasználásával végezhető el, amelynek elemei az alábbi összefüggésekből számíthatók:

$$E_{i1} = \frac{1}{\sqrt{1-S^2}} \left(\frac{v_i}{v} - S \frac{\Omega_i}{\Omega} \right) ; \qquad E_{i3} = -\frac{\Omega_i}{\Omega} \quad , \text{(ahol } i = 1, 2, 3 \text{)} \tag{7}$$

$$E_{12} = \frac{1}{\sqrt{1-S^2}} \frac{v_2 \Omega_3 - v_3 \Omega_2}{v\Omega} ; \; E_{22} = \frac{1}{\sqrt{1-S^2}} \frac{v_3 \Omega_1 - v_1 \Omega_3}{v\Omega} ; \; E_{32} = \frac{1}{\sqrt{1-S^2}} \frac{v_1 \Omega_2 - v_2 \Omega_1}{v\Omega} , \tag{8}$$

ahol:

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2} \; ; \; \Omega = \sqrt{\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2} \; ; \; S = \left(\frac{\mathbf{v}}{v} \cdot \frac{\nabla \times \mathbf{v}}{\Omega} \right) = \frac{v_1 \Omega_1 + v_2 \Omega_2 + v_3 \Omega_3}{v\Omega} . \tag{9}$$

2.1. A sztochasztikus turbulencia-modell (STM) alapösszefüggései a természetes koordinátarendszerben

Az áramlási tér azon részében, ahol a turbulens ingadozást szilárd fal nem korlátozza – tehát már teljesen kifejlődött turbulencia esetéről van szó – a *Reynolds-féle turbulens feszültségtenzor* a természetes koordinátarendszerben a turbulencia $M_Y = l\Omega$ *sebességléptékével* az alábbi egyenlet szerint határozható meg [2]:

$$\mathbf{F}_R = -\rho\ (\overline{\mathbf{v}' \circ \mathbf{v}'}) = \rho\ \kappa^2 (l\Omega\ )^2 \mathbf{H}\ , \tag{10}$$

ahol $\kappa = 0,407$ a *Kármán-konstans*, l a turbulencia un. *hosszúság-léptéke* (egy hosszúság-dimenziójú érték, ami a *Prandtl-féle keveredési úthossznak* felel meg), továbbá $\mathbf{H}$ az un. *hasonlósági tenzor* az alábbi skalár elemekkel:

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} \alpha & 1 & 0 \\ 1 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & \gamma \end{pmatrix} \quad ; \alpha = -3,28 \qquad \beta = -1,64 \qquad \gamma = -2,46\ . \tag{11}$$

A *fajlagos turbulens kinetikus energia* a turbulencia sebességléptékével kifejezve:

$$k(\mathbf{r},t) = \tfrac{1}{2}(\overline{\mathbf{v}' \cdot \mathbf{v}'}) = a^2 \kappa^2 (l\Omega\ )^2 \quad ; \qquad a^2 = -\tfrac{1}{2}(\alpha + \beta + \gamma\ ) = 3,69\ . \tag{12}$$

Az *örvényviszkozitási tenzor* a hasonlósági tenzor deviátora:

$$\mathbf{H}_* = \begin{pmatrix} \alpha_* & 1 & 0 \\ 1 & \beta_* & 0 \\ 0 & 0 & \gamma_{*.} \end{pmatrix} \ ; \ \alpha_* = \tfrac{1}{3}(2\alpha - \beta - \gamma); \beta_* = \tfrac{1}{3}(2\beta - \alpha - \gamma\ ); \gamma_* = \tfrac{1}{3}(2\gamma - \alpha - \beta\ )\ . \tag{13}$$

A *turbulens feszültségtenzor* a fentieket felhasználva az alábbi módon is felírható:

$$\mathbf{F}_R(\mathbf{r},t) = -\rho\ (\overline{\mathbf{v}' \circ \mathbf{v}'}) = \rho\ k\ \mathbf{H}_* \big/ a^2 - \tfrac{2}{3}\rho\ k\ \mathbf{I} \qquad . \tag{14}$$

Az (5) egyenlettel definiált ε *fajlagos turbulens disszipáció* két különböző módon számítható:

- egyrészt a *sztochasztikus turbulenciamodell* fenti paramétereinek felhasználásával:

$$\varepsilon\ = -\upsilon\kappa^2 \left\{ a_{11} A_1^2 + a_{22} A_2^2 + a_{33} A_3^2 + 2\left(a_{12} A_1 A_2 + a_{13} A_1 A_3 + a_{23} A_2 A_3 \right) \right\}\ , \tag{15}$$

ahol: $a_{11} = 2\alpha + \beta + \gamma \qquad a_{22} = \alpha + 2\beta + \gamma \qquad a_{33} = \alpha + \beta + 2\gamma\ ;$

$a_{12} = \alpha + \beta + \gamma + 1 \qquad a_{13} = \alpha + \beta + \gamma \qquad a_{23} = \alpha + \beta + \gamma\ ;$

$A_i = \dfrac{\partial\ (l\Omega)}{h_i' \partial q_i'} \qquad (i = 1,2,3).$

- másrészt a *dimenzióanalízis* alapján nyert alábbi formula segítségével:

$$\varepsilon\ = C_E \upsilon^N (l\Omega\ )^{2(1-N)} \Omega^{N+1} \quad ; \qquad N \approx 2 \quad \text{és} \quad C_E \approx 0,1\ . \tag{16}$$

A (15) és (16) formulák összevonásával adódik egy differenciálegyenlet az $l\Omega$ *sebességléptékre*:

$$a_{11} A_1^2 + a_{22} A_2^2 + a_{33} A_3^2 + 2\left(a_{12} A_1 A_2 + a_{13} A_1 A_3 + a_{23} A_2 A_3 \right) = -C_E \kappa^{-2} \upsilon^{N-1} (l\Omega\ )^{2(1-N)} \Omega^{N+1}\ . \tag{17}$$

2.2. A sztochasztikus turbulencia-modell (STM) alapösszefüggései a számítási koordinátarendszerben

A turbulens áramlást leíró skalár mennyiségek változatlanok a két koordináta rendszerben, de a vektor- és tenzor mennyiségeket át kell transzformálni az egyik koordinátarendszerből a másikba. A $\mathbf{G}$ *örvényviszkozitási tenzor* az $\mathbf{E}$ transzformációs tenzor felhasználásával adódik:

$$\mathbf{G}(\mathbf{x},t) = \mathbf{E} \cdot \mathbf{H}_* \cdot \mathbf{E}^T \qquad . \tag{18}$$

A fenti kifejezéseket felhasználva a *turbulens feszültségtenzorra* felírt (10) összefüggés a

$$\mathbf{F}_R(\mathbf{r},t) = -\rho\ (\overline{\mathbf{v}' \circ \mathbf{v}'}) = \rho\ k\ \mathbf{G}/a^2 - \tfrac{2}{3}\rho\ k\ \mathbf{I} \tag{19}$$

formában írható fel. Az $l\Omega$ *turbulens sebességlépték* (17) differenciálegyenlete alakilag változatlan marad a számítási koordinátarendszerben, de az A_i tényezők transzformációra szorulnak:

$$A_i = E_{i1}\frac{\partial\ (l\Omega\ )}{h_1 \partial q_1} + E_{i2}\frac{\partial\ (l\Omega\ )}{h_2 \partial q_2} + E_{i3}\frac{\partial\ (l\Omega\ )}{h_3 \partial\ q_3}\ , \quad (i = 1,2,3).$$

3. A turbulens áramlási probléma transzportelméleti megoldása

A tömeg-, impulzus- és energia-transzport fentiekben megadott egyenletei lamináris áramlás esetén a bennük fellépő – az áramlás matematikai leírására alkalmas – ismeretlen függvények szemszögéből nézve matematikailag zárt rendszert képeznek. Turbulens áramlás esetében az impulzus transzport (2) egyenletében új ismeretlenként jelentkezik a *Reynolds-féle turbulens feszültségtenzor*. Ezért a turbulens áramlásprobléma megoldása érdekében az említett transzportegyenleteket ki kell egészíteni, amire két lehetőség kínálkozik.

Az ***egyik lehetőség*** a *turbulens kinetikus energia* (4) transzportegyenletének a választása, és ekkor összenyomhatatlan áramló közeget feltételezve a *megoldandó differenciálegyenlet-rendszer* a következő:

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad , \tag{20}$$

$$\frac{\partial\ \mathbf{v}}{\partial\ t} + (\ \mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{v} = \mathbf{g} - \frac{\nabla p}{\rho} + \upsilon\ \Delta\ \mathbf{v} - \tfrac{2}{3}\ \nabla k\ +\ \mathrm{Div}(k\ \mathbf{G})/a^2 \quad , \tag{21}$$

$$\frac{\partial\ k}{\partial\ t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla)k = \frac{k}{a^2}\mathbf{G}\!:\!(\nabla \circ \mathbf{v}) - \varepsilon\ - \nabla \cdot \left\{ \frac{k^{3/2}\mathbf{t}}{2(\kappa\ a)^3} - \frac{C_k}{\kappa\ a}\frac{k}{\Omega}\nabla k \right\} + \upsilon\ \left[\tfrac{5}{3}\Delta\ k - \nabla \cdot \mathrm{Div}(k\ \mathbf{G})/a^2 \right] \tag{22}$$

de ezt a differenciálegyenlet-rendszert még egy algebrai egyenlettel ki kell egészíteni:

$$\varepsilon\ = C_E \upsilon^N\ (\kappa\ a)^{2(N-1)}\ \frac{\Omega^{N+1}}{k^{N-1}} \quad . \tag{23}$$

A ***másik lehetőség*** a (20)-(21) transzportegyenleteket a turbulens sebességlépték (17) differenciálegyenletével kiegészíteni. Ez esetben a (17) differenciálegyenletet – az előző eredményeket felhasználva – a numerikus megoldása érdekében célszerű átalakítani:

$$f_1(\mathbf{r},t)\frac{\partial\ (l\Omega\ )}{h_1 \partial\ x_1} + f_2(\mathbf{r},t)\frac{\partial\ (l\Omega\ )}{h_2 \partial\ x_2} + f_3(\mathbf{r},t)\frac{\partial\ (l\Omega\ )}{h_3 \partial\ x_3} = \sqrt{F(\mathbf{r},t)} \quad , \tag{24}$$

ahol: $f_j(\mathbf{r},t) = E_{1j} + E_{2j} + E_{3j}$; $(j = 1,2,3)$

$$F(\mathbf{r},t) = 2\left[(1-a_{12})A_1A_2 + (1-a_{13})A_1A_3 + (1-a_{23})A_2A_3\right] + \\ +(1-a_{11})A_1^2 + (1-a_{22})A_2^2 + (1-a_{33})A_3^2 - C_E\kappa^{-2}\upsilon^{N-1}(l\Omega)^{2(1-N)}\Omega^{N+1}.$$

E differenciálegyenletnek a jobboldalán álló $F(\mathbf{r},t)$ függvény a numerikus számítások során alkalmazott iterációban mindig az előző iterációs lépésben nyert eloszlásokból meghatározva ismertnek tekinthető, és akkor a (24) differenciálegyenlet transzportegyenletként lesz kezelhető. Az így nyert – összesen *öt* skalár parciális differenciálegyenlet és *egy* algebrai egyenlet alkotta – egyenletrendszerben fellépő ismeretlen függvények (a $\mathbf{v}$ sebesség-vektor három skalár komponense, a p nyomás, a k turbulens kinetikus energia és az ε fajlagos turbulens disszipáció) száma már megegyezik az egyenletek számával, tehát az egyenletrendszer zárt, amelynek numerikus megoldásával az ismeretlenek meghatározhatók. Ezt a számítási módszert a sztochasztikus turbulencia-modell *egy-egyenlet* változatának nevezzük, amelyben a tömeg- és impulzus-transzport (20)-(21) differenciálegyenleteit az alulhatározottságuk feloldása érdekében egy további differenciálegyenlet egészíti ki.

4. A kétdimenziós stacionárius határréteg-áramlási probléma aszimptotikus megoldása

A tapasztalat szerint az áramlást határoló szilárd falhoz közelítve a turbulens ingadozásnak a falra merőleges v_2' komponensét a fal jelenléte korlátozza, illetve határesetben meg is szűnteti. Ezt a jelenséget feszültségtenzor skalár elemeivel a következőképpen fejezhetjük ki: $\overline{v_1'v_2'} \to 0$, $\overline{v_2'v_1'} \to 0$, $\overline{v_2'v_2'} \to 0$. Ennek következtében a szilárd fal menti *határrétegben* a sztochasztikus turbulencia-modell (11) összefüggéssel megadott $\mathbf{H}$ hasonlósági tenzora módosul.

Numerikus vizsgálatainkat olyan *nagy Reynolds-számú* határréteg-áramlásokra korlátozzuk, amelyekben a szilárd falak mentén kialakuló határrétegek vastagságának nagyságrendje $\delta << 1$, és feltételezzük, hogy a fajlagos turbulens kinetikus energiáé is ugyanekkora: $k \sim \delta$; a kinematikai viszkozitási tényezőé pedig ezekénél egy nagyságrenddel kisebb: $\upsilon \sim \delta^2$.

Nagyságrendi becslésekkel [4] meghatározhatók az előbbi megoldandó differenciálegyenletek stacionárius határréteg áramlásra érvényes alakjai, amit a szóban forgó egyenletekből a δ és ennél kisebb nagyságrendű tagok elhanyagolásával állíthatunk elő:

$$\frac{\partial(v_1h_2)}{h_1h_2\partial q_1} + \frac{\partial(v_2h_1)}{h_1h_2\partial q_2} = 0 \quad , \tag{25}$$

$$(l\Omega)^{N-1}\frac{\partial(l\Omega)}{h_2\partial q_2} = \frac{1}{\kappa}\sqrt{-\frac{C_E\upsilon^{N-1}}{\alpha+\gamma}\Omega^{N+1}} \quad , \tag{26}$$

$$\frac{v_1}{h_1}\frac{\partial v_1}{\partial q_1}+\frac{v_2}{h_2}\frac{\partial v_1}{\partial q_2}= g_1-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{h_1\partial q_1}+\upsilon\ \frac{\partial^2 v_1}{h_2^2\partial q_2^2}+\frac{1}{a^2}\frac{\partial k}{h_2\partial q_2}\quad , \tag{27}$$

$$0= g_2-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{h_2\partial q_2}-\left(\frac{2}{3}-\frac{\beta_*^{(0)}}{a^2}\right)\frac{\partial k}{h_2\partial q_2}\quad , \tag{28}$$

$$\upsilon\kappa^2(\alpha+\gamma)\left(\frac{\partial (l\Omega)}{h_2\partial q_2}\right)^2+\frac{k}{a^2}\left|\frac{\partial v_1}{h_2\partial q_2}\right|=0\quad , \tag{29}$$

ahol: $a^2=-\frac{1}{2}(\alpha+\gamma)$, ugyanis a határrétegben $\beta=0$.

A határrétegbeni x_1, x_2 koordinátarendszerben az x_1 (ívhossz)koordináta az áramlás irányába (a falhoz érintőlegesen), az x_2 pedig rá merőlegesen a faltól távolodó irányba mutat. Ebben a koordinátarendszerben a numerikus számítások érdekében bevezetjük a $\Psi\ (x_1, x_2)$ áram-függvényt, amelynek deriváltjai szolgáltatják a $v_1=\dfrac{\partial\Psi}{h_2\partial x_2}$s és $v_2=-\dfrac{\partial\Psi}{h_1\partial x_1}$ sebességkomponenseket. Bevezetjük továbbá a $\Pi=\Gamma+p/\rho$ teljes potenciált, ahol Γ a térerő potenciálja: $\mathbf{g}=-\nabla\Gamma$. Az így definiált Ψ áramfüggvény a (25) kontinuitási egyenletet automatikusan kielégíti, s így az ismeretlenekkel együtt a megoldandó egyenletek száma is eggyel kevesebb lesz.

A továbbiakban célszerű áttérni az s, n ívhossz-koordinátákra. A numerikus számítások során pedig a ξ, η dimenziótlan ívhossz-koordinátákat használjuk az alábbi transzformációnak megfelelően: $\xi=s/L$; $\eta=n/\delta_N(s)$, ahol L az un. vonatkoztatási geometriai méret, $\delta_N(s)$ pedig egy a határréteg vastagságával arányos un. normálási hossz, amely az áramlásra merőleges ívhossz-koordináta dimenziótlanítására szolgál.

A határréteg-áramlás sebességkomponenseit a határrétegen kívüli potenciálos áramlásnak a keresztmetszet-kontúron ébredő $U(s)$ tangenciális sebességével dimenziótlanítjuk. Definiáljuk még az $f(\xi,\eta)$ dimenziótlan áramfüggvényt is, amely a már bevezetett Ψ áramfüggvénnyel a

$$\Psi\ (\xi,\eta)=\delta_N(\xi)U(\xi)f(\xi,\eta)\quad , \tag{30}$$

összefüggésben áll. Ezt a dimenziótlan áramfüggvényt most be kell vezetnünk a (27)-(28) mozgásegyenletekbe, amelyek összevonásával nyerjük a határréteg-áramlás mozgásegyenletét:

$$\frac{v_1}{h_1}\frac{\partial v_1}{\partial q_1}+\frac{v_2}{h_2}\frac{\partial v_1}{\partial q_2}=-\frac{\partial\Pi}{h_1\partial q_1}+\frac{1}{b_*}\frac{\partial\Pi}{h_2\partial q_2}+\frac{\upsilon}{h_2^2}\frac{\partial^2 v_1}{\partial q_2^2};\qquad b_*=\frac{3\beta_*^{(0)}-2a^2}{3}.$$

Ebből a behelyettesítések után az $f(\xi,\eta)$ dimenziótlan áramfüggvényre a

$$\frac{\partial^3 f}{\partial\eta^3}+\mathrm{Re}\frac{\delta_N}{L}\left\{\frac{d}{d\xi}\left(\frac{\delta_N}{L}\frac{U}{U_\infty}\right)f\frac{\partial^2 f}{\partial\eta^2}-\frac{\delta_N}{L}\frac{d}{d\xi}\left(\frac{U}{U_\infty}\right)\left(\frac{\partial f}{\partial\eta}\right)^2\right\}-\mathrm{Re}\frac{U_\infty}{U}\left(\frac{\delta_N}{L}\right)^2\frac{\partial P}{\partial\xi}+$$

$$+\mathrm{Re}\frac{\delta_N}{L}\frac{U_\infty}{U}\left[\frac{1}{b_*}+\eta\ \frac{d}{d\xi}\left(\frac{\delta_N}{L}\right)\right]\frac{\partial P}{\partial\eta}+\mathrm{Re}\left(\frac{\delta_N}{L}\right)^2\frac{U}{U_\infty}\left(\frac{\partial f}{\partial\xi}\frac{\partial^2 f}{\partial\eta^2}-\frac{\partial f}{\partial\eta}\frac{\partial^2 f}{\partial\xi\partial\eta}\right)=0 \quad (31)$$

differenciálegyenlet adódik, ahol U_∞ a vizsgált rúdtól távol a zavartalan áramlás sebessége, $\mathrm{Re}=U_\infty L/\upsilon$ az áramlás Reynolds-száma és $P=\Pi/U_\infty^2$ a dimenziótlan teljes potenciál. A határrétegen kívüli potenciálos áramlás $U(\xi)/U_\infty$ dimenziótlan sebességeloszlása ismert potenciálelméleti módszerrel meghatározható, a $\delta_N(\xi)/L$ normálási hosszt pedig mind lamináris, mind turbulens esetben az alábbi egyenlet szerint célszerű választani: $\dfrac{\delta_N}{L}=\left(\dfrac{\xi}{\mathrm{Re}}\dfrac{U_\infty}{U}\right)^{1/2}$.

A (31) parciális differenciálegyenletben – a megoldása érdekében – még néhány átalakítást végzünk; először is kiszámítjuk a $P(\xi,\eta)$ dimenziótlan teljes potenciál deriváltjait. A teljes potenciál eloszlását turbulens határrétegben is a határrétegen kívüli potenciálos áramlás határozza meg, s így az Euler-féle mozgásegyenlet alapján $\dfrac{\partial P}{\partial\xi}=-\dfrac{U}{U_\infty}\dfrac{\partial}{\partial\xi}\left(\dfrac{U}{U_\infty}\right)$ adódik. A (28) egyenletet a ξ,η koordinátarendszerbe transzformálva a P dimenziótlan teljes potenciál η szerinti deriváltjára a $\dfrac{\partial P}{\partial\eta}=\dfrac{b_*}{a^2}\dfrac{\partial g}{\partial\eta}$ összefüggés kapjuk, ahol $g=k/U_\infty^2$ a dimenziótlan fajlagos turbulens kinetikus energia.

Az $f(\xi,\eta)$ dimenziótlan áramfüggvény a (31) parciális differenciálegyenletnek egy olyan partikuláris megoldása, amelyre vonatkozó kezdőfeltételek: $f(\xi,0)=0$; $\left.\dfrac{\partial f}{\partial\xi}\right|_{\eta=0}=0$; $\left.\dfrac{\partial f}{\partial\eta}\right|_{\eta=0}=0$. A határrétegen kívül – feltételeink szerint – az áramlás potenciálos, tehát a határrétegbeni v_1 sebességkomponensnek a potenciálos U sebességhez kell tartania, vagyis $\lim_{\eta\to\infty}v_1=U$. A megoldandó (31) differenciálegyenlet a $\dfrac{\partial f}{\partial\xi}=\varphi(\xi)\dfrac{\partial f}{\partial\eta}$ járulékos feltétel mellett a következő képen alakul:

$$\frac{\partial^3 f}{\partial\eta^3}+a_1 f\frac{\partial^2 f}{\partial\eta^2}-a_2\left(\frac{\partial f}{\partial\eta}\right)^2+\left(a_{31}\eta+a_{30}\right)\frac{\partial g}{\partial\eta}+a_2=0 \quad , \quad (32)$$

ahol az együtthatók az alábbi formulák alapján számíthatók:

$$a_1=\mathrm{Re}\frac{\delta_N}{L}\frac{d}{d\xi}\left(\frac{\delta_N}{L}\frac{U}{U_\infty}\right), \qquad a_2=\mathrm{Re}\left(\frac{\delta_N}{L}\right)^2\frac{d}{d\xi}\left(\frac{U}{U_\infty}\right)$$

$$a_{30}=\mathrm{Re}\frac{\kappa^2}{a^2}\frac{\delta_N}{L}\frac{U_\infty}{U}, \qquad a_{31}=b_*\,\mathrm{Re}\frac{\kappa^2}{a^2}\frac{\delta_N}{L}\frac{d}{d\xi}\left(\frac{\delta_N}{L}\right)\frac{U_\infty}{U}.$$

A (32) parciális differenciálegyenlet – miután benne csak az η koordináta szerinti deriváltak lépnek fel – közönséges differenciálegyenletként kezelhető. Mivel azonban ebben az egyenletben az $f(\xi,\eta)$ dimenziótlan áramfüggvény mellett még a dimenziótlan fajlagos turbulens kinetikus energia $g(\xi,\eta)$ eloszlása is fellép, a megoldhatósága érdekében még ki kell kiegészíteni a (26) és (29) egyenletekből levezethető alábbi összefüggéssel:

$$g(\xi,\eta) = C_E^{1/N}\kappa^{2\frac{N-1}{N}}\frac{a^2}{\mathrm{Re}}\frac{U}{U_\infty}\frac{L}{\delta_N}\left|\frac{\partial^2 f}{\partial\eta^2}\right| \quad . \tag{33}$$

A (32) differenciálegyenlet a jól ismert Runge-Kutta módszerrel megoldható és az $f(\xi,\eta)$ ismeretében az érintőirányú sebességkomponens határrétegbeni eloszlása már kiszámítható: $v_1 = \frac{\partial\Psi}{\partial n} = U\frac{\partial f}{\partial\eta}$.

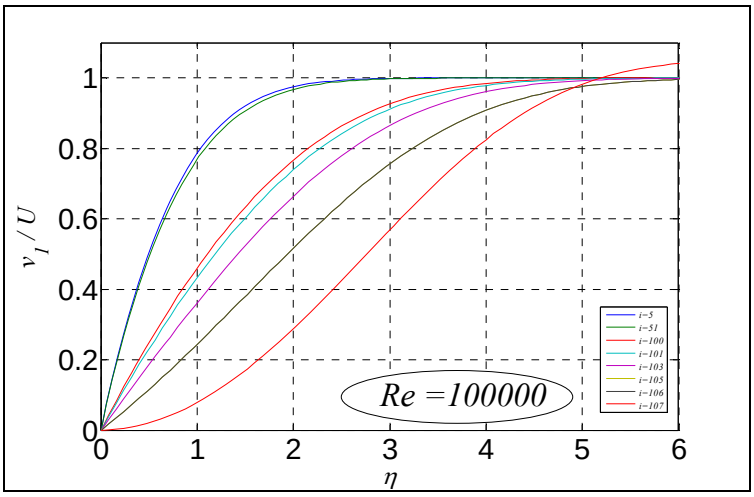
Ha a határréteg-áramlás lamináris, akkor a (32) egyenletből a $g(\xi,\eta)$ dimenziótlan fajlagos turbulens kinetikus energia eltűnik, és akkor az $f(\xi,\eta)$ áramfüggvény differenciálegyenlete a

$$\frac{\partial^3 f}{\partial\eta^3} + a_1 f\frac{\partial^2 f}{\partial\eta^2} - a_2\left(\frac{\partial f}{\partial\eta}\right)^2 + a_2 = 0 \tag{34}$$

alakot ölti, tehát lamináris határréteg-áramlás esetén egyetlen differenciálegyenlet leírja az áramlást, s így a megoldásához további kiegészítő egyenletre már nincs szükség. Említésre érdemes még, hogy a (34) differenciálegyenlet síklap menti határréteg-áramlás esetén az irodalomból jól ismert Blasius-féle differenciálegyenletbe megy át.

A fent bemutatott számítási eljárás felhasználásával egy számítógépes kód került kidolgozásra, amelynek segítségével a henger körüli határréteg-áramlás jellemzői numerikusan meghatározhatók. Körhenger néhány kiválasztott diszkrét pontjához tartozóan meghatároztuk a határrétegen belüli $v_1/U(\eta)$ sebességeloszlást. A körhenger felső ívét 200 diszkrét ívszakaszra bontottuk fel, s a rááramlás irányában kezdtük el az ívszakaszok végpontjainak számozását. A kiválasztott diszkrét pontok az i index értékeivel kerültek azonosításra.

A 2. ábrán a (32) differenciálegyenlet megoldásával számított turbulens ($Re = 100000$) határréteg-áramlásra vonatkozó eloszlásokat mutatjuk be, amelyen az $i = 5, 51, 100, 101, 103, 105, 106, 107$ jelű diszkrét pontokhoz tartozóan ábrázoltuk a $v_1/U(\eta)$ dimenziótlan sebesség felületre merőlegesen (sugárirányban) való változását. A lamináris ($Re = 1000$) határréteg-áramlásra vonatkozó – a (34) differenciálegyenlet megoldásával számított – eloszlások a [4]-ben megtalálhatók.



2. ábra. *Körhenger körüli turbulens határréteg-áramlás dimenziótlan sebességeloszlása*

5. Összefoglalás

A 2. ábrán jól látható, hogy a sebességprofil körhenger falától induló érintője fokozatosan csökkenő és folyamatosan átmegy a falhoz érintőleges irányba, ami az áramlás falról történő leválásának helyét jelzi. A számítási eredmények ismeretében megfigyelhető, hogy ez a leválási hely a turbulens határréteg-áramlásban a körhenger felületének az áramlás irányában egy későbbi szakaszán található.

6. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország fejlesztési terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. Irodalomjegyzék

[1] Czibere, T.: *Three dimensional stochastic model of turbulence*, JCAM, Miskolc, 2001., No. 1, pp. 7-20.

[2] Czibere, T., *Calculating turbulent flows based on a stochastic model*, JCAM, Miskolc, 2006., Vol. 7, No. 2, pp. 155-188.

[3] Kalmár, L., Janiga, G., Czibere, T.: *Numerical Computation of the Flow in the Boundary-Layer around a Circular Cylinder*, MicroCAD 2009 International Computer Science Conference, Section E: Fluid and Heat Engineering, Miskolc, 2009., p. 131-138.

[4] Kalmár, L., Czibere, T.: *Egyenes alkotójú hengeres test körüli határréteg-áramlás numerikus vizsgálata*, Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2011, Miskolc, 2011., p. 355-364.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 79-86.

A SZEMCSÉK ÉS A SZEMCSEHALMAZOK NÉHÁNY GEOMETRIAI ÉS TOPOLÓGIAI KÉRDÉSÉRŐL

Dr. Lámer Géza
főiskolai tanár
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék
1119 Budapest XI.. Rátz L. u. 20.
glamer@eng.unideb.hu

Összefoglalás

A szemcsék egyszeresen összefüggő, sima, konvex, izometrikus alakzatok. Érintkező szemcsék alkotják a szemcsehalmazokat. Az előadásban két témakört tekintünk át. Az egyik egy szemcse alakjának geometriai jellemzése, a másik a szemcsehalmaz geometriai és topológiai leírása.

***Kulcsszavak*:** szemcse, szemcsehalmaz, szemcsehalmaz geometriája és topológiája, szemcsehalmaz leképezése

Abstract

The heaps are simple connected, smooth, convex, isometric forms. The heaped body is formed from connected heaps. In the lecture two topics are overviewed. The first is the characterisation of the geometry of the heap, the second is the characterisation of the geometry and topology of the heaped bodies.

***Keywords*:** heap, heaped body, geometry and topology of heaped bodies, maps of heaped bodies

1. A szemcsék geometriai jellemzése

A pont fogalmát a geometriából „vesszük”. A szemcse fogalmát a geometriában nem értelmezik. Ezért elsőnek tekintsük a szemcse hétköznapi fogalmát!

Hétköznapi értelemben szemcse alatt apró, kemény, szemmel jól látható, ujjjal jól tapintható szilárd részecskét értünk.

A természetben található, vagy mesterségesen előállított szemcsék közös tulajdonságait a méretükkel és a geometriai alakjukkal jellemezhetjük.

1.1 A szemcse nagysága

A szemcse „nagysága” egy jól meghatározható nagyságrendbe esik.

Szemcsének az tekintjük, ami vagy belefér a tenyerünkbe, tehát meg lehet markolni, vagy ujjunkkal ki lehet tapogatni és még szemmel látható. Ezért szemcsének tekintjük a kavicsokat, a homokszemeket, a homokliszt részeit, de talaj-

mechanikai szempontból szemcsének tekinthetjük az iszapot és az agyagot alkotó részeket is.

1.2 A szemcse geometriai jellemzése

A szemcse, mint geometriai forma, a következő geometriai fogalmak segítségével jellemezhetők.

Összefüggés. A szemcsék alapvetően egyszeresen összefüggőek és tömörek.

Konvexitás. A szemcsék alapvetően konvexek. Sőt, szigorúan konvexek.

Simaság. A szemcsék felülete – élektől és pontoktól eltekintve – sima.

Az alak változása. A szemcsék felületének változása nem hirtelen, hanem lassú. Azaz a felületen egy, vagy két hullám, kiálló dudor, vagy bemélyedés, mint a görbület változása, nem túl hirtelen történik.

Izometria. A szemcsék kiterjedése minden irányban nagyjából azonos. Azaz a szabályos testek, a gömb, a háromtengelyű ellipszoid, ha a tengelyek aránya közel áll az egyhez, akkor szemcsének tekinthetők. A túlságosan lapos testeket, mint például a kártyák, vagy a túlságosan hosszúkásakat, mint például a gyufaszálak, nem tekintjük szemcsének.

Gömbölyítettség. A szemcséken ne legyenek éles sarkok, élek, csúcsok. Azaz egy kocka, vagy egy téglatest, vagy bármely poliéder nem „eléggé" szemcse. A már megkoptatott, legömbölyített formák viszont már a szemcsék közé tartoznak.

1.3 A szemcse intuitív definíciója

Definíció: szemcsének tekintjük az olyan, zárt felülettel határolt geometriai alakzatot, amely

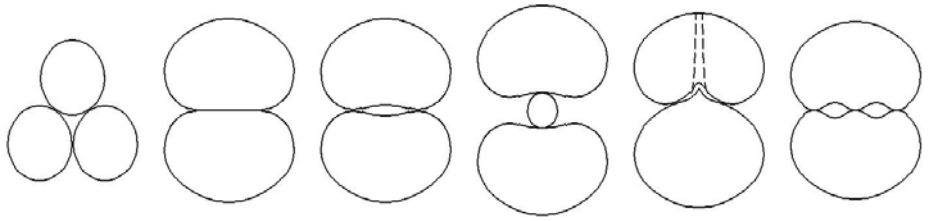
- kisebb, mint egy kavics, de nagyobb, mint egy kolloid részecske,
- egyszeresen összefüggő,
- konvex, vagy csak kis mértékben tér el egy konvex alakzattól,
- elegendően sima, vagy szakaszosan sima a felülete,
- felületének a változása elegendően lassú,
- jó közelítéssel izometrikusnak tekinthető,
- felülete kellően legömbölyített.

A definíciót intuitívnek tekintjük, mivel az 1.2 pontban ugyan áttekintettük a geometriai jellemzőket, de nem adtuk meg a precíz, matematikai definíciójukat.

1.4 A szemcse alakja és a hárompontos feltámaszkodás hipotézise

Egy szigorúan konvex szemcse feltámaszkodhat három másik (szigorúan konvex) szemcsére. Ezzel a szemcse egyensúlyba kerülhet (néhány további feltétel teljesülése esetén).

Az alábbi ábrák – két dimenzióban – mutatják a nem szigorúan konvex és a konkáv szemcsék esetén a különböző érintkezési módokat, amelyek nem teljesítik a hárompontos feltámaszkodás hipotézisét, ezért az egyensúly meghatározásához más feltételeket kell figyelembe venni (lásd az 1. ábrát).



szigorúan konvex | nem szigorúan konvex | konkáv | ingó kövek (konkáv) | csúcs-mélyedés (konkáv) | rovátkák (konkáv)

1. ábra. *A szemcsék érintkezési viszonya a konvexitás-konkávitás függvényében*

1.5 A szemcsék leképezése

A szemcséket merev testnek tekintjük. Ennek megfelelően a leképezésük csak mérettartó (izometria) lehet. Ez az euklideszi térben az eltolás és az elforgatás.

2. A szemcsehalmazok geometriai és topológiai jellemzése

2.1 A szemcsehalmaz intuitív definíciója

Definíció: szemcsehalmaznak nevezzük a szemcsék olyan összességét, amelyben az egyes szemcséknek az érintkezési pontokon kívül más közös pontjuk nincs.

A definíció szerint szemcsék nem hatolhatnak egymásba. A szemcsék érintkezése megengedett, bár nem kötelező. A definíció a szilárd testekből, mint például a száraz kavicsokból álló halmazok tulajdonságát kellő pontossággal tükrözi vissza.

Végül érdemes kihangsúlyozni, hogy a vizsgálat tárgya – a szemcsék halmaza – alapvetően nem ponthalmaz, hanem véges tartományok összessége. Ezt nem csak érdemes, de szükséges is hangsúlyozni, mivel a ponthalmazok vizsgálatára jól kidolgozott matematikai diszciplínák sora – topológia, differenciálgeometria, differenciál- és integrálszámítás stb. – áll rendelkezésre, ugyanakkor a tartományok összességének a vizsgálatára a fenti matematikai eszközök minden megszorítás nélkül nem alkalmazhatók.

2.2 A szemcsék elrendezése a szemcsehalmazon belül

A szemcsét a halmazon belül jellemezhetjük a térbeli helyzetével, az érintkező szemcsék számával, az érintkezési pontok elhelyezkedésével, végül magát a szemcsehalmazt jellemezhetjük az érintkező szemcsék kapcsolatával (például mátrixként, vagy gráfként).

Térbeli helyzet; irányítottság

Egy merev (de a gyakorlatban egy deformálható szilárd) testet térben a helye és a helyzete határoz meg egyértelműen. Ehhez egyrészt egy referencia pontot, másrész egy referencia triédert kell a merev testhez rendelni. A gyakorlatban a súlypont és a főtehetetlenségi irányok alkotta kísérő triéder adja a szükséges referenciát. Szemcse esetén az átmérő, a másod- és harmadlagos átmérő metszéspontja és az átmérőkből alkotott triéder is adhatja a szükséges referenciát.

Érintkezési pontok száma: ez – értelemszerűen – azt adja meg, hogy hány szemcsével érintkezik az adott szemcse. Ha az érintkezési pontok száma kevesebb, mint 10-14, akkor annyi mondható, hogy az érintkező szemcsék átmérője nem lehet lényegesen nagyobb, mint a vizsgált szemcse átmérője. Ha csak néhány érintkezési pont van, és azok nagyjából egyenletes kiosztásban helyezkednek el a szemcse felületén, akkor az érintkező szemcsék lehetnek nagyobbak, azonos méretűek, vagy kisebbek. Ha 10-14-nél lényegesen több érintkezési pont van, akkor az érintkező szemcsék mérete jelentősen kisebb a vizsgált szemcse átmérőjénél. Ez akkor is igaz, ha ugyan az érintkezési pontok száma esetleg kevesebb 12-nél, de túl közel vannak egymáshoz.

Az érintkezési pontok eloszlása. A szemcsehalmaz egyensúlya szempontjából érdeklődésre számot tartó hárompontos hipotézis alapján hat, alul is és felül is három, az aktív érintkezési pontok száma, a kettő között lévő hat érintkezés nem aktív, esetleg nincs is, csak ott vannak a szemcsék a vizsgált szemcse körül (gondoljunk az egybevágó gömbök szabályos tetraéderes hálózatban való elhelyezkedésére).

2.3 Konvex burok és átlagképzés a szemcsehalmazban

Tekintsünk egy egyszeresen összefüggő részhalmazt a szemcsehalmazban, és tekintsük ennek a konvex burkát (lásd a 2. a.) ábrát). Amennyiben a konvex burok és a részhalmaz közötti térbe (2. b.) ábra) a szemcsehalmaz eredeti elrendezése szerint belefér valamely szemcse, vagy szemcsék, úgy azt, vagy azokat vegyük a részhalmazhoz (2. c.) ábra). Ekkor azt mondjuk, hogy a konvex burkon belül maximális számú szemcse található, illetve egy konvex burkon belüli maximális részhalmazról beszélünk.

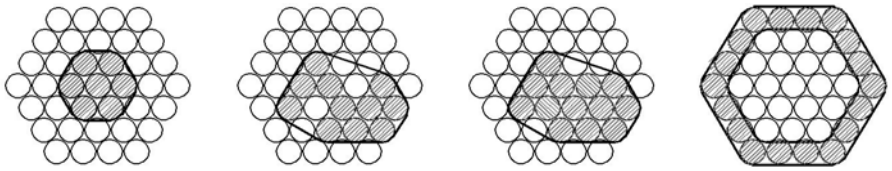
Definíció: ha egy részhalmaz konvex burka a részhalmazt kívülről érintő szemcsékből azoknak csak elenyészően kicsiny részét (mondjuk ⅓-adot) metszi el, akkor a részhalmazt konvex részhalmaznak nevezzük.

Megjegyezzük, hogy konvex részhalmazok egyesítése nem feltétlen konvex.

Definíció: egy konvex részhalmaz elsőrendű konvex környezetének azt a konvex részhalmazt nevezzük, amelynek a konvex burka és a (vizsgált) konvex részhalmaz (konvex) burka között a szemcséknek legalább egy rétege található.

Magyarán: az elsőrendű konvex környezet burka sosem simul rá a konvex részhalmaz konvex burkára, hanem a kettő között ott van egy, vagy néhány szemcséből álló „réteg”.

Az elsőrendű konvex környezet elsőrendű konvex környezete az eredeti konvex részhalmaz másodrendű konvex környezete. A továbbiakban – ennek mintájára – használni fogjuk az n-ed-rendű konvex környezet kifejezést is.



a.) konvex részhalmaz b.) nem konvex részhalmaz c.) egy konvex burkon belüli maximális részhalmaz d.) konvex környezet

2. ábra. *Konvex burok*

A fenti definíció alapján van egy szemcsének, illetve egy részhalmaznak első-, másod-, n-ed-rendű konvex környezete.

A szemcsehalmazban a ponthalmaz mintájára – a véges szemcseszám miatt – határátmenet nem képezhető. Ellenben az első-, másod- és n-ed-rendű konvex környezet segítségével egy-egy nagyobb tartományra nézve átlagos mennyiségek értelmezhetők.

Legyen például egy részhalmaz térfoga V_0, az elsőrendű környezetéé V_1 stb. Ekkor vizsgálható a V_1/V_0, V_2/V_0, …, V_n/V_0 sorozat, bár határátmenetről nem beszélhetünk, mivel a szemcsék mérete véges. Ezért valamiféle vizsgálatnak akkor van értelme, hogy ha a $(V_{i+1} - V_i)/V_i$ arány az 1 mellett elhanyagolható. Ha ez teljesül, és a fenti sorozat elemeinek egymástól való eltérése kicsi, akkor azt mondjuk, hogy a V_0 térfogat alkalmas *növekvő* konvex környezetekkel kvázi-konvergencia vizsgálatra. Azt is mondhatjuk, hogy a V_0 térfogat növekvő konvex környezetekkel kvázi-konvergens, vagy homogén tartomány. A V_1 mintájára értelmezhető a V_0, résztartományon belüli elsőrendű környezet, amelyet jelöljön V_{-1} stb. Ekkor, a növekvő konvergencia mintájára értelmezhető a V_{-1}/V_0, V_{-2}/V_0, …, V_{-n}/V_0 sorozat, és annak kvázi-konvergenciája: a $(V_{-i} - V_{-i-1})/V_{-i}$ arány az 1 mellett elhanyagolható. Ha ez teljesül, és az imént említett sorozat elemeinek egymástól való eltérése kicsi, akkor azt mondjuk, hogy a V_0 térfogat alkalmas *csökkenő* konvex környezetekkel kvázi-konvergencia vizsgálatra. Azt is mondhatjuk, hogy a V_0 térfogat csökkenő konvex környezetekkel kvázi-konvergens, vagy homogén tartomány. Végül, ha a V_0 térfogat mind csökkenő, mind növekvő konvex környezetekkel konvergens, akkor a V_0 térfogat alkalmas *változó peremű* konvex környezetekkel kvázi-konvergencia vizsgálatra, azaz a V_0 térfogat *változó peremű* konvex környezetekkel kvázi-konvergens, vagy homogén tartomány.

A V_0 – a kvázi-konvergencia bevezetéséből következően – nagyságrendben nagyobb, mint a szemcsék mérete. Azaz nem zárható ki, hogy ugyan a V_0 térfogat *változó peremű* konvex környezetekkel kvázi-konvergens, vagy homogén tartomány, azaz a peremek „kifelé”, illetve „befelé” történő kismértékű módosításával a tartomány jellege nem változik, de a vizsgált tartományon belül a konvex környe-

zetek jellege eltér a V_0-ra vetített értéktől. Ezért csak a V_0 konvex környezetekkel értelmezett kvázi-konvergencia alapján nem lehet a V_0 térfogatot általában véve kvázi-konvergensnek, vagy homogénnek tekinteni. Magyarán egy tartomány fent bevezetett kvázi-konvergenciájának, illetve homogenitásának a vizsgálata arról ad felvilágosítást, hogy a peremhez közel, a peremen kívül és/vagy belül, nincsenek-e az eloszlást zavaró harások. Ezért a kvázi-konvergencia, azaz a homogenitás további két feltételét kell vizsgálni: az egyik a homogenitásnak a tartomány eltolásával, a másik a tartomány elforgatásával szemben mutatott invarianciája. A részleteket mellőzve: a fenti kvázi-konvergenciához hasonlót vizsgálunk, de nem a tartomány méretét növeljük, illetve csökkentjük, hanem a vizsgált tartományt toljuk el, illetve forgatjuk el. Ha a kvázi-konvergencia ezekben az esetekben is fennáll, akkor azt mondjuk, hogy fennáll az *eltolt* konvex környezetre, illetve *elforgatott* konvex környezetre vonatkozó kvázi-konvergencia.

Amennyiben egy V_0 térfogat *változó peremű*, *elforgatott* és *eltolt* konvex környezetekkel egyidejűleg kvázi-konvergencia vizsgálatra alkalmas, azaz kvázi-konvergens, vagy homogén tartomány, akkor az mondjuk, a tartomány kvázi-konvergencia vizsgálatra alkalmas, azaz kvázi-konvergens, vagy homogén.

A továbbiakban vizsgálni szükséges a szemcsehalmaz különbözőképpen történő lefedését konvex tartományokkal – hasonlóan ahhoz, ahogyan a differenciálható sokaságban a térképékekből atlasz áll elő. Ennek részletezéstől eltekintünk.

Megjegyzés: a fent leírt eljárás – a konvex környezetekkel kvázi-konvergencia vizsgálatra alkalmas tartomány bevezetése – alapvetően a ponthalmazok topológiája és a topológiai sokaságok értelmezésnek egyes lépéseit vette alapul. Rá kell arra is mutatni, hogy a topológiai sokaság esetén az a tény, hogy a sokaság minden pontjának van olyan környezete, amely homeomorf az Euklideszi tér egy környezetével, eleve garantálja, hogy a topológiai sokaságon a konvergencia biztosított legyen. Ráadásul nem tartományokként, hanem pontonként. A konvergenciának a szemcsehalmazban tapasztalt hiánya teszi szükségessé, hogy a szemcsehalmazokat diszkrét rendszerként vizsgáljuk. Végül jelezzük, hogy a kvázi-konvergens tartományon lehet a szemcsehalmazra nézve átlagos mennyiségeket értelmezni.

2.4 Konvex burok és érintkezés, mint topológia a szemcsehalmazban

A véges szemcsékből álló halmaz esetén nyílt és zárt halmazt – a ponthalmazban értelmezett nyílt és zárt halmazok mintájára – nem lehet értelmezni: a nyíltság és zártság a torlódási pont fogalmával van kapcsolatban. Ezért a környezet fogalmát felhasználva teszünk javaslatot topológia értelmezésére a szemcsehalmazon belül. Ehhez a konvex környezetet és az érintkezési hálózatot használjuk föl.

A konvex burokkal megadható egy szemcséknek egymáshoz való viszonya. Pontosabban a konvex burokkal értelmezett konvex részhalmazt a részhalmazban lévő minden szemcse környezetének tekintünk. A konvex szemcsehalmazok metszete konvex. Mivel két konvex részhalmaz egyesítés nem konvex, ezért a konvex részhalmazokat minden egyes szemcsére, annak első-, másod-, n-ed-rendű konvex

burkát értelmezve állítjuk elő. Ezzel a szemcsék egymáshoz való viszonyát rögzítjük. Ez a környezeti rendszer – a ponthalmazokban megszokott értelemben – nem topológia, ugyanakkor a szemcsék egymáshoz viszonyított rendjét – mint a ponthalmazban a topológia – rögzíti.

Az érintkezéssel egy másfajta rend adható meg.

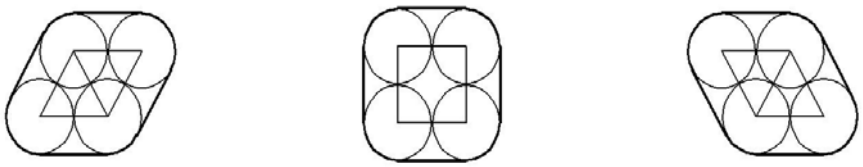
Definíció: érintkező szemcsék részhalmazának érintkezéssel értelmezett elsőrendű környezetének nevezzük az adott részhalmaz és annak szemcséit közvetlenül érintő szemcsék összességét.

Az érintkezéssel értelmezett elsőrendű környezet érintkezéssel értelmezett elsőrendű környezete az eredeti részhalmaz érintkezéssel értelmezett másodrendű környezete.

Ezen definíció alapján van egy szemcsének és egy részhalmaznak érintkezéssel értelmezett első-, másod-, n-ed-rendű környezete.

Az érintkezéssel értelmezett részhalmazok metszése és egyesítése, ez utóbbi esetben, ha legalább van egy közös elemük, érintkezéssel értelmezett részhalmaz, így az érintkezéssel értelmezett környezet fogalma átvihető a metszettel és az egyesítéssel értelmezett részhalmazokra is.

Megjegyezzük, hogy az érintkezéssel és a konvex burokkal értelmezett környezeti rendszer nem azonos. Erre példát a 3. ábrán mutatunk be.



3. ábra. *Az érintkezés és konvex burok szerinti topológia*

2.5 A szemcsehalmaz leképezése

A szemcsehalmaz leképezésénél abból indulunk ki, hogy szemcsék merev testek. Ennek megfelelően a szemcséket csak izometrikusan lehet leképezni. Ezt figyelembe véve a szemcsehalmaz leképezését a következőképen jellemezhetjük.

A szemcsehalmazban a szemcsék elrendezését a helyzetével, az érintkezéssel és a konvex burokkal értelmezett topológia jellemzi. A sorrend egyúttal „beágyazást” jelöl, a később említett csak úgy változhat, ha az „előtte” lévők változnak. Ennek megfelelően négy lehetőség van. Változatlan, egy, két, illetve mindhárom jellemző változik:

- izometrikus (identikus) leképezés, azaz minden változatlan (az egész halmaznak a merevtestszerű elmozdulásától eltekintve),
- a szemcséknek az érintkezésen alapuló topológiai rendje nem változik meg, legfeljebb egyes szemcsék helye és helyzete kis mértékben változik meg (két érintkező szemcse érintkező marad, az érintkezési pontok vándorolnak odébb),

- a szemcséknek a konvex burkolókon alapuló topológia rendje nem változik meg, legfeljebb néhány érintkezési viszony megszűnik, és néhány újabb keletkezik, továbbá az egyes szemcsék helye és helyzete kis mértékben változik meg,
- a szemcsék átrendeződével járó leképezés, amikor is mind az érintkezésen, mind a konvex burkolón alapuló topológiája megváltozik, ezzel együtt az egyes szemcsék helye és helyzete jelentősen megváltozik.

3. Összefoglalás

A tanulmányban áttekintettük a szemcsék és a szemcsehalmazok geometriai és topológiai jellemzőit. Megadtuk a szemcse és szemcsehalmaz intuitív definícióját. A szemcsehalmazban értelmeztünk konvex burokképzéssel és érintkezéssel egy-egy környezetet. Rámutattunk arra, hogy egyik sem vezet a ponthalmazokban megszokott topológiához, mivel a szemcsehalmaz véges számosságú. A konvex burkoló segítségével értelmezetünk egy kvázi-konvergencia fogalmat a szemcsehalmazokban. A környezetek segítségével osztályoztuk a szemcsehalmazok leképezéseit.

4. Irodalomjegyzék

[1] Bagi K., *Stress and strain is granular assembles* = Mech. Mater. Vol. 22. N. 3. pp. 165-177. 1996.

[2] Bagi K., *Szemcsehalmazok mikroszerkezetének vizsgálata*. Akadémiai Doktori Értekezés (Kézirat), Budapest, 2005.

[3] Budó Á.,. *Mechanika.* Ötödik kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.

[4] Császár Á., *Bevezetés a topológiába*. Akadémia Kiadó, Budapest, 1970.

[5] Császár Á., *Valós analízis. I.-II.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1983.

[6] Lámer G.: *Symmetry and asymmetry, or regularity and irregularity in the force distribution in the heaped bodies*. Culture and Science. Ed.: Darvas Gy. 17:221–233, 2006.

[7] Lámer G.: *Száraz, vizes, kötött szemcsék és a folytonos közeg, avagy a szemcsétől kontinuumig*. In: Török Á. – Vásárhelyi B. szerk., Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2008. Konferencia (Budapest, 2008. november hó 26.), [A Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtára 7. kötet], pp. 271-286. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2008.

[8] Lámer G.: *Egy szemcse egyensúlya: kinematikai (túl)határozatlanság és statikai határozottság*. In: Pokorádi László szerk., Műszaki Tudomány az Észak-Alföldi régióban 2010. (Nyíregyháza, 2010. május hó 19.), pp. 53-58, Debreceni Akadémia Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen 2010.

[9] Lámer G.: *Szemcsék halmaza és a talaj oldalnyomása.* In Geotechnika 2010. (Ráczkeve, 2010. október hó 26-27.): Közháló

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 87-94.

NÉHÁNY MEGJEGYZÉS A BURKOLÓFELÜLETEK VIZSGÁLATÁHOZ

Nándoriné Tóth Mária
egyetemi docens
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Ábrázoló Geometriai Tanszék
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, nnetm@abrg.uni-miskolc.hu

Összefoglalás

Egymáshoz képest mozgó alkatrészek kapcsolódásakor felmerül a keletkező burkolófelületek pontos meghatározásának feladata. Néhány esetet vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a burkolófelületek pontos ismerete igen fontos szerepet játszik a mérnöki tervezési munkában. A relatív mozgást végző térrendszerek egymást kölcsönösen burkoló felületei mindig a karakterisztikus görbében érintkeznek. Pillanatnyi érintkezésükkel egyidőben azonban még metszhetik is egymást egy metszésvonalban. Vizsgálódásaim során néhány olyan esettel találkoztam, amire érdemes odafigyelni. Ezek közül szeretnék néhányat bemutatni.

Kulcsszavak: *burkolófelület, karakterisztikus görbe, relatív mozgás*

Abstract

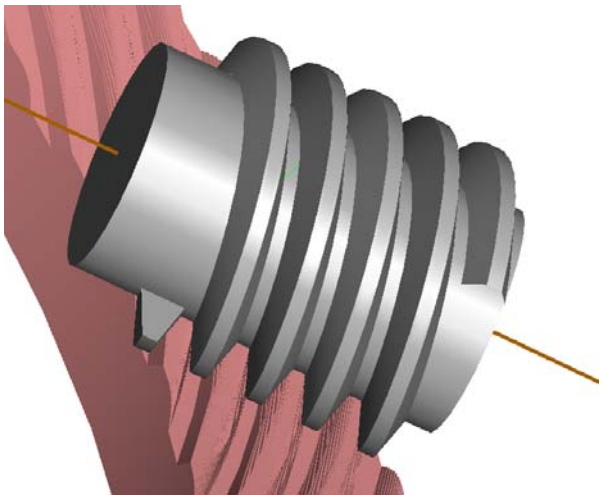
In case of connecting the pieces that move comparing to each other, the exact calculation of envelope surfaces is an important question. By examining some cases, we can claim that exact knowledge about envelope surfaces play an important role in engineering design. Surfaces of space systems moving relatively that envelop each other mutually always touch on the characteristic curve. Along with their momentary touch, they can also cross each other in a cross line. In my investigations, I have found some cases which merit attention. In this paper some of them will be presented.

Keywords: *envelope surface, characteristic curve, relative move*

1. Bevezetés

Szerszám és munkadarab viszonyában, gyártáskor, fogaskerekek működése során (1. ábra), vagy bármely két, egymáshoz képest mozgó alkatrész kapcsolódásakor felmerül a keletkező burkolófelületek pontos meghatározásának feladata [1], [2], [3]. Néhány esetet vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a burkolófelületek pontos ismerete igen fontos szerepet játszik a mérnöki tervezési munkában.

Az egyik tér egy pontja a másik térben általában egy vonalat ír le. Az egyik tér egy vonala a másik térben általában egy felületet súrol. Végül az egyik tér egy felületének a másik térben elfoglalt helyzeteit általában ez utóbbi térnek egy felülete burkolja. Ezeket az alakzatokat a két tér relatív mozgása egyértelműen meghatározza.



1. ábra *Hengeres csiga és belső kúpkerék kapcsolódása [4]*

Haladó mozgással, forgómozgással, vagy az általánosabb, mindkettőt magában foglaló csavarmozgással származtatott vonalak és felületek előállításának nagy irodalma ismeretes. Ezen vonalak és felületek előállíthatók analitikusan, illetve szerkesztéssel is. Burkolófelület létrehozásához ezekkel a módszerekkel meg lehet határozni a mozgó felület úgynevezett karakterisztikus görbéjét, ami mozgása során ugyanazt a felületet írja le, mint amit az eredeti felület burkol.

Vizsgálódásaim során különleges esetekkel találkoztam, ezeket szeretném bemutatni. Az ábrákat a KEYCREATOR nevű 3D-s gépészeti tervezőrendszerrel készítettem.

2. Néhány burkolófelület burkolófelülete

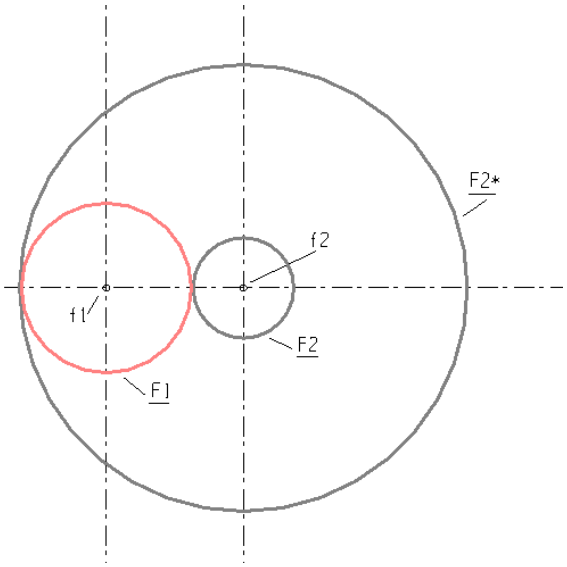
A térrendszereket ***A***-val, a forgástengelyeket f -fel, a felületeket ***F***-fel (az ábrákon aláhúzva) fogjuk jelölni.

Ha egy ***A1*** térrendszer egy másik, ***A2*** térrendszerhez képest mozog, akkor az ***A1***-hez tartozó valamely ***F1*** felületnek ***A2***-ben általában megfelel egy ***F2*** felület, amely a két rendszer relatív mozgása során az ***F1*** által az ***A2***-ben elfoglalt helyzetek burkolófelülete az ***A2*** rendszerben. Ha viszont az így meghatározott ***F2*** felületnek a rendszerek relatív mozgása során az ***A1***-ben elfoglalt helyzeteihez a ***A1***-beli burkolófelületet keressük vissza, akkor azt tapasztaljuk, hogy ennek az eredeti ***F1*** felület legfeljebb is csak része, de nem mindig teljesen egyeznek.

2.1 Nem csupán az eredeti felületet kapjuk vissza

Legyen az ***A0*** rendszer álló, az ***A1*** és ***A2*** rendszerek pedig végezzenek benne párhuzamos $f1$ és $f2$ tengelyek körül egymással ellentétes irányú forgómozgásokat.

Az ***A1*** rendszer egy $f1$ tengelyű ***F1*** forgáshengerének ekkor az ***A2*** rendszerben az $f2$ tengelyű ***F2*** és ***F2**** forgáshengerekre szétesett burkolófelület felel meg (2. ábra).



***2. ábra F1**-nek $f2$ körüli forgása során burkolt felületei*

Ha most viszont az ***F2***-ből és az ***F2****-ból álló ***A2***-beli felületnek az ***A1***-ben keressük a burkolófelületét, akkor visszanyerjük az eredeti ***F1***-et, de mellette megkapjuk még az $f1$ tengelyű ***F1**** és ***F1***** forgáshengereket is (3. ábra).

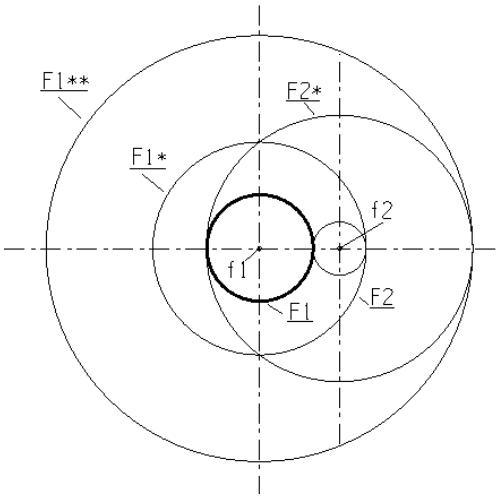
2.2 A burkolófelületek elfajulhatnak

Ha az előző példában szereplő ***F1*** forgáshenger sugara éppen az $f1$ és $f2$ távolságával egyenlő, akkor az ***F2*** forgáshenger egy egyenessé, az $f2$ tengellyé fajul el (4. ábra).

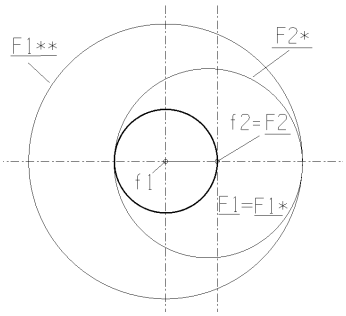
A példában azt is látjuk, hogy a burkolófelületek nemcsak felületekre eshetnek szét, hanem adott esetben belőlük vonal is kieshet. A példában szereplő ***A2*** rendszer ***F2*** egyenese visszasúrolja az ***A1***-ben az eredeti ***F1***-et, amely egyúttal mint - az előbbi jelöléssel – ***F1**** az ***A2*** rendszer ***F2**** hengerének az ***A1***- beli burkolóhengere is.

2.3 Nem kapjuk vissza az eredeti felületet

Egy további példában legyen az ***A0*** álló rendszer, és benne $f1$ tengellyel egy ***A1*** rendszer végezzen elemi forgómozgást. Az ***A1*** rendszer $f1$-el párhuzamos tengelyű ***F1*** forgáshengerének az ***A0***-ban az ***F0*** és ***F0**** forgáshengerekre szétesett burkolófelület felel meg. Könnyen belátható, hogy a mozgás megfordításakor az állónak képzelt ***A1*** rendszerben az $f1$ körül ugyanolyan nagyságú, de ellentétes irányú szögsebességgel forgónak képzelt ***A0*** rendszer ***F0*** és ***F0**** forgáshengerei nem burkolják vissza az ***A1***- ben az eredeti ***F1*** forgáshengert, hanem benne forognak az ***A1*** rendszer ***F1**** és ***F1***** forgáshengereiben (5. ábra).



3. ábra F2*és* ***F2**** *burkolófelülete az* $f1$ *körüli forgása során*



4. ábra *A burkolófelület egy egyenessé és egy hengerfelületté esik szét*

3. Karakterisztikus görbe

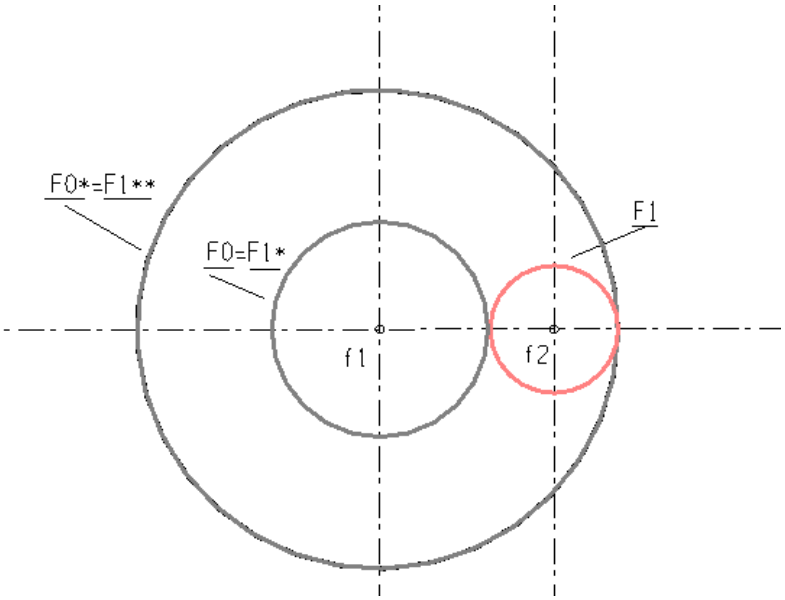
Ha egy felület ***c*** tengely körül, ***p*** paraméterű csavarmozgást végez, akkor a felületnek azon ***K*** pontjai írják le a felület karakterisztikus görbéjét, amelyekre igaz, hogy

$$\vec{v}_K \vec{n}_K = 0 \tag{1}$$

ahol $\vec{v}_K$ a mozgás pillanatnyi sebessége, $\vec{n}_K$ pedig a csavarvonal ***K*** pontbeli normálisa.

A karakterisztikus görbe pontjai által leírt csavarvonalak alkotják a felület burkolófelületét. Amennyiben például a mozgó felület sík, akkor a karakterisztikus görbe egy egyenes, a burkolófelület pedig egy kifejthető csavarfelület. Gömb moz-

gása során a karakterisztikus görbe a gömb gömbi főköre, és mozgása során egy arkhimédészi csőfelületet ír le (6. ábra).



5. ábra. *Az f1 tengely körül forgó, vele párhuzamos tengelyű* ***F1*** *felület burkolófelülete*

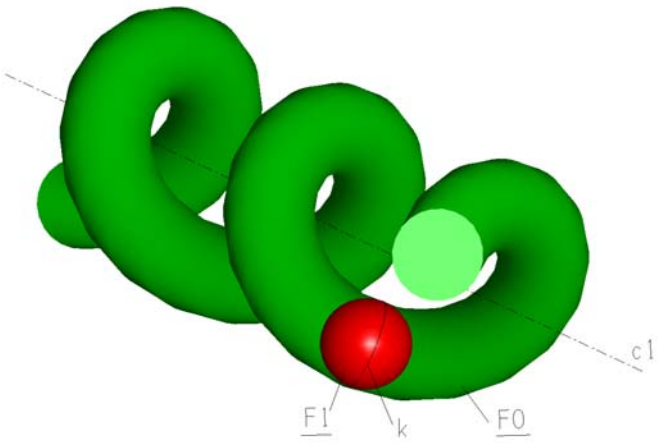
4. Egymást burkoló felületek metszése

A relatív mozgást végző ***A1*** és ***A2***térrendszerek egymást kölcsönösen burkoló ***F1*** és ***F2*** felületei egymást mindig a ***k*** karakterisztikus görbében érintik. Pillanatnyi érintkezésükkel egyidőben azonban még metszhetik is egymást egy ***m*** metszésvonalban. A ***k*** karakterisztikus vonalat általában, mint a két felület metszetének részét tekinthetjük. A ***k***-n levő azon pontok, amelyekben ***k***-t az ***m*** metszi, a teljes metszet kettőspontjai.

4.1 Példa forgómozgást végző rendszerek esetében

Az álló ***A0*** rendszerben az egymást metsző *f1* és *f2* tengelyek körül forogjon egy ***A1*** és ***A2*** rendszer. Az ***A1*** rendszer *f1* tengelyű ***F1*** forgáshengerének az ***A2***-ben szétesö burkolófelület felel meg. Ennek egyik része az *f2* tengelyű, ***F2*** forgáskúp. Az ***F1*** és ***F2*** egymást az ***A0***-ban állandó helyzetű ***k*** momentán karakterisztikus egyenesben érinti. Ezenkívül az ***F1*** és ***F2*** metszi is egymást, az ***A0***-ban szintén állandó helyzetű ***m*** pillanatnyi metszésvonalban (7. ábra). Az ***F1*** és ***F2*** metszése a

k -ra és ***m*** -re szétesõ negyedrendû görbe, aminek a kettõspontja ezen két görbe metszéspontja.



6. ábra *Az **F1** gömbfelület a rajta lévõ **k** karakterisztikus gömbi fõkörrel és az általa burkolt **F0** csavarfelület axonometrikus képe*

4.2 Példa csavarmozgást végzõ rendszereknél

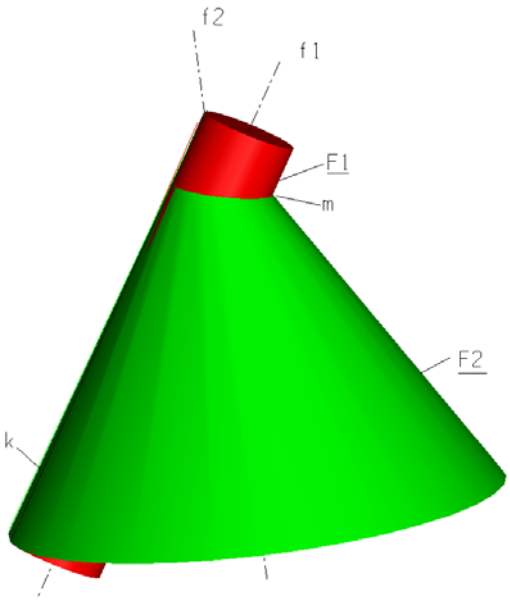
Az álló ***A0*** rendszerhez képest egy ***c1*** tengely körül ***p*** paraméterrel csavarmozgást végzõ ***A2*** rendszer és az *f1* tengely körül forgó ***A1*** rendszer legyen adva (8. ábra), ahol az *f1*-nek a ***c1***-tõl mért távolsága és egymással bezárt szöge között a

$$p = r \cot \beta \tag{2}$$

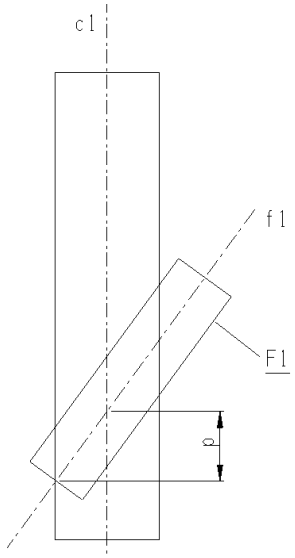
összefüggés álljon fenn, ahol

p – a csavarodás paramétere,
r – a csavarhenger sugara, az *f1*-nek a ***c1***-tõl mért távolsága,
β – a csavarodás emelkedési szöge, az *f1* és *f2* egymással bezárt szöge.

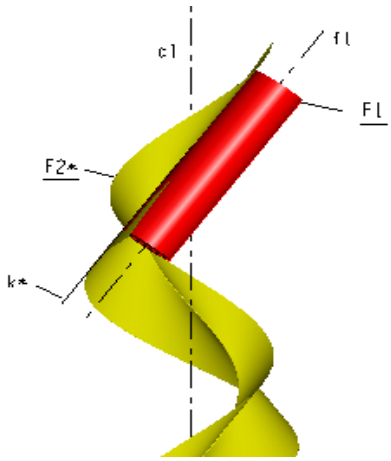
Ha az ***A1*** rendszer *f1* tengelyû ***F1*** forgáshengerének az ***A2*** rendszerbeli burkolófelületét keressük, akkor azt tapasztaljuk, hogy az szétesõ felület, és az ***F1***-nek a ***c1*** tengelyû, ***r*** sugarú forgáshengert érintõ ***k**** alkotója a szétesõ karakterisztikus görbének egy része, valamint a ***k**** alkotójú, ***c1*** tengelyû ***F2**** kifejthetõ csavarfelület a szétesett burkolófelületnek egy része (9. ábra). Az ***F1*** forgáshenger és az ***F2**** kifejthetõ csavarfelület azonban egymást nemcsak érintik a ***k**** mentén, hanem metszik is egymást. Ennek a metszésnek a kettõspontja a ***k****-ra esik. Az ***F1***-nek az ***F2****- gal való metszésvonala tehát a ***k**** karakterisztikus egyenes és egy görbeív (10. ábra), ami a ***k****-ot a metszésvonal kettõspontjában metszi. Az ***F1*** forgáshenger még burkolja az ***F2*** csavarfelületet is a ***c1*** körüli csavarmozgása során.



***7. ábra** Az **F1** forgáshengernek és **F2** burkolófelületének a **k**-ra és **m**-re szétesõ metszése*

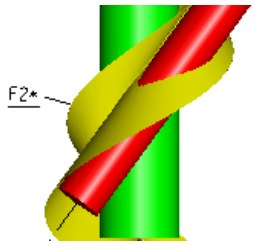


***8. ábra** A csavarhenger és a forgáshenger elhelyezkedése*

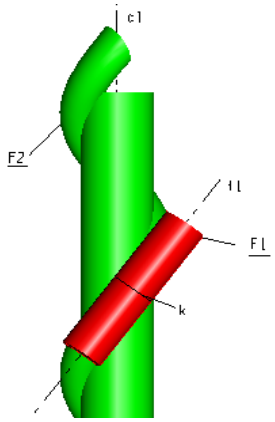


9. ábra** Az **F1_ k egyenese által burkolt **F2*** kifejthető csavarfelület*

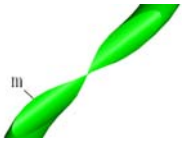
A karakterisztikus görbe ennél a felületnél a ***k***, ***F2*** alapkörével megegyező sugarú kör (11. ábra). Az előzőekhez hasonlóan, ez a felület is metszi az ***F1*** forgáshengert a ***k*** karakterisztikus körben és ***m***-ben (12. ábra), a metszet kettőspontja a ***k*** és ***m*** metszéspontja. A ***c1*** körüli csavarmozgása során tehát az *f1* tengelyű ***F1*** forgáshengernek a ***k*** és ***k**** karakterisztikus görbéje szétesző burkolófelületet ír le, amivel a karakterisztikus görbén kívül metszik is egymást. Belátható, hogy az ***F1*** felület még további felületdarabokat is súrol az ***A2***-ben.



10. ábra *Az* ***F1*** *és az általa burkolt* ***F2**** *kifejthető csavarfelület*



11. ábra *Az* ***F1*** *által burkolt* ***F2*** *csavarfelület*



12. ábra *Az* ***F1*** *és az* ***F2*** *metszetének a* ***k****-n kívüli része,* ***m***

5. Összefoglalás

Relatív mozgást végző térrendszerekben levő felületek kölcsönös burkolásának vizsgálatánál körültekintően kell eljárni, ugyanis a mozgás megfordíthatóságából nem következik a burkolás megfordíthatósága.

6. Irodalomjegyzék

[1] Bancsik Zs., Juhász I., Lajos S.,: *Ábrázoló geometria szemléletesen* (elektronikus könyv), pp 427-437.

[2] Drahos I.,: *A szerszámgeometria mozgásgeometriai alapjai*, Tankönyvkiadó, Bp., 1976., pp 38-68.

[3] Drahos I.,: *Ábrázoló geometria bánya-, kohó- és gépészmérnök hallgatóknak*, III. rész,Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1985., pp 45-99.

[4] Lévai I., Nándoriné Tóth M.,: *Hengeres csigahajtás kúpkerékkel*, Gép, LX. évfolyam 1. szám, 2009.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 95-102.

FLOW-SHOP ÜTEMEZÉSI FELADATOKAT MEGOLDÓ GENETIKUS ALGORITMUS MUTÁCIÓ OPERÁTORAINAK ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLATA

Oláh Béla
főiskolai tanársegéd
Szolnoki Főiskola, Műszaki és Agrárgazdálkodási Intézet, Műszaki és Gépészeti Tanszék,
5000 Szolnok, Tiszaligeti sétány, olahb@szolf.hu

Összefoglalás

Jelen tudományos munka célkitűzése egy általam már korábban elkészített és publikált permutáció flow-shop termelésütemezési feladatokat (FSSP) megoldó genetikus algoritmus (GA) mutáció operátorainak érzékenységvizsgálata. Dolgozatom az algoritmus által használt négy különböző mutáció operátor (fordított csere, 2 pontú inverzió, 1 és 2 pontú csere) összehasonlítására terjed ki a megoldások optimum-közeli hatékonyságának függvényében. Megvizsgálom, hogy az egyes mutációs eljárások adott arányánál hogyan változik a program teljesítménye, értékelem a kapott eredményeket és összefüggéseket keresek, melyek segítségével a genetikus algoritmus hatékonyabb alkalmazása lehetséges. Témaválasztásom gyakorlati jelentőségű eredménye annak kiderítése lesz, hogy milyen arányban érdemes az egyes mutáció operátorokat használni, a minél hamarabbi és minél inkább optimum-közeli megoldások szolgáltatása végett.

Kulcsszavak: *genetikus algoritmus, ütemezés, holtidő, mutáció, klónozás*

Abstract

The main goal of this scientific work is the sensitivity analysis of mutation operators of my own genetic algorithm (GA) for the permutation flow-shop scheduling problems (FSSP). This paper covers the comparison of the different mutation operators such as reciprocal exchange, simple inversion, swap and displacement used by the algorithm in function of the efficiency of the near optimal solutions. I analyze how the efficiency of the algorithm changes by some values of the mutation operators, I evaluate the obtained results and I search for relations that help to apply the GA more effectively and efficiently. The practical importance of my research results is to determine in what setting the mutation operators have to be used in order to supply near optimal solutions at the fastest possible time.

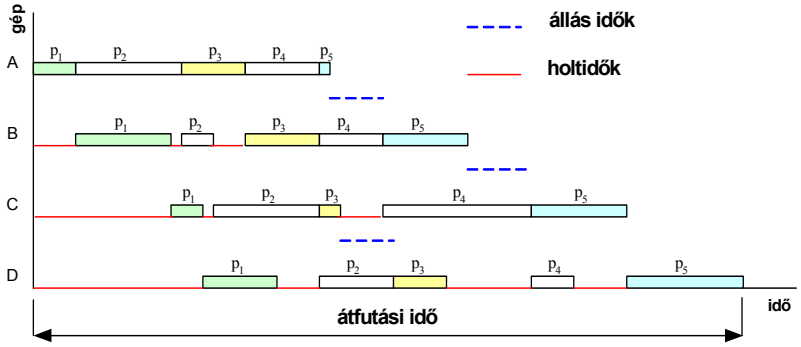
Keywords: *genetic algorithm, scheduling, idle time, mutation, cloning*

1. A Flow-shop ütemezési probléma megfogalmazása

Adott *n* számú termék, amelyeken *m* számú különböző munkafolyamatot kell elvégezni. A technológiai útvonal, ami az összes termékre nézve azonos, valamint a műveleti idők előre adottak. Meg kell határozni a termékeknek azt a sorrendjét a gépeken, amely bizonyos előre megadott szempontok szerint optimális (1. ábra).

A gyakorlatban is használt célfüggvények az alábbiak lehetnek:

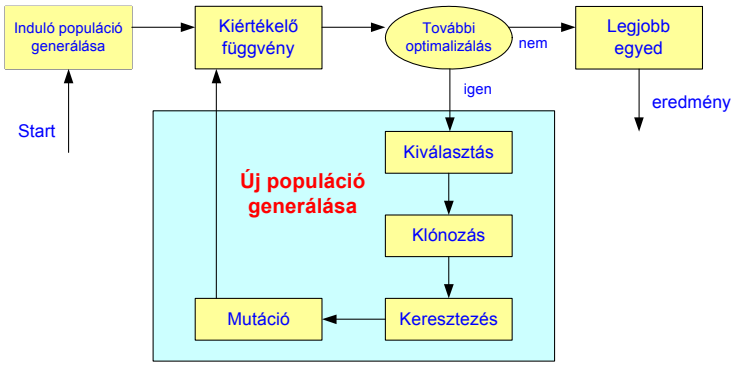
- minimális átfutási idő;
- technológiai berendezések maximális kihasználása (holtidők minimálása);
- minimális gyártásközi készletek (termékek állásidejének minimálása).



1. ábra. *Permutáció flow-shop ütemezés Gantt-diagramja*

2. A Genetikus algoritmus ismertetése

A genetikus algoritmusok fogalmát Holland [2] vezette be, tervezésük során az evolúciót tekinthetjük mintaképnek. Kezdetben nem optimálisan megírt, vagy paraméterezett programok a természetes kiválasztódás elve alapján fejlődnek, és közelítenek egy jó megoldáshoz. A genetikus algoritmus lényege, hogy rendelkezik a lehetséges megoldások egy populációjával, a populáción értelmezett a kiválasztási folyamat – amely az egyedek alkalmasságán alapul – és értelmezett néhány genetikus operátor (2. ábra).



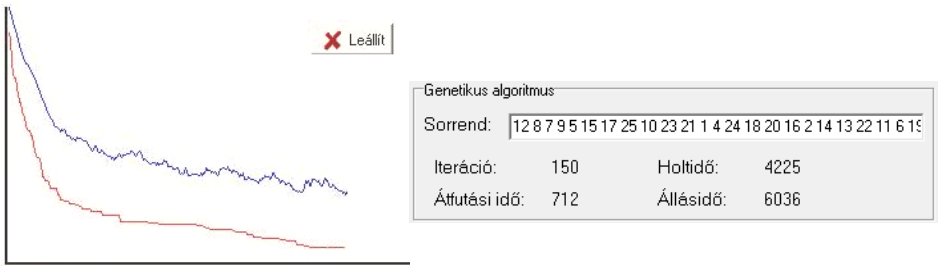
2. ábra. *A genetikus algoritmus folyamatábrája [10]*

A GA is – mint oly sok más a tudományban – a természettől kölcsönzött ötlet alapján működik [1]. Az életben évmilliók során kialakulnak azok az egyedek, amelyek legjobban alkalmazkodtak az élőhelyükhöz, amelyek fennmaradása biztosított. Ezek az egyedek genetikus állományukat – és ezzel jó tulajdonságaikat – továbbadják utódaiknak, biztosítva ezzel a populáció fennmaradását. Néha mutációk – véletlenszerű változások – adódnak a genetikus állományban. Az új egyedekben új tulajdonságok jelennek meg, amelyek vagy jobbak az eredetinél – és így az egyedek életben maradnak, tovább örökítve jó tulajdonságaikat –, vagy rosszabbak, s így elpusztulnak [3]. Ezt a folyamatot írtam át számítógépre a termelésütemezési problémák megoldására.

3. A számítógépes program bemutatása

A program felhasználói felületén a dialógusablakban a konstans jellegű paraméterek találhatók. Először beállítjuk a megmunkálni kívánt termékek, valamint a megmunkáló berendezések mennyiségét. Ezután a genetikus algoritmushoz szükséges alapadatokat állíthatjuk be tetszés szerint (populáció mérete, iterációk száma, a keresztezés, a mutáció és a klónozás aránya, kiválasztási stratégia). Az első fejezetben is említett optimalizáló célfüggvényt a megfelelő választógomb bekapcsolásával választhatjuk ki.

A genetikus algoritmus esetében egy kromoszóma a termékek tetszőleges sorrendjét jelenti, ez lesz az adatok helyes reprezentációja. A kiválasztódást alapbeállításban egyszerű fitnesz szerinti rendezéssel oldom meg, és a magasabb fitnesszel rendelkező egyedeket választom ki, de lehetőség van véletlenszerű, illetve a rulett-kerék mechanizmusnak megfelelő kiválasztásra. A GA megírása során két keresztezést *(CX* és *OX)* alkalmaztam. A program során a *reciprocal exchange (fordított csere)*, a *simple inversion (2 pontú inverzió)*, a *swap (1 pontú csere)* és a *displacement (2 pontú csere)* mutációkat használtam fel. Kiértékeléskor a maximális út megkeresésére alkalmas Bellmann-Pontrjagin-féle optimalizálási elvre épülő általam kidolgozott algoritmusba [5] történik a behelyettesítés.



3. ábra. *A genetikus algoritmus futási eredménye*

GA segítségével megoldva egy feladatot az iteráció előre haladtával a grafikonon nagyon szépen nyomon követhető a legjobb egyed célfüggvény szerinti

értéke valamint a populáció átlagértéke is (3/a. ábra). A legjobb egyed piros színnel (alsó görbe), míg az átlagérték kékkel (felső görbe) szerepel a grafikonon a jobb követhetőség érdekében. Mivel előfordulhat, hogy egy szülőt alacsonyabb fitnesz-értékű utód helyettesít, így a populáció átlagértéke emelkedhet is. Ezzel szemben a legjobb egyed fitnesz-értéke monoton csökkenő függvénnyel ábrázolható.

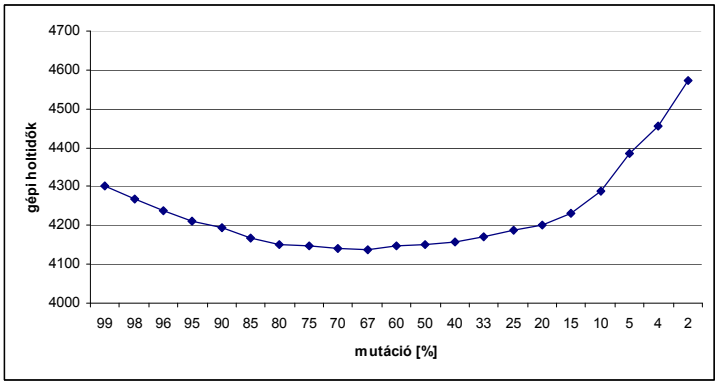
Az információs ablakban (3/b. ábra) az algoritmus futása közben folyamatosan kiírásra kerül az aktuális iterációk száma, valamint a legjobb egyedhez tartozó átfutási-, holt- és állásidők egyaránt. Az iterációk befejeztével megjelenik a legjobb egyedhez tartozó sorrend is. Az iteratív működés következtében több időre van szükségünk egy optimálishoz közeli megoldás eléréséhez, mint más heurisztikus esetben, viszont így lényegesen jobb eredmény érhető el. A feladat fitnesz-értékeit ábrázoló grafikonon megfigyelhető, hogy a GA végül olyan állapotba jutott, amelyben mind a legjobb individuum alkalmasság-értéke, mind pedig a populáció átlagos fitnesz-értéke a kezdeti rohamos javulás után beállt. A generációk számának növekedésével a legjobb egyed átlagos fitnesz-értéke egyre jobban megközelíti az optimális értéket, amely a vizsgált paramétertérben egy többé-kevésbé erős konvergenciát mutat. A programban lehetőség van a genetikus algoritmussal történő optimalizálás leállítására a leállít gomb megnyomásával. Ilyenkor a program megerősítést kér a felhasználótól az optimalizálás megszakítására. Az igen elfogadása után az információs ablakba kiíródnak az addig előállított legjobb egyed adatai. A nem gombon kattintva a közelítés tovább folytatódik a kívánt iterációig vagy egy újabb leállításig.

4. A mutáció operátorok összehasonlítása

Korábbi publikációimban [4, 6, 7, 8] már megvizsgáltam a termelésütemezési feladatokat megoldó különböző módszerek hatékonyságát, elvégeztem a genetikus algoritmus paraméter-érzékenységvizsgálatát, illetve összevetettem a szoftver által is kezelt keresztező operátorok eredményességét. Ezen dolgozatban a program által is használt négy mutáció operátor összehasonlítását tűztem ki célul.

Vizsgálataimat természetesen ugyanazon (esetemben 20 gépes, 25 termékes) permutáció flow-shop termelésütemezési feladatra végzem el, melyek alatt a keresztezés műveletet teljes egészében elhagyom, és csak a kiválasztott legjobb individuumok klónozásával valamint mutációjával állítom elő a soron következő populációt. Ezzel biztosítva, hogy az eredmények fejlődése csak a mutációnak legyen betudható, ami egyértelmű összehasonlítást tesz lehetővé.

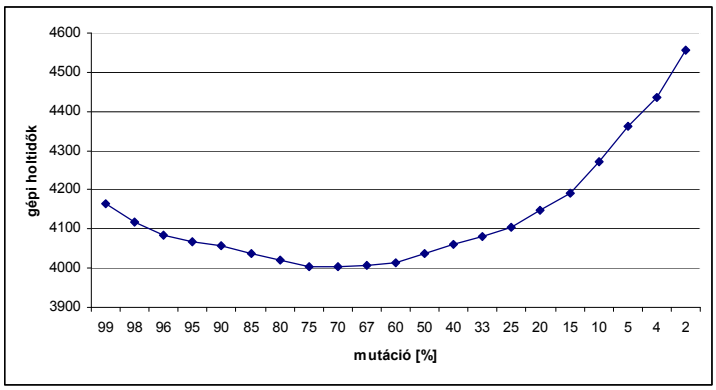
Első lépésben a program által használt négy mutáció operátor közül csak a simple inversion (2 pontú inverzió) mutációt alkalmazom. A 4. ábrán feltüntetett mutációs arányok (a populáció 99, 98, 96, …, 2%-a) mindegyikére a genetikus algoritmus által 30 futtatás után szolgáltatott célfüggvény (jelen esetben holtidő) értékek átlagai 100 egyedszámú populációt és a legjobb kiválasztási stratégiát alkalmazva 150 iteráció után a következőképpen alakultak:



4. ábra. *A 2 pontú inverzió holtidő-átlagai a mutáció arányának függvényében*

Az ábrából jól kivehető, hogy a mutáció arányának 80%-ig történő csökkenésével folyamatosan javulnak a holtidő-értékek, majd egy viszonylag konstans szakasz után (40-20% alatt) rohamos mértékű romlás következik be (a 2%-os mutáció már több mint 11%-kal eredményez rosszabb megoldásokat az optimumhoz képest). Megállapítható, hogy a genetikus algoritmus a 2 pontú inverzió mutációs operátor 80 és 40% közötti alkalmazása esetén eredményezte a legkisebb holtidő értékeket keresztezést nem használva. A minimumot a 67%-os mutáció (és ezáltal 33%-os klónozás) jelentette.

A következő vizsgálatban a program által kezelt négy mutáció operátor közül csak a fordított cserét (reciprocal exchange) használom. Az előzőhöz nagyon hasonló jellegű görbét kaptam. A vízszintes tengelyen az alkalmazott mutáció aránya, míg a függőlegesen továbbra is a holtidők szerepelnek.

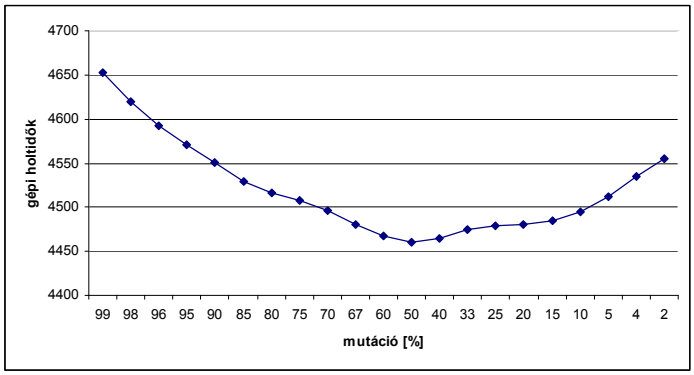


5. ábra. *A fordított csere holtidő-átlagai a mutáció arányának függvényében*

A diagramon jól látszik, hogy a mutáció arányának 75%-ig történő csökkenésével most is folyamatosan javulnak a holtidő-értékek, majd egy kezdeti lassú emelkedés után (25% alatt) rohamos mértékű hanyatlás következik be (a 2%-

os mutáció már közel 14%-kal eredményez rosszabb megoldásokat a minimumhoz képest). Kijelenthető, hogy a genetikus algoritmus a fordított csere mutációs operátor alkalmazása esetén a 75%-os aránynál produkálta az optimumot (4000).

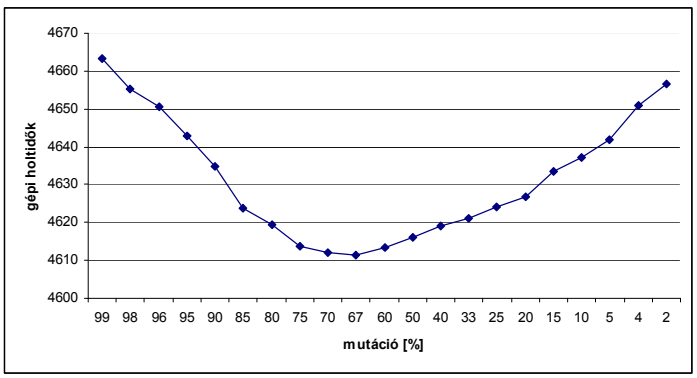
A következő esetben a mutáció operátorok közül csak az 1 pontú csere (swap) mutációt alkalmazom. Az eredményeket a 6. ábra szemlélteti:



6. ábra. *A 1 pontú csere által szolgáltatott holtidő-átlagok a mutáció függvényében*

Az eddigiektől kicsit eltérő jellegű görbén lassú javulás figyelhető meg a mutáció arányának egészen 50%-ot elérő csökkenéséig, majd ezután is csak szerény emelkedés tapasztalható. Azaz, a swap mutáció használata esetén épp a kisebb mutációs arányok jelentik a jobb megoldásokat. Bár nincs akkora eltérés az eredmények között, mint amekkorát a grafikon mutat, hisz a 99%-os mutáció is csak alig 4,5%-kal eredményez rosszabb megoldásokat a legkisebb értékűhöz (50% – 4461) képest.

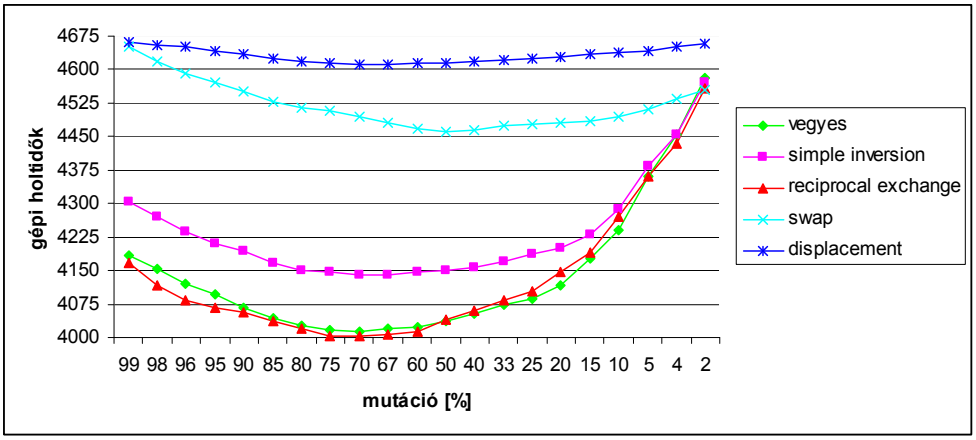
Az utolsó vizsgálatnál csak a 2 pontú csere (displacement) mutáció operátor segítségével állítja elő a következő populációt az algoritmus. A 7. ábrán feltüntetett mutációs arányok mindegyikére a GA által szolgáltatott holtidő értékek a következőképpen alakultak:



7. ábra. *A 2 pontú csere által szolgáltatott holtidő-átlagok a mutáció függvényében*

Most is szerény mértékű javulás látható a mutáció arányának egészen 67%-ot elérő csökkenéséig, majd ezután pedig még szerényebb emelkedés fedezhető fel a diagramon. A minimumot (4611) ugyan a 67%-os mutáció (és ezáltal 33%-os klónozás) jelentette, de a legrosszabb eredményhez (99%-os mutáció) képest is csak alig több mint 1%-kal ad jobb eredményt (az utóbbi két esetben csak a függőleges tengely korábbiaktól eltérő skálázása miatt tűntek meredekebbnek a görbék).

Végül megvizsgáltam, hogy a program által használt négy mutáció operátor egyenlő arányban történő alkalmazásakor hogyan alakul a grafikon. Kíváncsiságom oka az volt, hogy a keresztező operátorok összehasonlításakor [9] világossá vált, hogy a legjobb eredményt a GA az operátorok együttes alkalmazása esetén szolgáltatja, még az egyébként legjobb megoldásokat adó keresztezésnél is jobbat, azaz a gyengébbek nem hogy nem rontották a jobb operátorok teljesítményét, hanem még javították is azt. A jobb láthatóság és a már említett eltérő skálázásból adódó problémák kiküszöbölése végett egy diagramban ábrázoltam az eddigi és a vegyes alkalmazással kapott eredményeket.



8. ábra. *A különböző mutáció operátorok alkalmazásával kapott eredmények*

Az ábrán egyértelműen kitűnik, hogy a négy mutáció operátor közül kettő sokkal jobb eredményeket szolgáltat a másik kettőnél. A legjobb megoldásokat a fordított csere mutáció alkalmazása adja, de alig marad el tőle a 2 pontú inverzió operátor, ami csak átlag 2,5%-kal generál gyengébb célfüggvény-értékeket, sőt 10% alatti mutáció arányoknál a két görbe szinte fedi egymást. Ezzel szemben az 1 pontú csere közel 9,5%-kal rosszabb, mint a legkedvezőbb operátor, míg a 2 pontú csere már több mint 12%-kal, így kijelenthető, hogy ez utóbbi mutáció használata eredményezi a legnagyobb holtidőket.

Természetesen a jövőben érdemes elvégezni más – az operátorokat eltérő arányban használó – vegyes rendszerek esetén is ezt a vizsgálatot, hogy azok esetén hogyan alakulnának a diagramok.

5. Összefoglalás

A keresztező operátorok vizsgálatával ellentétben, most nem mondhatjuk el, hogy a mutációs eljárások együttes alkalmazásakor kapnánk a legjobb eredményeket, bár az operátorokat egyenlő arányban alkalmazó vegyes megoldás grafikonja szinte teljesen egyezik a legkisebb értékeket felvonultató fordított csere mutációéval. Az azonban már most is megállapítható, hogy inkább a fordított csere és a 2 pontú inverzió mutációkat érdemes preferálni az 1 és a 2 pontú cserével szemben a minél inkább optimum-közeli megoldások hatékony megtalálása végett.

6. Irodalomjegyzék

[1] Goldberg, D. E.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989.

[2] Holland, J. H.: *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology Control, and Artificial Intelligence*, The University of Michigan Press, 1975.

[3] Michalewich, Z.: *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Springer, 1996.

[4] Oláh, B.: *A flow shop ütemezési probléma optimalizálására szolgáló algoritmusok összehasonlítása*, OGÉT 2005 XIII. Nemzetközi Gépész Találkozó, Szatmárnémeti, 2005. pp. 268-272.

[5] Oláh, B.: *Genetic algorithm vs. Reinforcement learning*, Chapter 80 in DAAAM International Scientific Book 2009, Vol. 8, Published by DAAAM International, Vienna, Austria, 2009. pp. 831-844.

[6] Oláh, B.: *Genetikus algoritmus érzékenységvizsgálata*, Műszaki Tudomány az Észak-Alföldi Régióban 2010, Nyíregyháza, 2010. pp. 157-162.

[7] Oláh, B.: *Flow-shop termelésütemezési feladatokat megoldó genetikus algoritmus érzékenységvizsgálata*. Szolnoki Tudományos Közlemények XIV. Szolnok, 2010.

[8] Oláh, B.: *Sensitivity analysis of a genetic algorithm in function of the population size*. XXV. microCAD International Scientific Conference, University of Miskolc, Miskolc, Hungary, 2011. pp. 113-118.

[9] Oláh, B.: *Flow-shop ütemezést megoldó genetikus algoritmus keresztező operátorainak érzékenységvizsgálata*. XIX. Nemzetközi Gépész Találkozó – OGÉT 2011, Csíksomlyó, Románia, 2011. pp. 282-285.

[10] Pohlheim, H.: *Evolutionary Algorithms*, 2009., http://www.geatbx.com/docu/algindex.html

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 103-110.

MÁTRIXALGEBRAI HIBAFA-ÉRZÉKENYSÉGELEMZÉS

Pokorádi László
egyetemi tanár
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.,
pokoradi@eng.unideb.hu

Összefoglalás

A tanulmány egy moduláris megközelítésű, könnyen algoritmizálható hibafa érzékenység elemzési módszert mutat be, mely repülőgép rendszerek és gázturbinás hajtóművek matematikai modellezési eljárásain alapszik. A tanulmány fő célja a lineáris matematikai diagnosztikai modellezési módszerek alkalmazásával a Lineáris Hibafa Érzékenységi Modell (LFTSM) módszertanának kidolgozása és egy példán keresztül az alkalmazási lehetőség szemléltetése

Kulcsszavak: *hibafa elemzés, érzékenység vizsgálat, LFTSM*

Abstract

In this paper, a modular approach, easy-useable fault tree sensitivity investigation method using matrix-algebraic method based upon the mathematical modelling of aircraft systems and gas turbine engines has been introduced. The main aim of this study is to show the adaptation of linear mathematical diagnostic modelling methodology for setting-up of LFTSM and its possibility of use to investigate Fault Tree sensitivity by a demonstrative example.

Keywords: *Fault Tree, Sensitivity analysis, LFTSM*

1. Bevezetés

Technikai rendszerek megbízhatósági vizsgálatainak egyik legelterjedtebb módszere a hibafa elemzés (FTA — Fault Tree Analysis). A hibafa-elemzés érzékenyvizsgálatának célja annak meghatározása, hogy az adott hibafa elemi események bekövetkezési valószínűségeinek változásaira milyen mértékben reagálnak — mennyire érzékenyek — a hozzá kapcsolódó közbülső események és a főesemény bekövetkezési valószínűségei.

A hibafa-elemzés során egy valós vagy feltételezett rendszerhibából, az úgynevezett főeseményből (Top Event) indulunk ki, és fokozatosan derítjük fel azokat az alkotóelem és részrendszer meghibásodási lehetőségeket, melyek az adott, nem kívánt esemény bekövetkezéséhez vezetnek vagy vezethetnek. Az elemző munkát fastruktúrájú gráf megjelenítés segíti, amit különböző, például megbízhatósági számításokkal is ki lehet egészíteni. Módszertanát a [3] és [4] szabványokból tud-

juk megismerni. Számítógéppel segített hibafa-elemzés módszertanát ismerteti Ferdous, szerzőtársaival a [2] irodalomban.

A hibafa-érzékenységelemzések korábban alkalmazott módszere esetén a kiértékelést úgy végezzük el, hogy a hibafa egyik elemi eseményéhez nagy, majd kis értékű meghibásodási rátát rendelünk. Amennyiben a kiszámított rendszer-megbízhatósági paraméter, azaz a főesemény bekövetkezési valószínűsége, nem változott számottevően, akkor ez az elemi esemény nem bír nagy kockázati jelentőséggel. Viszont, ha a rendszer-megbízhatósági paraméter változása jelentős mértékűre adódott, akkor az adott elemi eseményt további megbízhatósági vizsgálatok alá kell helyezni.

Csiba elemzései során az érzékenységi együtthatók meghatározásához a csúcsesemény bekövetkezési valószínűségét leíró teljes függvény elemi események bekövetkezési valószínűségei szerinti parciális differenciál hányadosait képezte [1]. Ezen eljárás hátránya az, hogy egy nagyméretű, összetett hibafa esetén viszonylag nagy a hibázás lehetősége. Pokorádi [5] könyvében vizsgálta a technikai rendszerek lineáris érzékenységi modelljeinek felállítási és alkalmazhatósági lehetőségeit. A Szerző a repülőgép gépészeti rendszereinek lineáris diagnosztikai eljárásait alkalmazta a hibafa-elemzés relatív érzékenységvizsgálatára, valamint a Lineáris Hibafa Érzékenységi Modell (LFTSM — Linear Fault Tree Sensitivity Model) módszerét dolgozta ki [6].

Jelen tanulmány a hibafa-elemzés érzékenységvizsgálatának, a fenti eljárástól eltérő, moduláris megközelítésű, mátrixalgebrai módszerét mutatja be a szerző által kidolgozott LFTSM alkalmazásával.

A tanulmány az alábbi részekből áll: A 2. fejezet a Hibafa-elemzést mutatja be röviden. A 3. fejezet az érzékenységvizsgálat teljes derivált módszerét írja le. A 4. fejezet egy egyszerű mintapéldán keresztül szemlélteti az előzőleg ismertetett módszer alkalmazását. Végül az 5. fejezet összegzi a tanulmány elkészítésekor szerzett tapasztalatokat és megfogalmazza a Szerző jövőbeli célkitűzéseit.

2. A Hibafa-elemzés

A hibafa-elemzés során egy feltételezett rendszerhibából, az úgynevezett főeseményből (Top Event) indulunk ki, és fokozatosan derítjük fel azokat az alkotóelem és/vagy részrendszer meghibásodási lehetőségeket, melyek az adott, nem kívánt esemény bekövetkezéséhez vezetnek vagy vezethetnek. Az elemző munkát fastruktúrájú gráf megjelenítés segíti, amit különböző, például megbízhatósági számításokkal is ki lehet egészíteni.

Egy (nem elemi) esemény bekövetkezési valószínűsége meghatározható az azt kiváltó események — melyek lehetnek elemi vagy alacsonyabb szintű közbülső események — bekövetkezési valószínűségeinek, illetve a kapcsolatot leíró logikai kapu ismeretében, azaz:

ÉS kapu — amikor a kimeneti esemény csak akkor következik be, hogyha az összes bemeneti esemény bekövetkezik — esetén:

$$P = \prod_{i=1}^{k} P_i \quad , \tag{1}$$

VAGY kapu — azaz, ha a kimeneti esemény akkor következik be, hogyha legalább egy bemeneti esemény bekövetkezik — esetén:

$$P = 1 - \prod_{i=1}^{k} (1 - P_i) \quad . \tag{2}$$

ahol:

P_i — az *i*-edik kiváltó esemény bekövetkezési valószínűsége;

$P_i \in [0,1] \subset \Re \ \forall i \in \{1,2,...,k\}$

$k \quad k \in \aleph$ — a kiváltó események száma.

3. Érzékenységi modell felállítása

A hibafa-elemzés érzékenyvizsgálatának célja annak meghatározása, hogy az elemi események bekövetkezési valószínűségeinek változásaira milyen mértékben reagál — mennyire érzékeny — a közbülső események és a főesemény bekövetkezési valószínűsége [6].

Az érzékenységi modell felállítása során mindegyik logikai kapuhoz kapcsolódó valószínűségi leírás — lásd (1) és (2) egyenletek — alapján a kimenő esemény bekövetkezési valószínűségének érzékenységi függvénye és együtthatói.

A Lineáris Hibafa Érzékenységi Modell (LFTSM — Linear Fault Tree Sensitivity Model) felállításához a logikai kapukat külön vizsgálva írjuk le azok érzékenységi függvényeit, és határozzuk meg együtthatóit.

Általánosan egy *y* kimenő jellemző x_i bemenő jellemzővel szembeni érzékenységi együtthatója a

$$K_{y;x_i} = \frac{\partial f(x_1; x_2; \ldots x_k)}{\partial x_i} \frac{x_i}{f(x_1; x_2; \ldots x_k)} = \frac{\partial y}{\partial x_i} \frac{x_i}{y} \tag{3}$$

parciális differenciálegyenlettel adható meg, amely egyenlet a paraméterek relatív változásai közti kapcsolatot — azaz a kimenő jellemző relatív érzékenységét — írja le [6].

A hibafa elemzéseknél alkalmazott logikai kapuk érzékenységi együtthatóit az alábbiak szerint határozhatjuk meg:

ÉS kapu esetén:

$$K_i = 1 \qquad \forall i \in \{1,2,...,k\} \quad . \tag{4}$$

VAGY kapu esetén:

$$K_j = \frac{P_j}{P} \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{k} (1 - P_i) \quad . \tag{5}$$

Következő lépésként különválasztjuk a vizsgált hibafa eseményeit az elemi és nem-elemi (közbülső és fő-) eseményekre, mivel az utóbbiak mindegyike valamelyik logikai kapu kimenő (függő) változója. Az elemi és nem-elemi események bekövetkezési valószínűségeit az $\mathbf{x} \in \Re^{m \times 1}$, illetve $\mathbf{y} \in \Re^{n \times 1}$ vektorokba rendezzük. Ekkor a bekövetkezési valószínűségek

$$\delta y = \frac{dy}{y} \approx \frac{\Delta y}{y}$$

relatív változásai közti kapcsolat az

$$\mathbf{A}\delta\mathbf{y} = \mathbf{B}\delta\mathbf{x} \tag{6}$$

mátrixegyenlettel tudjuk leírni, ahol:

$\mathbf{A} \in \Re^{n \times n}$ — nem elemi események együttható mátrixa;
$\mathbf{B} \in \Re^{n \times m}$ — elemi események együttható mátrixa;
$n \in \aleph$ — nem elemi események száma
$m \in \aleph$ — elemi események száma.

$$\text{A} \quad \mathbf{D} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B} \quad \in \Re^{n \times m} \tag{7}$$

mátrixalgebrai összefüggést felhasználva, a hibafa-elemzés **D** relatív érzékenységi mátrixát kapjuk meg, és a (6) egyenlet a

$$\delta\mathbf{y} = \mathbf{D}\delta\mathbf{x} \tag{8}$$

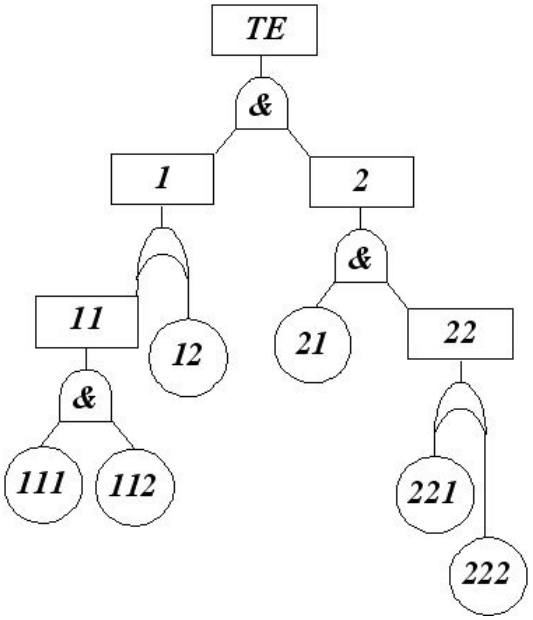
alakúra módosul.

A relatív érzékenységi mátrix *i*-edik sorának *j*-edik eleme azt mutatja meg, hogy az *i*-edik nem elemi esemény bekövetkezési valószínűségének relatív változását milyen mértékben befolyásolja a *j*-edik elemi esemény bekövetkezési valószínűségének relatív változása.

A mátrix első sora különösen fontos lehet, mivel az a főesemény bekövetkezési valószínűségének az elemi események bekövetkezési valószínűségeivel szembeni érzékenységi együtthatókat adja meg. A **D** mátrix ezen sorát, mint relatív érzékenységi (sor)vektort kezelhetjük, és $\mathbf{d}^T$ -vel jelöljük.

4. Érzékenységvizsgálat (Mintapélda)

Az 1. ábra az elemzéseink során alkalmazott hibafát szemlélteti.



1. ábra *Hibafa (mintapélda)*

Az ábrából leolvasható, hogy az 1; 2; 11 és 22 kódú események a közbülső események, míg a 12; 21; 111; 112; 221 és 222 számú események pedig elemi események. A vizsgált hibafa valószínűségi modellje:

$$P_{TE} = P_1 P_2 \tag{9}$$

$$P_1 = P_{11} + P_{12} - P_{11}P_{12} \tag{10}$$

$$P_2 = P_{21}P_{22} \tag{11}$$

$$P_{11} = P_{111}P_{112} \tag{12}$$

$$P_{22} = P_{221} + P_{222} - P_{221}P_{222} \tag{13}$$

További vizsgálatunkhoz először az elemi események — névleges (átlagos, jellemző) bekövetkezési valószínűségeit kell meghatároznunk, melyeket az 1. táblázat tartalmazza. Ezek alapján, a (13) – (9) egyenletek felhasználásával (visszafelé haladva) meghatározhatók a közbülső események, valamint a főesemény névleges bekövetkezési valószínűsége (2. táblázat).

1. táblázat *Kiinduló adatok*

$P_{12} = 0{,}10$	$P_{21} = 0{,}20$	$P_{111} = 0{,}15$
$P_{112} = 0{,}25$	$P_{221} = 0{,}3$	$P_{222} = 0{,}10$

2. táblázat *Számított (névleges) valószínűségi értékek*

$P_{22} = 0{,}370$	$P_{11} = 0{,}03750$
$P_2 = 0{,}074$	$P_1 = 0{,}11375$
$P_{TE} = 0{,}0098975$	

Az 1. ábrán szemléltetett hiba-fa, a (9) – (13) egyenletekkel leírt, valószínűségi elemzésének érzékenységi függvényei és együtthatói a következők:

$$\delta P_{TE} = K_1 \delta P_1 + K_2 \delta P_2 \qquad K_1 = 1 \qquad K_2 = 1 \tag{14}$$

$$\delta P_1 = K_{11} \delta P_{11} + K_{12} \delta P_{12}$$

$$K_{11} = (1 - P_{12}) \frac{P_{11}}{P_1} = 0{,}1525 \qquad K_{12} = (1 - P_{11}) \frac{P_{12}}{P_1} = 0{,}8305 \tag{15}$$

$$\delta P_2 = K_{21} \delta P_{21} + K_{22} \delta P_{22} \qquad K_{21} = 1 \qquad K_{22} = 1 \tag{16}$$

$$\delta P_{11} = K_{111} \delta P_{111} + K_{112} \delta P_{112} \qquad K_{111} = 1 \qquad K_{112} = 1 \tag{17}$$

$$\delta P_{22} = K_{221} \delta P_{221} + K_{222} \delta P_{222}$$

$$K_{221} = (1 - P_{222}) \frac{P_{221}}{P_{22}} = 0{,}4118, \; K_{222} = (1 - P_{221}) \frac{P_{222}}{P_{22}} = 0{,}4118 \tag{18}$$

Következő lépésként külön kell választanunk vizsgált hibafa eseményeit a — 12; 21; 111; 112; 221 és 222 — elemi és — TE; 1; 2; 11 és 22 — nem-elemi (fő- és közbülső) eseményekre, és ezek bekövetkezési valószínűségeit a

$$\mathbf{x}^T = [P_{12}; P_{21}; P_{111}; P_{112}; P_{221}; P_{222}] \quad , \tag{19}$$

$$\mathbf{y}^T = [P_{TE}; P_1; P_2; P_{11}; P_{22}] \tag{20}$$

vektorokba rendezzük.

A fenti vektorok ismeretében, valamint a (14) – (18) egyenletek alapján meghatározzuk a bekövetkezési valószínűségek relatív változásainak együttható mátrixait:

$$\mathbf{A}=\begin{bmatrix}1 & -K_1 & -K_2 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & -K_{11} & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0 & -K_{21}\\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1 & -1 & -1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & -0{,}2523 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1\\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\quad ; \qquad (21)$$

$$\mathbf{B}=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ K_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & K_{21} & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & K_{111} & K_{112} & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & K_{221} & K_{222}\end{bmatrix}=$$

$$=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0{,}7196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}7297 & 0{,}1892\end{bmatrix} \qquad (22)$$

A relatív érzékenységi együttható mátrix:

$$\mathbf{D}=\begin{bmatrix}0{,}7196 & 1 & 0{,}2523 & 0{,}2523 & 0{,}7297 & 0{,}1892\\ 0{,}7196 & 0 & 0{,}2523 & 0{,}2523 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0{,}7297 & 0{,}1892\\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}7297 & 0{,}1892\end{bmatrix}\quad , \qquad (23)$$

illetve a relatív érzékenységi vektor:

$$\mathbf{d}^T=\begin{bmatrix}0{,}7196 & 1{,}0000 & 0{,}2523 & 0{,}2523 & 0{,}7297 & 0{,}1892\end{bmatrix}. \qquad (24)$$

Matematikailag megfogalmazva, a relatív érzékenység vektor elemei megmutatják, hogy az elemi események bekövetkezési valószínűségeinek relatív értékcsökkenése vagy növekedése a főesemény bekövetkezési valószínűségének milyen mértékű relatív csökkenését, illetve növekedését okozzák. Másképpen értelmezve: mely elemi esemény bekövetkezési valószínűségének változása bír a legnagyobb hatással a főesemény bekövetkezési valószínűségére.

Mérnöki szempontból ez azt mutatja meg, mely elemi eseményt létrehozó rendszerelem megbízhatóságának növelésével tudjuk a legnagyobb, mértékben javítani a teljes rendszer megbízhatóságát. Azaz, mely elemi események bekövetkezési valószínűségének csökkentését (például a konstrukciójának változtatását) célszerű elvégezni. A fenti eredmények műszaki, szakmai elemzése (például Pareto-elemzés alkalmazása) már túlmutat jelen tanulmány keretein.

5. Összefoglalás

A Szerző az utóbbi években kutatómunkát folytat annak feltárására, hogy a széles értelemben vett modellezési és rendszer bizonytalanság, valamint rendszerérzékenység elemzés és kezelés milyen módon oldható meg a leghatékonyabb formában. A kutatási program keretében készült ez a tanulmány is, mely egy új, könnyen algoritmizálható mátrixalgebrai módszert mutat be a hibafák érzékenységi elemzéséhez. A cikk egy egyszerű mintapéldán keresztül szemlélteti és igazolja az LFTSM (Linear Fault Tree Sensitivity Model — Lineáris Hibafa Érzékenységi Modell) eljárás használhatóságát. Az elemzőmunka egyértelműen bizonyította, hogy a repülőgépészeti rendszerek diagnosztikai elemzéseinél alkalmazott rendszerérzékenységi modellvizsgálati eljárások jól alkalmazhatóak a hibafa elemzések érzékenységvizsgálatához.

A Szerző további tudományos kutatómunkája során olyan tanulmányok elkészítését tűzte ki célként, amelyek leírják a modell- és rendszerbizonytalanságokat, illetve rendszer érzékenységeket, értelmezik, vizsgálják és szemléltetik azok elemzési módszereit.

6. Felhasznált irodalom

[1] Csiba J.: *Sensitivity Analysis of the Reliability Computed by Using the Failure Tree Method*, Proc. Of the 11th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, 2008., Budapest, 749–760.

[2] Ferdous R., et al. *Methodology for Computer-Aided Fault Tree Analysis*, Trans IChemE Part B, Process Safety and Environmental Protection, 2007, 85 (B1): 70-80.

[3] I*EC (1990), Standard IEC 1025 Fault tree analysis (FTA)*, International Electrotechnical Commission, 39.

[4] *MSZ EN 1050 1999, Gépek biztonsága. A kockázatértékelés elvei*, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 1999., pp. 22.

[5] Pokorádi L.: *Rendszerek és folyamatok modellezése*, Campus Kiadó, Debrecen, 2008., 242.

[6] Pokorádi L.: *Sensitivity Investigation of Fault Tree Analysis with Matrix-Algebraic Method*, Theory and Applications of Mathematics & Computer Science (ISSN: 2067-2764), 2011 Spring (April), Volume 1, Number 1, p. 34-44.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 111-118.

HATÁRRÉTEG ÁRAMLÁS LEJTŐN

Vadászné Bognár Gabriella, Hriczó Krisztián
egyetemi docens, doktorandusz hallgató
Miskolci Egyetem, Analízis Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros
matvbg@uni-miskolc.hu, krisztian.hriczo@gmail.com

Összefoglalás
Ömlesztett anyagok vízszintes, lejtő- vagy emelkedőirányban történő szállításkor az anyagban kialakuló sebességeloszlást vizsgáljuk. A folyamatot határréteg áramlással modellezzük. A kontinuitási és a mozgásegyenletekhez peremfeltételek járulnak mind a mozgó síklap mentén mind a szállított anyag felületén. A sebességeloszlást különböző anyagjellemzők, állandó szállítószalag sebesség és különböző lejtőszög esetén vizsgáljuk.

Kulcsszavak: *ömlesztett anyag, határréteg áramlás, hatvány törvény, nemnewtoni folyadék*

Abstract
The velocity distributions on horizontal plane or an inclined plane are examined in the transport of bulk materials. This process is modelled by boundary layer flow. Boundary conditions are considered on the plane and on the surface of the transported material to the equations of continuity and motion. We examine the velocity distribution for different material properties, constant conveyor speed and different inclination angle.

Keywords: *bulk material, boundary layer, power-law, non-Newtonian fluid*

1. Bevezetés

A lejtőn való áramlás tulajdonságainak vizsgálata elméleti és gyakorlati jelentősége miatt sok kutató figyelmét felkeltette [1]-[3]. A folyamatosan áramló folyadék a gravitáció hatására állandósult lefelé történő mozgást végez, pl. a folyók áramlása. Ez a jelenség jelenik meg szállítószalagon való szállításkor és a kenéselméletben is.

Granulált anyagok áramlásának leírása jelentős lehet geofizikai veszélyek, vagy ipari eljárások esetén ([3], [6], [8]-[11]). A szállítógépek az ömlesztett anyagot vagy darabárut, vízszintes, lejtő-, emelkedő- vagy függőleges irányban, általában folytonos anyagáramban és állandó üzemben továbbítják. A granulátumok áramlását leíró alapegyenletek határozzák meg, hogy hogyan mozog az anyag. Ezek az anyagok viselkedhetnek úgy mint szilárd anyag, vagy mint folyadék. A szemcsés folyadék jellemzői áramlás során függenek a nyírási sebességtől. Ebben az értelemben a granulált anyagok hasonlóságot mutatnak a klasszikus nem-newtoni folyadékokkal. Ebben a dolgozatban hatvány függvény szerinti összefüggést alkalmazunk a nyírási sebesség és nyírási feszültség között, a reológiai paramétereket kísérleti eredményekből határoztuk meg homok zagy esetén az [5] dolgozatban, agyagra pedig a Jiao és Sharma által publikált adatokat alkalmazzuk [8].

2. A folyamatot leíró egyenletek

Ömlesztett anyag szállítása során az anyagszemcsék mozgását határréteg áramlásként a Navier-Stokes egyenletekkel modellezzük (ld. [1], [3], [4], [6]-[12]). Viszkózus és összenyomhatatlan folyadékot tételezünk fel. Stacionárius megoldásokat keresünk. Az alapegyenletek a következők:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \tag{1}$$

a kontinuitási egyenlet és a Navier-Stokes egyenletből származtatott

$$u\,\frac{\partial u}{\partial x}+v\,\frac{\partial u}{\partial y}=\frac{1}{\rho}\frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial\, y^2}+g\,\sin\alpha\,, \tag{2}$$

mozgásegyenlet abban az esetben, ha nincs nyomásváltozás a folyamatban, ahol u és v a mozgó szállítószalag síkjával párhuzamos és arra merőleges sebesség komponenseket, ρ a szállított anyag sűrűségét jelöli, g a gravitációs gyorsulás, τ_{xy} pedig a feszültség tenzor megfelelő eleme, melyet a szállított anyagokra a hatványfüggvény törvény alkalmazásával a

$$\tau_{xy}=\gamma\left|\frac{\partial u}{\partial y}\right|^{n-1}\frac{\partial u}{\partial y}\,, \tag{3}$$

alakban írunk fel, amelyben γ, n anyagjellemző konstansok. Az n kitevő értéke lehet egynél kisebb szám, mely pl. agyag esetén $n\approx 0{,}3$ [8], vagy lehet egynél nagyobb érték például homok [5], vagy száraz granulátum esetén, amikor ez az érték 2 körüli szám.

A feladathoz járuló peremfeltételek U konstans sebességgel lefelé mozgó szállítószalag esetén:

$$u\big|_{y=0}=U\,,\qquad v\big|_{y=0}=0\,,\qquad u\big|_{y=h}=0\,. \tag{4}$$

A feltételben szereplő h az áramló réteg magasságát jelöli.

3. Határréteg áramlás newtoni folyadékok áramlása során

Newtoni folyadékok áramlása esetén a (3) kifejezésben $n=1$ és γ a dinamikus viszkozitást jelöli. Lejtőn lefelé történő állandósult, teljesen kifejlődött, lamináris áramlás esetén

$$\gamma\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\rho\, g\,\sin\alpha=0\,. \tag{5}$$

A vizsgált szállítás során nincs nyomásváltozás. Meghatároztuk az (5) egyenlet megoldását a következőképpen:

$$u(y) = -\frac{\rho g}{\gamma}\sin\alpha\frac{y^2}{2} + Ay + B\,. \tag{6}$$

Az egyenlethez járuló feltételeket figyelembe véve az A és B integrációs konstansok meghatározhatóak, tehát

$$u(y) = \frac{\rho g}{\gamma}\sin\alpha\left(hy - \frac{y^2}{2}\right) + U\,. \tag{7}$$

A (7) megoldás a Navier-Stokes egyenletből származtatott (5) egyenlettel modellezett newtoni folyadékok ferde szállítószalagon történő szállítása során, a szállítószalag felületén szállított anyagban létrejövő határréteg áramlást írja le h magasság és U szállítási sebesség esetén. A (7) általános megoldásból meghatározható a q lokális térfogatáram

$$q = \int_0^h u dy = \frac{\rho g \sin\alpha\, h^3}{\mu} + U\,h\,.$$

4. Határréteg áramlás nem-newtoni folyadékok esetén

Ostwald-de Waele-féle hatványtörvény szerinti nemnewtoni folyadék α ferdeszögű szállítószalagon való szállításakor a (2) mozgásegyenlet a (3) felhasználásával

$$\left(\gamma u_y^n\right)_y + \rho g \sin\alpha = 0 \tag{8}$$

alakban írható fel, ahol γ és n kifejezi a szállított anyag nemnewtoni tulajdonságát. A nyomást ebben az esetben is állandónak tekintjük. A feladathoz ugyanazok a peremfeltételek járulnak, azaz $u_y\big|_{y=h} = 0$ és $u\big|_{y=0} = U$, melyekkel a megoldás:

$$u(y) = U + \left(\frac{\rho g}{\gamma}\sin\alpha\right)^{\frac{1}{n}}\frac{n}{n+1}\left(h^{\frac{1}{n}+1} - (h-y)^{\frac{1}{n}+1}\right). \tag{9}$$

A térfogatáram a $q = \int_0^h u\,dy$ integrállal nemnewtoni folyadékokra

$$q = Uh + \left(\frac{\rho g}{\gamma}\sin\alpha\right)^{\frac{1}{n}}\frac{n}{2n+1}h^{\frac{2n+1}{n}}\,.$$

Itt jegyezzük meg, hogy vízszintes felületen ömlesztett anyag szállításakor a

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \qquad\qquad u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\rho}\frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial y^2}$$

kontinuitási és mozgásegyenlet írja le a folyamatot, azaz $\alpha = 0$.

5. Sebességeloszlás alakulása

A ferde szállítószalagon állandósult sebességű anyagszállítás során a határrétegbeli anyagban a sebesség változását a (9) összefüggés adja meg.

A (9) képlet négy paramétert tartalmaz, melyek a következőek:

- U a szállítószalag szállító sebessége, amelyet állandó értéknek tekintünk a folyamatos szállítás során. Futószalagok szállítási sebességére léteznek ajánlások, melyekben a sebesség függ a szállított anyag tulajdonságaitól (szemcseméret, sűrűség stb.), a heveder szélességétől és a szállítás irányától, azaz lejtőn, emelkedőn vagy vízszintesen történik a szállítás.
- α a szállítószalag vízszintessel bezárt szöge, mely jellemzi a szállítás irányát, ha $\alpha = 0$, akkor vízszintesen szállítunk, ha $\alpha > 0$, akkor lejtőn vagy emelkedőn történik a szállítás. A szög nagysága nagyban függ a szállított anyag tulajdonságaitól, a gyakorlatban általában 0-20° között változik.
- γ a nemnewtoni folyadékként modellezett ömlesztett anyagok egy fontos jellemzője. Ez a paraméter függhet az anyagra nehezedő nyomástól, az anyag sűrűségétől és a hőmérséklettől is [5], [8]. A vizsgálataink során γ értékét konstansnak tekintettük.
- n a hatványmodell kitevőjében szereplő paraméter, mely szintén a szállított anyagtól függően különböző értékeket vesz föl [5], [8].

Modellünkben feltesszük, hogy a szállítás állandó hőmérsékleten és állandó nyomáson történik, így a γ és n értéke csak az anyag fajtájától fog függeni.

5.1. Agyagmassza

Feltesszük, hogy 1m széles gumihevederen szállítunk agyagmasszát, így az $U = 2.5\,m/s$ szállítási sebességgel, $h = 5\,mm$ határréteg magassággal és $\rho = 1070 kg/m^3$ sűrűséggel számolunk. Ezen rögzített paraméterek mellett vizsgáljuk, hogy az α, γ és n paraméterek változása a sebességeloszlásban milyen változást idéz elő a határrétegben. Számításaink során a [2], [8] dolgozatokban megadott paraméter értékeket alkalmazzuk agyagmassza esetén.

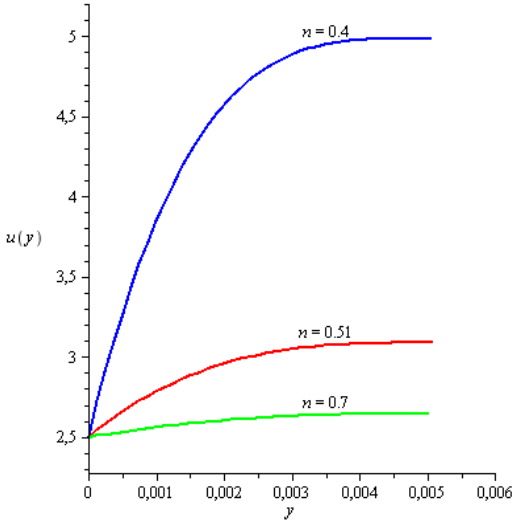
A vizsgált három paraméterből kettőt rögzítve, a harmadikat változtatva megvizsgáljuk az egyes paraméterek hatását a sebességeloszlásra.

Először az n hatványkitevő hatását tekintjük, amikor $\alpha = 15^\circ$ és $\gamma = 0{,}7\,Pa \cdot s^{-n}$.

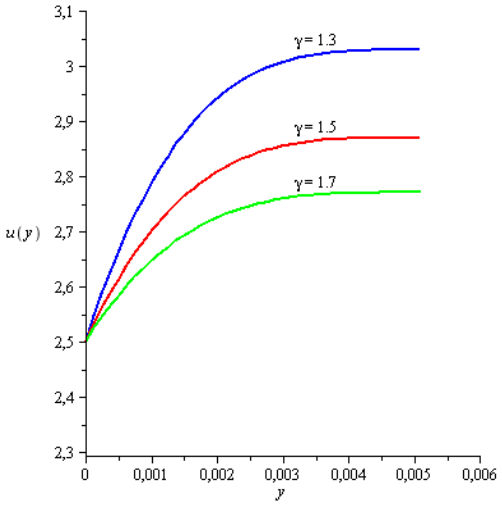
Az 1. ábrából egyértelműen leolvasható, hogy n értékének növelése a határrétegben bekövetkező sebességeloszlás maximumának csökkenéséhez vezet.

Következő vizsgált paraméter γ, az $\alpha = 15^\circ$ és $n = 0{,}4$ értékek rögzítettek.

Azt tapasztaltuk (lásd 2. ábra), hogy a γ paraméter értékének növelésével a sebességeloszlás maximum értéke csökken, de hatása kevésbé jelentős, mint az n paraméteré.

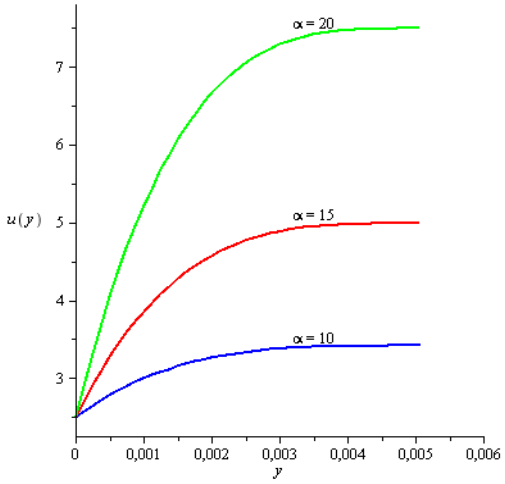


1. ábra.
Az n *hatványkitevő hatása*



2. ábra.
A γ *paraméter hatása*

Végül az α paraméter hatását vizsgáltuk meg, amikor $n = 0{,}4$ és $\gamma = 0{,}7\,Pa \cdot s^{-n}$. A szállítószalag ferdeségének szögét változtatva, azt tapasztaltuk, hogy a határrétegben a sebességeloszlás maximuma nő, ha az α értékét növeljük, azaz meredekebb lejtőn szállítunk. Tehát összegezve a tapasztalatainkat, az α paraméter hatása az előző két paraméter, azaz n és γ hatásának az ellentettje.



3. ábra.
Az α paraméter hatása

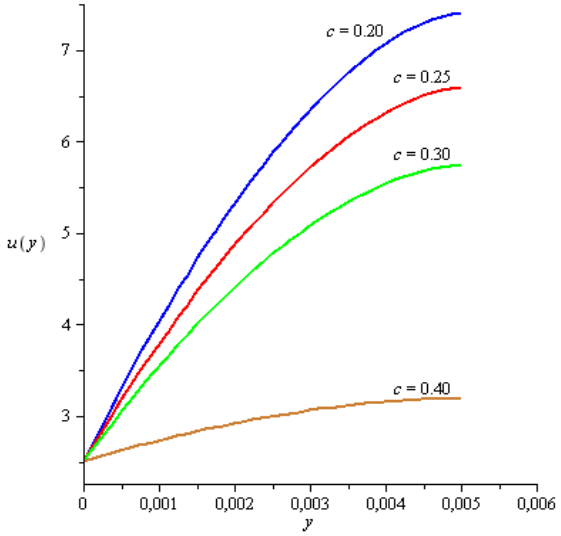
5.2. Homok zagy

A vizsgálatainkat az előző pontbeli feltételekkel folytatjuk, de γ és n paraméterekre a [5] dolgozatban ismertetett értékeket alkalmazzuk 25%-40% térfogat koncentráció esetén (lásd 1. táblázat).

1. táblázat. *Paraméter értékek különböző koncentrációk esetén*

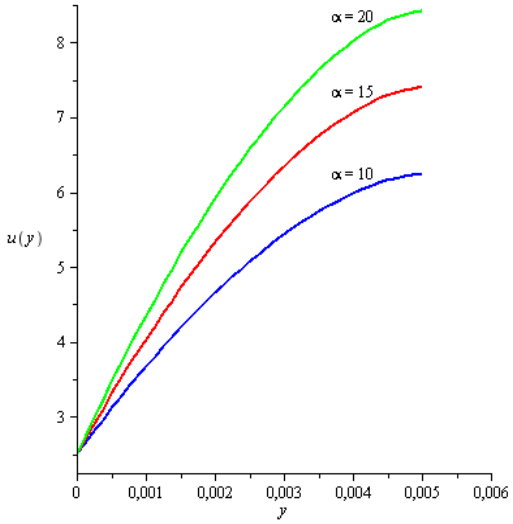
Víz-homok keverék térfogat koncentrációja c	γ	n	ρ [kg/m^3]
20 %	0.000313	1.475	1340
25 %	0.000538	1.444	1425
30 %	0.001388	1.360	1510
40 %	0.026902	1.211	1680

Először a c térfogat koncentráció hatását vizsgáljuk a víz-homok keverék esetén.



4.ábra

A sebesség eloszlás különböző koncentrációk esetén



5. ábra

Az α lejtőszög hatása a sebesség eloszlásra 20% térfogat koncentráció esetén

A numerikusszámításokat itt is a MAPLE 12 program csomaggal végeztük. A sebesség eloszlásokat a 4-5. ábrák szemléltetik. A számítások alapján a sebesség maximuma nagyobb koncentráció esetén csökken. Az α lejtőszög hatását elemezve az 5. ábra alapján megállapítható, hogy a sebesség maximuma nagyobb szög estén megnő.

6. Köszönetnyilvánítás

A bemutatott kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. Felhasznált irodalom

[1] Ancey, C., *Flow down inclined channel as a discriminating experiment*, Research Riport 2003.
[2] Benedetto, D., Caglioti, E., and Pulvirenti, M., *A kinetic equation for granular media*, RAIRO Modél. Math. Anal. Numér. 31, 5(1997), 615-641. Erratum in M2AN Math. Model. Numer. Anal. 33, 2 (1999), 439-441.
[3] Benedetto, D., and Pulvirenti, M., *On the one-domensional Boltzman equation for granular flows*, Phys. Fluids 16, 12 (2004), 4235-4247.
[4] Bobylev, A. V., Cercignani, C. and Toscani, G., *Proof of an asymptotic property of self-similar solutions of the Boltzman equation for granular materials*, J. Statist. Phys. 111, 1-2 (2003), 403-417.
[5] Bognár, G., Hriczó K., Gombkötő I.: Non-Newtonian fluid flow down an inclined plane, Proc. of the 9th ASME/WSEAS International Conference on Fluid Mechanics & Aerodynamics, Florence Italy August 23-25, 2011.
[6] Cercignani, C., *Shear flow of a granular material*, J. Statist. Phys. 102, 5-6 (2001), 1407-1415.
[7] Haff, P., *Grain flow as a fluid-mechanical phenomenon*, J. Fluid. Mech. 134 (1983), 401-430.
[8] Jiao, D., Sharma M. M., *Investigation of Dynamic Mud Cake Formation: The Concept of Minimum Overbalance Pressure*, SPE 26323, Proceedings of the SPE 68th Annual Technical Conference & Exhibition, Houston, TX, October 3-6, 1993.
[9] Li, H., and Toscani, G., *Long-time asymptotics of kinetic models of granular flows*, Arch. Ration. Mech. Anal. 172, 3 (2004), 407-428.
[10] Toscani, G., *Kinetic and hydrodynamic models of nearly elastic granular flows*, Monatsh. Math. 142, 1-2 (2004), 179-192.
[11] Villani, C., *Topics in optimal transportation*, vol. 58 of Graduate Studies in Mathematics, American Mathematical Society, Providence, RI, 2003.
[12] Villani, C., *Mathematics of granular materials*, J. Statist. Phys. 124 (2006), 781-822.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 119-126.

ÚJ FÁZISOK KIALAKULÁSA GRAFITTAL ADALÉKOLT Si_3N_4 KERÁMIA KOMPOZITOKBAN

Koncsik Zsuzsanna[1], Marosné Berkes Mária[2], Kuzsella László[3]
[1, 3]*egyetemi tanársegéd,* [2]*egyetemi docens*
[1,2,3]*ME, Mechanikai Technológiai Tanszék 3515, Miskolc-Egyetemváros*
[1]*metkzs@uni-miskolc.hu*, [2]*maria.maros@uni-miskolc.hu*, [3]*femkuzsy@uni-miskolc.hu*

Összefoglalás

A műszaki kerámiák területén napjainkban a makroméretű anyagok tökéletesítése leghatékonyabban másodlagos fázis adalékolásával, kompozitok készítésével érhető el. Si_3N_4 kerámiák esetében leggyakrabban SiC erősítő fázist alkalmaznak a mechanikai tulajdonságok javítása érdekében, különösen nagy hőmérsékletű tribológiai alkalmazások esetében. Jelen kutatómunka Si_3N_4 kerámia mátrixhoz adalékolt grafit másodlagos fázist tartalmazó kerámia kompozit anyagszerkezeti vizsgálataival foglalkozik. A kutatómunka fő célja a gyártási eljárás során végbemenő kémiai reakciók elemzése, különös tekintettel az in-situ SiC fázis – illetve esetlegesen keletkező új komplex fázisok – képződésére.

Kulcsszavak: *Si_3N_4, kompozit, fáziselemzés, fázisátalakulás, C- adalék, grafit.*

Abstract

Nowadays the development of structural ceramics will carried out using secondary phases, making composites. In case of Si_3N_4 ceramics the most often used secondary phase is the SiC for improving mechanical behaviour, especially for high-temperature tribological applications. In this publication the material structure of C added Si_3N_4 ceramic composite will be discussed. The main goal of the research work is to analyse the chemical reactions during processing, focusing on new in-situ forming SiC and other phases.

Keywords: *Si_3N_4, composite, phase analysis, phase transformation, C-addition, graphite.*

1. Bevezetés, célkitűzés

A szilícium-nitrid alapú kerámiák tulajdonságainak vizsgálata napjainkban igen intenzíven kutatott terület. A kutatások fő célja a kerámiák és a kerámia kompozitok gyártása során lejátszódó folyamatok megértése, hiszen a keletkező fázisok minősége nagymértékben meghatározza az anyag tulajdonságait, teljesítőképességét. A gyártók legfőbb célja egy kémiailag és termodinamikailag stabil keramikus anyag gyártása, amely megfelelő mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, ezeket a tulajdonságokat hosszú időn keresztül, és nagy hőmérsékleten is megőrzi.

Számos publikáció számol be a Si_3N_4/SiC kerámia kompozitok kiváló mechanikai tulajdonságairól, amelyeket széles, szobahőmérséklettől 1400 °C-ig

terjedő hőmérsékleti tartományban kihasználhatunk. Ez a kompozit nemcsak kiváló mechanikai tulajdonságait őrzi meg nagy hőmérsékleten is, hanem a második fázis hatására javul a repedésterjedéssel szembeni ellenállása, vagyis a törési szívóssága is. A Si_3N_4/SiC kerámia kompozitok hátránya azonban, hogy előállításuk nagyon drága a hozzáadott SiC második fázis miatt. Ennek kiküszöbölése érdekében kísérletek folynak a kompozit költséghatékonyabb előállítására grafit második fázis egyszerű hozzáadásával. Az adalékolt grafit fázis azonban eredeti állapotában gyengítené az alapanyag mechanikai tulajdonságait. Az adalékolás célja, hogy a grafitból a szinterelés során in situ módon jóval ellenállóbb fázisok – pl. SiC – keletkezzenek.

Jelen publikáció fő célja a kompozitban várhatóan keletkező és ténylegesen kialakult fázisok feltérképezése, jelenlétük bizonyítása.

2. A Si_3N_4 kerámiák és kerámia kompozitok gyártási sajátosságai

A Si_3N_4 mesterségesen előállított műszaki kerámia, amelyben a kémiai kötések nagy része, kb. 70%-a kovalens kötés. Mechanikai tulajdonságait tekintve kitűnik mind szobahőmérsékleten, mind nagy hőmérsékleten mutatott kedvező mechanikai tulajdonságaival (nagy szilárdság és ezzel egyidejűleg jelentős törési szívósság), továbbá különlegesen nagy elektromos átütési szilárdságával, oxidációval szembeni ellenálló képességével és kedvező tribológiai viselkedésével [1].

A Si_3N_4 alapvetően két módosulatban létezik egy metastabilis α- és egy nagy hőmérsékleten is stabilis β-módosulatban. Mindkét módosulat hexagonális kristályszerkezetű, azonban különböznek az egymásra épülő Si_3N_4 tetraéder rétegek szimmetriája tekintetében. Míg a β-módosulatban ABAB elrendeződés szerint alakulnak a rétegek, addig az α-módosulat esetében ABCD rétegződést mutatnak [2].

Ezen elrendeződésnek köszönhetően a β-módosulatban, a *z*-tengely mentén összefüggő csatornák tudnak kialakulni, míg az α-módosulatban csak egyedi üres rácshelyek jelentkeznek. Ez az oka annak, hogy a β-Si_3N_4 diffúziós tényezője nagyságrendekkel nagyobb, mint az α-Si_3N_4 módosulaté (1450 °C-on az α- módosulat diffúziós tényezője 10^{-19} $cm^{-2}s^{-1}$; a β-módosulat diffúziós tényezője 10^{-15} $cm^{-2}s^{-1}$) [1].

A Si_3N_4 kerámiák gyártása – mint általában a kristályos kerámiáké – öt fő lépésből áll: alapanyaggyártás, a nyerskeverék előkészítése, formázása, szinterelés és utómegmunkálási műveletek [3].

Az alapanyag, vagyis a Si_3N_4 előállítása több módon lehetséges [1],[3]:

1. Fém szilícium közvetlen nitridálása

   $3Si + 2N_2 \rightarrow Si_3N_4$ (1250-1500°C) (1)

2. Karbotermikus nitridálás

   $3SiO_2 + 6C + 2N_2 \rightarrow Si_3N_4 + 6CO$ (2)

3. Szintézis termikus plazmában

$$3SiCl_4 + 4NH_3 \rightarrow Si_3N_4 + 12HCl \qquad (1400\text{-}1500°C) \qquad (3)$$

4. Szilícium-imid bontásával

$$SiCl_4 + 6\ NH_3 \rightarrow Si(NH)_2 + 4\ NH_4Cl \quad (90\text{-}100°C) \qquad (4)$$

$$3Si(NH)_2 \rightarrow Si_3N_4 + 2\ NH_3 \quad (950\text{-}1000°C) \qquad (5)$$

A kiinduló porkeverékkel szemben számos követelményt támasztanak: ne tartalmazzon inhomogenitásokat, stabil fázis legyen, összetétele feleljen meg a sztöchiometrikus összetételnek, a por finom méretű legyen és lehetőleg minél inkább gömb formájú [1].

A nyerskeverék elkészítése során a por alapanyaghoz hozzákevernek még szinterelési adalékot is, amely Si_3N_4 alapmátrix esetén lehet pl. Y_2O_3, MgO, $BeSiN_2$, B, Al_2O_3, Al. A szinterelési adalék feladata elsősorban a szinterelési folyamat meggyorsítása, illetve a szemcsenövekedés szabályozása, vagyis annak megakadályozása, hogy óriási méretű szemcsék keletkezzenek. A szinterelési adalékok önálló fázist képeznek a szemcsehatárokon, illetve az üres kristálytani rácshelyeken, és ott többnyire olvadék állapotban biztosítják a folyadékfázisú diffúziót, a szinterelés sebességének növekedését. Ezek a fázisok természetesen kémiai reakcióba is léphetnek az alapanyaggal, vagy kompozitok esetében a második fázissal is. Ha kompozitot készítünk, a nyerskeverék elkészítésekor a kompozit második fázisát is homogén módon hozzákeverjük a kiindulási porkeverékhez.

A különálló porszemcsék általában sem a keverés, sem a formázás során nem lépnek egymással kémiai reakcióba. A kémiai kötések kialakulása a nagy hőmérsékleten, nagy nyomással végzett szinterelés során következik be, amikor a különálló porszemcsék atomjai diffúzió útján átrendeződnek, a porozitás csökken, az anyag sűrűsödik, illetve nő a szemcseméret. Mindegyik folyamat hajtóereje a por részecskék szabad felületi energiájának csökkentése. A porrendszer szabad felületének mennyisége, ezáltal felületi energiája nagyobb, mint egy tömör test szemcséinek határfelületi energiája. A szinterelési adalék – típusától függően – a szemcsék határán amorf, vagy kristályos fázist alkot [4].

Az utómegmunkálás általában a fölösleges anyagrészek eltávolítását jelenti, így ennek során kémiai átalakulás, illetve új fázis kialakulása már nem várható.

3. Kísérleti munka

3.1. A vizsgálati mintadarabok bemutatása

A kísérleti anyagokat a pozsonyi Szlovák Tudományos Akadémia Szervetlen Kémiai Intézete gyártotta. A gyártáshoz E10 osztályú Si_3N_4 port használtak, Y_2O_3 szinterelési adalékkal. A kiinduló porkeverék pontos kémiai összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

***1. táblázat**. A próbatestek kémiai összetétele és sűrűsége*

Próbatest	Si_3N_4* [tf%]	Y_2O_3 [tf%]	Grafit		Sűrűség [g/cm^3]
			Tartalom [tf%]	Szemcseméret [µm]	
G1	93,1	4,9	2	< 25	3,246
G2	90,3	4,7	5	< 25	3,239
G3	85,5	4,5	10	< 25	2,494
G4	85,5	4,5	10	< 71	2,822
G5	85,5	4,5	10	<125	3,141
G6	85,5	4,5	10	> 125	3,090

* UBE Industries, Ltd., Japan, SN-E10

Az alapanyagokat 1750 °C-on melegen sajtolták karbon formába 30 MPa nyomással és 0,2 bar nitrogén túlnyomással [5]. A tárcsa alakú próbatestek geometriai méretei a következők voltak: D = 47 mm átmérő, h = 3 mm magasság.

***1. ábra**. A vizsgált próbatestek szemközti homlokfelületei*

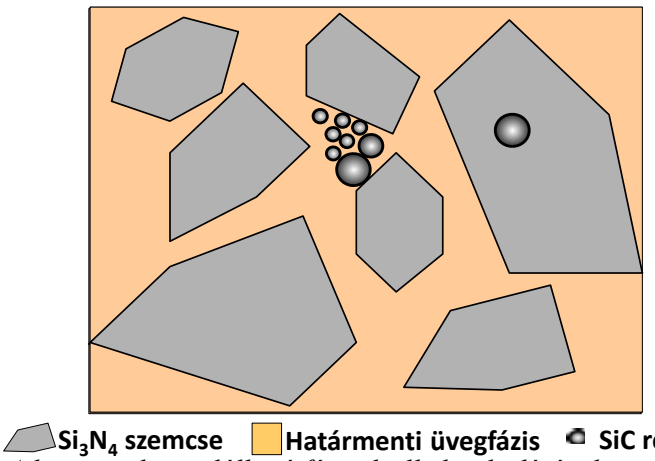
A szinterelést követően néhány próbatest mind az átmérő mind a próbatest vastagsága mentén sötétebb színű tartományokat tartalmazott (lásd 1. ábra). Ennek oka, hogy a grafitpor egyenletes elkeverése a kiinduló Si_3N_4 por alapanyagban a grafit hidrofób tulajdonságai miatt nehézkes. A G2, G4, G5 mintákon lévő fekete foltok a szinterelés során reakcióba nem lépett grafit agglomerátumok.

3.2. Az alapanyag és az adalékok közötti lehetséges kémiai reakciók

A várt SiC fázis a Si_3N_4, Y_2O_3, és C alapanyagokból kétféle módon képződhet. Az egyik lehetőség, hogy az alapanyag és a karbon (6) egyenlet szerinti reakciója megy végbe, ekkor a 2. ábra szerinti intragranuláris SiC szemcsék keletkeznek. A másik lehetőség, hogy a szemcsehatáron elhelyezkedő szinterelési adalék és a karbon (7) egyenlet szerinti reakciója révén intergranuláris SiC szemcsék keletkeznek [6]:

$$Si_3N_4 + 3C \rightarrow 3SiC + 2N_2, \quad (6)$$

$$SiO_2 + 3C \rightarrow SiC + 2CO. \quad (7)$$



***2. ábra**. A kompozitban található fázisok elhelyezkedésének sematikus vázlata [7]*

Bár SiO_2 fázist nem adagoltunk a kiindulási porkeverékhez az aprított Si_3N_4 porszemcsék határán mindig találunk SiO_2 fázist is [7], ami – mivel a porszemcsék felülete nagy – elegendő mennyiségű lehet nanoméretű SiC szemcsék keletkezéséhez. Ebben az esetben a keletkező, pórusokba bezáródó CO gáz megakadályozhatja a kompozit tömörödését, illetve repedéseket is okozhat, ha a pórusban fellépő nyomás meghaladja az anyag szilárdságát. A szinterelési adalékként adagolt Y_2O_3 nem lép reakcióba a karbonnal. Reakcióba léphet viszont a SiO_2-dal, így egy komplexebb üvegfázis keletkezik a szemcsék határfelületén ami a (8) egyenlet reakciója szerint a SiO_2 tartalom függvényében kétféle is lehet:

$$Y_2O_3 + SiO_2 \rightarrow Y_2SiO_5 \text{ vagy } Y_2Si_2O_7 \quad (8)$$

Ezen túlmenően a SiO, vagy SiO_2 további reakciók során – a (9), (10) egyenletek szerint – újabb komplex fázisok létrehozásában játszhat szerepet, amelyek további reakciókat indukálhatnak [8], [9]:

$$2SiO + CO + N_2 \rightarrow Si_2N_2O + CO_2 \quad (9)$$

$$2SiO_2 + 3C + N_2 \rightarrow Si_2N_2O + 3CO \quad (10)$$

A keletkező új fázisok további reakciók révén újabb fázisokat hozhatnak létre [7], [8]:

$$3Si_2N_2O \rightarrow Si_3N_4 + 3SiO + N_2 \quad (11)$$

$$SiC + 2SiO_2 \rightarrow 3SiO + CO \quad (12)$$

$$2SiC + SiO_2 + 2N \rightarrow Si_3N_4 + 2CO \quad (13)$$

$$SiC + 2Y_2O_3 \rightarrow 4YO + SiO \quad (14)$$

$$SiC + Y_2O_3 \rightarrow Y_2O + SiO + CO \quad (15)$$

$$6SiC + 3Y_2O_3 + 4N_2 \rightarrow 3Y_2O + 2Si_3N_4 + 6CO \quad (16)$$

A (11-16) reakciók általában csak olvadék fázisban játszódhatnak le, így nagyon rövid idő áll rendelkezésre a bemutatott újabb fázisok kialakulására, továbbá a reakciók végbemenetele a szinterelési adalék fogyásával jár.

3.3. A keletkezett új fázisok elemzése

A különböző mennyiségű és különböző szemcseméretű második fázist tartalmazó mintákról *röntgendiffrakciós vizsgálat*tal elemzéseket készítettünk a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának Fémtani Intézetében.

A röntgendiffrakciós eredmények azt bizonyítják, hogy mind a 6 különböző összetételű kompozitban egyrészt megtalálhatók a kiinduláskor összekevert fázisok, a Si_3N_4, az Y_2O_3, és a grafit, másrészt minden összetétel esetén keletkeztek újabb fázisok: a várakozásnak megfelelően SiC, és egy komplex, SiCN fázis. A különböző minták esetében a sugárzás intenzitásában, így feltételezhetően a fázisok mennyiségében is adódtak különbségek.

A fázisok azonosítása után célunk volt a keletkezett új fázisok pontos helyének lokalizálása. A fázisok helyének feltérképezésére két vizsgálatot alkalmaztunk, a pásztázó elektronmikroszkóppal végzett EDX vizsgálatokat, illetve a kis terhelőerővel végzett műszerezett keménységméréseket.

A *pásztázó elektronmikroszkópi vizsgálatok*at a Szlovák Tudományos Akadémia kassai Anyagvizsgáló Intézetének Műszaki Kerámiák Osztályán, JEOL JSM 7000F típusú pásztázó elektronmikroszkóp segítségével végeztük el. Szonda üzemmódban bár fázisokat nem, de elemeket tudunk azonosítani egy-egy pontban, vagy területen, ebből következtethetünk az adott helyen jelen lévő fázisok minőségére.

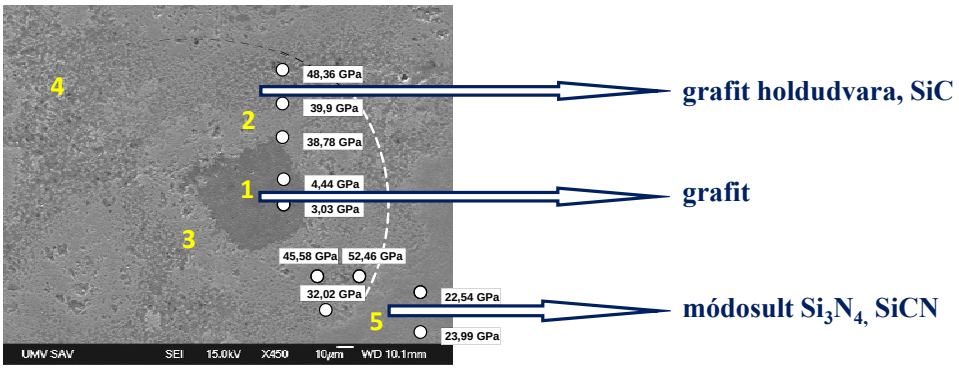
Vizsgálataink során azt tapasztaltuk, hogy a nagyobb kiterjedésű, reakcióba nem lépett grafit agglomerátumokat tartalmazó területek körül megváltozott a kompozit összetétele, illetve a grafit mezőtől távolabb tapasztalhatjuk az alapmátrixra jellemző összetételt. Egy vizsgálati eredményt illusztrál a 3. ábra, illetve a 2. táblázat. Az elemanalízis alapján megállapítható, hogy a grafit agglomerátum közvetlen közelében, illetve a módosult morfológiájú holdudvarban (sárga színnel jelölt 2, 3 és 4 tartományok) a Si és a C elemek mennyisége jelentős. Így a SiC fázis a grafit agglomerátum közvetlen közelében alakulhatott ki, míg a grafit mezőtől távolabbi területeken (5. tartomány) a módosult Si_3N_4 fázis, illetve SiCN kialakulására volt lehetőség.

A fázisok grafit agglomerátum körüli lokális elhelyezkedését kis terhelőerővel végzett *műszerezett keménységmérés*sel is igazolni tudtuk. Az Eötvös Lóránt Tudományegyetem Anyagfizikai Tanszékén található DUH-202, SHIMADZU No.: 32099641 típusú keménység-mérő berendezés segítségével műszerezett keménységvizsgálatot végeztünk.

A mérés paraméterei:

- alkalmazott terhelőerő: F = 1000 mN,
- alkalmazott sebesség: v = 70 mN/s.

A mérések során az EDX vizsgálatokhoz hasonlóan a grafitdúsulásokat tartalmazó mintákat vizsgáltuk a grafit mező, illetve a grafit közeli holdudvar, valamint a grafittól távoli alapmátrix keménységének vizsgálatával, ld. 3. ábra.



3. ábra. *A G5 minta egy reakcióba nem lépett grafit agglomerátuma és a környező terület 2. táblázat szerinti EDX elemzésének tartományai; illetve a műszerezett keménységmérés eredményei*

2. táblázat. *A grafit agglomerátum körüli pontok elemanalízise*

Tartomány	A vizsgált elem mennyisége, tömeg%				
	Si	N	O	C	Y
1. tartomány	0,76	-	3,36	95,89	-
2. tartomány	42,61	-	1,99	55,40	-
3. tartomány	44,23	-	2,11	53,66	-
4. tartomány	72,27	-	2,53	25,21	-
5. tartomány	40,58	21,09	2,17	27,45	8,71

A keménységmérés eredményei az EDX vizsgálatokkal összhangban 3 különböző fázis jelenlétét bizonyították. A legkisebb, azaz 3-4 GPa keménységet a grafit agglomerátum területén mértünk, a legnagyobb, 40-52 GPa keménységet pedig az annak holdudvarában keletkezett SiC fázisban, míg az alapmátrixhoz (14-19 GPa) képest növelt, 22-25GPa keménységű volt a vizsgált módosult Si_3N_4 - SiCN komplex fázisú mező.

4. Összegzés

Grafit második fázissal adalékolt Si_3N_4 kerámia kompozitokban a gyártási eljárás során in-situ módon keletkező fázisok feltérképezését végeztük el részben szakiro-

dalmi adatok, részben mechanikai és anyagszerkezeti vizsgálatok alapján. A kompozitot ténylegesen alkotó fázisok megállapítása XRD elemzéssel, a fázisok lokalizálása EDX vizsgálattal és műszerezett keménységméréssel történt.

A vizsgált kompozit kiinduló összetevői a Si_3N_4 (SiO_2), Y_2O_3, és grafit fázisok voltak. A keletkezett új fázisok a SiC és SiCN, a szinterelés után megmaradó fázisok pedig a Si_3N_4, Y_2O_3, és grafit voltak.

Az elméleti és gyakorlati vizsgálatok lehetőséget nyújtanak a továbbiakban a kompozit mechanikai tulajdonságainak és az anyagszerkezet, valamint a keletkezett fázisok minősége közötti kapcsolat vizsgálatára, ezen túlmenően a kompozit tulajdonságainak specifikálására, amelyek alapadatként szolgálhatnak a tervezési adatbázisok, a gyártók és a felhasználók részére.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország fejlesztési terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

6. Felhasznált irodalom

[1] Helbig, J., Schönholzer, U.: *Grundzüge der Keramik, Skript zur Vorlesung Ingenieurkeramik I*. ETH Zürich, 2001.
[2] Riley, F.L.: *Silicon Nitride and Related Materials*, J.Am.Cer.Soc. 83 [2], 2000.
[3] Szépvölgyi, J., *Korszerű műszaki kerámiák*, http://www.chemres.hu/aki
[4] L.J. Gauckler: *Ingenieurker. I. II*. ETH-Zürich, Nichtmetall. Werkst., 2000.
[5] M. Kašiarová, E. Rudnayová, J. Dusza, M. Hnatko, P. Šajgalík, A. Merstallinger, L. Kuzsella: *Some tribological properties of a carbon-derived Si_3N_4/SiC nanocomposite,* J. Eu. Cer. Soc., 24 (2004) 3431-3435
[6] Hnatko, M., Galusek, D., Šajgalík, P., *Low-cost preparation of Si_3N_4-SiC micro/nano composites by in-situ carbothermal reduction of silica in silicon nitride matrix,* J. Eu. Cer. Soc. 24 (2004) 189-195.
[7] Zhou, R., Feng, Z., Liang, Y., Zheng, F., Xian, Q., *Reacions between SiC and sintering aids in Si_3N_4/SiC nanocomposites and their consequences*, Ceramic International 27 (2001) 571-576
[8] Shan, S. Y., Yang, J. F., Lu, Y., Gao, J. Q., Niihara, K., *Effects of carbon source on microstructural evolution and sintering behavior of porous silicon nitride ceramics,* Scripta Materialia 56 (2007) 193-196.
[9] Hnatko, M., Šajgalík, P., Lenčés, Z., Salamon, D., Monteverde, F., *Carbon reduction in the Y_2O_3-SiO_2 glass system at high temperature,* Journal of the European Ceramic Society 21 (2001) 2797-2801

CSATORNACSŐ ANYAGOK HIDEGTŰRŐ KÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

Ráthy Istvánné, főiskolai docens [1]
Fórián Sándor, adjunktus [2]
Tompa Krisztián, vegyészmérnök [3]
Kéki Sándor, egyetemi tanár, tanszékvezető [3]

[1] Debreceni Egyetem Gépészmérnöki Tanszék
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4. tel: +36-52-415-155/77719
e-mail: rathyne@eng.unideb.hu; honlap: www.eng.unideb.hu
[2] Debreceni Egyetem Környezet-és Vegyészmérnöki Tanszék
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4. tel: +36-52-415-155/77781
e-mail: forian@eng.unideb.hu; honlap: www.eng.unideb.hu
[3] Debreceni Egyetem Alkalmazott Kémiai Tanszék
4010 Debrecen, Egyetem tér 1. tel: +36-52-512-900/22480
e-mail: keki@tigris.unideb.hu; honlap: www.chem.science.unideb.hu

Összefoglalás

A csatornacsöveket Magyarországon ma már környezetbarát módon kemény PVC-ből állítják elő, de problémát jelent, hogy a téli hónapokban a hidegtűrő képessége alacsony, és gyakoriak a csőrepedések. Kompozitokat állítottunk elő oly módon, hogy kemény PVC anyagba ágyaztunk rövid szénszálakat gyúrókamrában begyúrva. Próbatesteket állítottunk elő különböző szénszál tartalommal, melyeket különböző hőmérsékletre lehűtve mértük az ütési energia nagyságát. Azt tapasztaltuk, hogy már kis szénszál tartalom növelésével is jelentősen nő a műanyag ütési igénybevétellel szembeni ellenállása, valamint a ≈2 % szénszál bevitele jól javítja a hideg-ütésállóságot.

Kulcsszavak: *poli(vinil-klorid), szénszál, ütőmunka vizsgálat, hidegtűrő-képesség*

Abstract

The spouts already are manufactured from hard PVC on environment- friendly in Hungary today. There is a problem, that the could resistance is too lower, that is the reason the pipes break very often in the wintertime Preparation and characterization of novel rigid poly(vinyl-chloride)[PVC] - short carbon fiber[CF] composites are reported. Specimens were produced by different carbon fiber content. They were cooled at different temperatures, and we measured the amount of impact energy. We found that low carbon fiber content also significantly increases the impact resistance of plastic. 2% carbon fiber intake improves the cold-shock resistance well.

Keywords*: poly(vinyl-chloride), carbon fiber, composite, cold-shock resistance*

1. Bevezetés

A kemény PVC alapanyagú csatornacsövek alacsony hidegtűrő-képessége megnehezíti a különböző szennyvíz elvezetési technológiák kiépítését és üzemeltetését 0 ^{0}C alatti hőmérsékleten.
Mivel a Debreceni Egyetem Alkalmazott Kémiai Tanszékén több éve folynak kutatások különféle műanyag alapú kompozit anyagok előállítása és mechanikai vizsgálata terén, adódott a lehetőség, hogy kísérleteket végezzünk, hogy hogyan lehet javítani a kemény PVC mechanikai tulajdonságait szénszálak beépítésével.

2. Kísérleti körülményeink

2.1. Felhasznált anyagok

Kemény PVC: Csőgyártáshoz használt kemény PVC, jele: KE-138, melyet a BorsodChem Zrt. biztosított számunkra. Általános jellemzője, a kis sűrűség 1,4 g/cm^3, könnyű megmunkálhatóság, nagy felületi simaság. A hőre lágyuló műanyagok molekulaszerkezetüknél fogva rossz hővezetők, tehát jó a hőszigetelő képességük. Az elektromos áramot nem vezetik, de hajlamosak az elektrosztatikus feltöltődésre.

Az egyes jellemzők értékét a vizsgálati próbatestek előállítási módja és alakja is jelentősen befolyásolhatja. Ezért az egyes tulajdonságok vizsgálati módszereit és a próbatestek készítését szabványok rögzítik.[1, 2]

Szénszál: Gyanta nélküli kezeletlen szénszál, jele: CF 48 K, melyet a ZOLTEK Rt. Hungary biztosított, pászmában tekercselve, amiben 48000 szál van, a szálak átlagos átmérője 7,4 μm, rugalmassági modulusa 39 GPa, sűrűsége 1,78 g/cm^3.

2.2. Alkalmazott berendezések

A vizsgálathoz szükséges próbatestek elkészítéséhez BRABENDER gyúrókamrát, MU-32 FONTYNE melegprést, laboratóriumi LHP-160 hidegprést alkalmaztunk, fűrésszel daraboltuk.

A próbatestek lehűtésére az INSTRON 4311 tipusú anyagvizsgáló gép termosztátját használtuk. Az ütővizsgálatot Izod-féle ütőművel végeztük. Az ütés során 2 kJ-os ütőfejet használtunk.

2.3. A kísérletek technikai kivitelezése és a vizsgálat menete

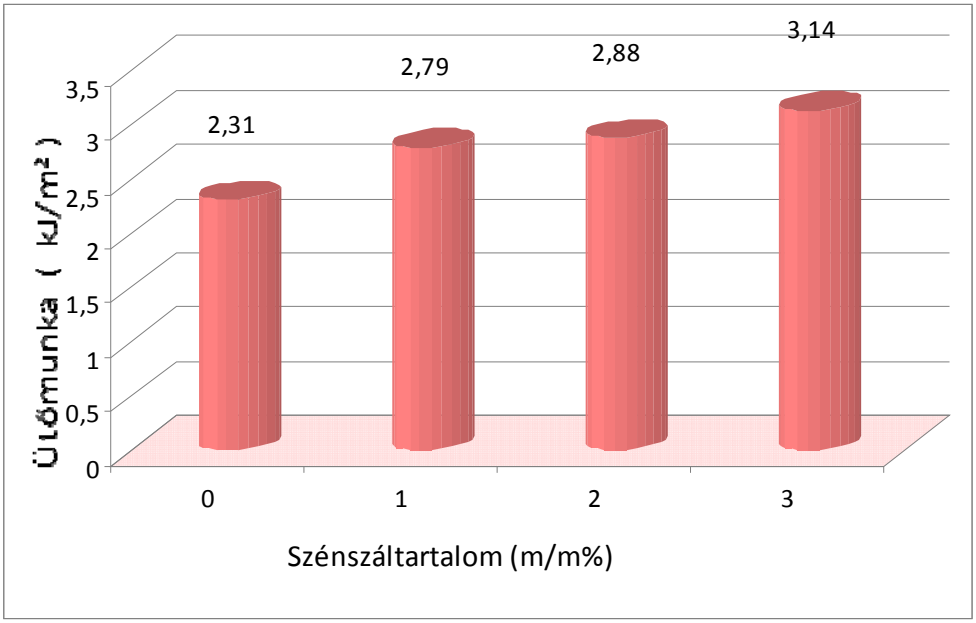
A kemény PVC granulátumot gyúrókamrában gyúrtuk 3 percig 210 ^{o}C-on, majd hozzáadtuk a vágott szénszálakat különböző mennyiségben 0 – 3 m/m % - ig, és együtt gyúrtuk még 3 percig.

A préselések során 50 kPa nyomást alkalmaztunk [3]. Majd a szabványos méretűre kivágott és bemetszett próbatesteket különböző hőmérsékletre hűtöttük, 0 °C-ra, -10 °C-ra, -20 °C-ra, és rövid időn belül (3-4 mp) elütöttük az Izod-féle ütőhajlító géppel. Szobahőmérsékletű, valamint +40 °C-ra melegített próbatestekkel is elvégeztük az ütőmunka vizsgálatot.

3. A vizsgálati eredmények és értékelésük

3.1. A különböző szénszálmennyiséggel erősített kemény PVC alapú kompozitok ütővizsgálati eredményei szobahőmérsékleten

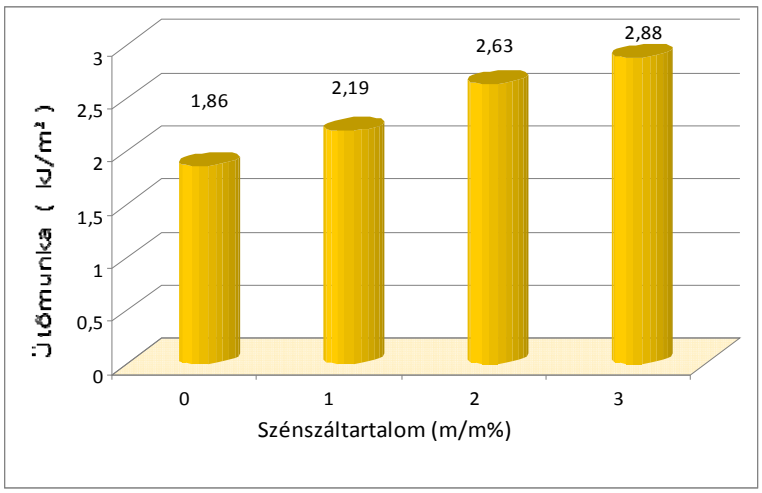
Az első vizsgálatsorozatban 5-5 próbatestet készítettünk 0%-os, 1%-os 2%-os és 3%-os szénszálmennyiséggel, és szoba hőmérsékleten ütöttük el azokat. Az ütőmunka értékeket az 1. ábra mutatja.



1. ábra: *Ütőmunka értékek szobahőmérsékleten*

A száltartalom növelése mindegyik esetben jelentősen növelte a műanyag ütés igénybevételével szembeni ellenállását. Az 1 % széntartalom esetén a növekedés 20, 7 %, a 3 %-os széntartalom pedig eléri a 35, 9 %-os növekedést a szénszál nélküli műanyag ütőmunka értékéhez viszonyítva.

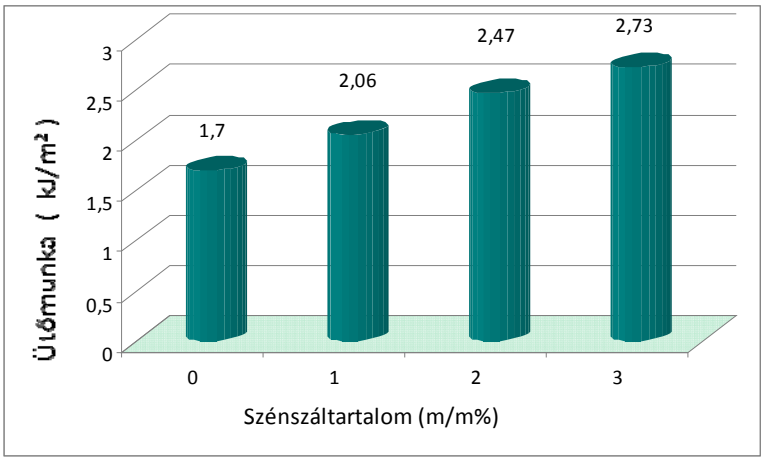
3.2. A különböző szénszálmennyiséggel erősített kemény PVC alapú kompozitok ütővizsgálati eredményei 0 °C-on



2. ábra: *Ütőmunka értékek 0 °C-on*

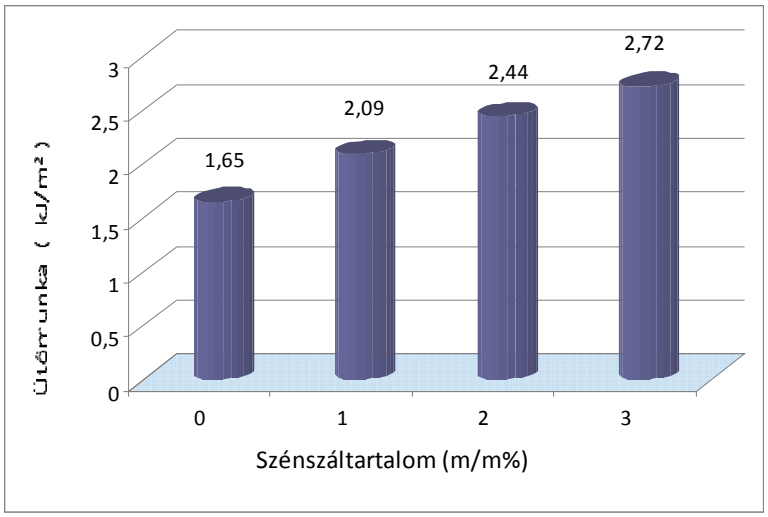
A diagramon jól látható, hogy a 0°C-on mért ütőmunka értékek a szénszál mennyiségek növelésével emelkedtek. Az is megfigyelhető, hogy a szobahőmérsékleten mért értékekhez képest alacsonyabbak az ütőmunkák értékei.

3.3. A különböző szénszálmennyiséggel erősített kemény PVC alapú kompozitok ütővizsgálati eredményei –10 °C-on és – 20 °C-on



3. ábra: *Ütőmunka értékek -10 °C-on*

Összehasonlítva a szobahőmérsékletű és a – 10 °C-os próbatestek ütőmunka értékeit (1. ábra és 3. ábra), azt tapasztaltuk, hogy a közel 2 % szénszál tartalmú -10 °C-os próbatest ütőmunka értéke hasonlóan akkora, mint a szobahőmérsékletű natúr műanyag ütőmunka értéke. Tehát a közel 2 tömeg százalékos szénszál bevitel az a mennyiség, ami eltolja balra az elridegedési hőmérsékletet, 0 °C-ról -10 °C-ra.



4. ábra: *Ütőmunka értékek -20 °C-on*

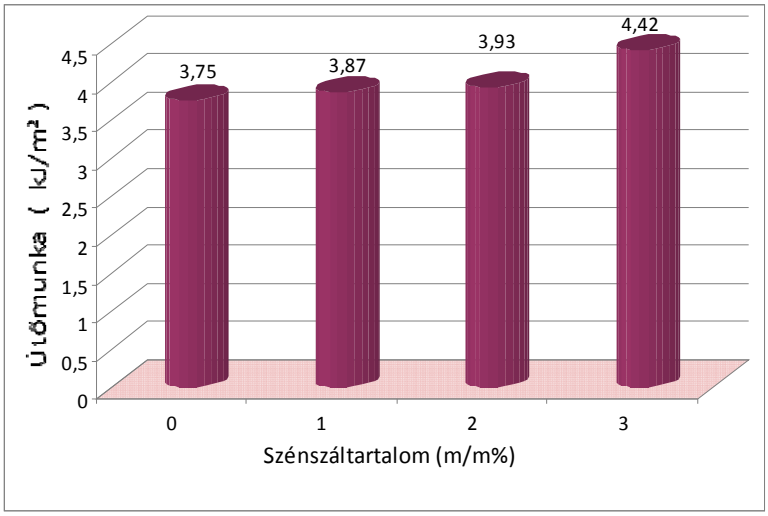
A -10 °C-on és -20 °C-on történt mérések (4.ábra) nagy különbözőségeket nem mutatnak ami várható volt az elméleti átmeneti hőmérsékleti diagram ismeretében.

3.4. A különböző szénszálmennyiséggel erősített kemény PVC alapú kompozitok ütővizsgálati eredményei +40 °C-on

Megvizsgáltuk a kompozitok viselkedését +40 °C-on is gondolván nyári meleg időszakra is.

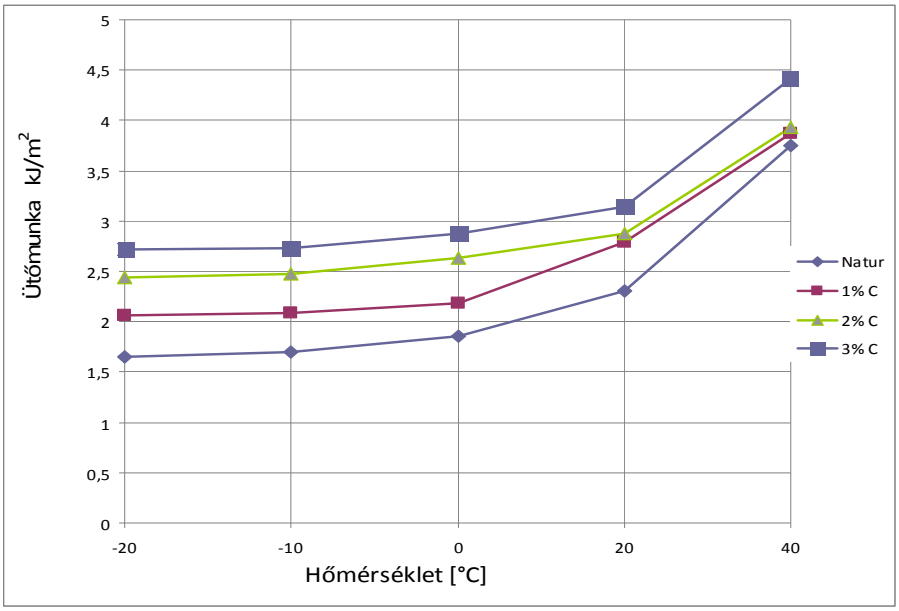
Az eredmények alapján a szívósság igazolódni látszik, tehát a felhasználást tekintve a kánikulai melegben, illetve a 30 °C-nál magasabb hőmérsékleten szállított szennyvíz esetében is alkalmazható a kemény PVC csatornacső anyag.

A mért eredmények az 5. ábrán láthatók.



5. ábra: *Ütőmunka értékek +40°C-on*

Összehasonlítva a vizsgálati eredményeket, és egy közös diagramban ábrázolva (6. ábra) látható, hogy a széntartalom növekedése minden vizsgálati hőmérsékleten emelte a kompozitok ütéssel szembeni ellenállását.
Az is leolvasható, hogy a közel 2 tömeg %-os szénszál mennyiségű kompozit ütőmunka értéke érte el a szobahőmérsékletű natúr PVC ütőmunka értékét.



6. ábra: *Ütőmunka értékek egyesített diagramja*

3.5. Optimális szénszál tartalom meghatározása számítással

A megfelelő szénszál mennyiség értékét interpolálással is kiszámítottuk. A natúr kemény PVC szobahőmérsékleten mért ütőmunka nagyságához viszonyítva az ideális százalékot a -20 ^{o}C-on végzett mérések eredményei alapján határoztuk meg.

$$b_{1\%} = 1\%$$
$$b_{2\%} = 2\%$$
$$\alpha_{uinatúr} = 2.31kJ/m^2$$
$$\alpha_{ui1\%} = 2.09kJ/m^2$$
$$\alpha_{ui2\%} = 2{,}44kJ/m^2$$
$$b_{i-20} = b_{1\%} + (\frac{b_{2\%} - b_{1\%}}{\alpha_{ui2\%} - \alpha_{ui1\%}}) \cdot (\alpha_{uinatúr} - \alpha_{ui1\%})$$
$$b_{i-20} = 1\% + (\frac{2\% - 1\%}{2.44kJ/m^2 - 2.09kJ/m^2}) \cdot (2.31kJ/m^2 - 2.09kJ/m^2)$$
$$b_{i-20} = 1.63\%$$

Ahol $b_{1\%}$, $b_{2\%}$ a szénszáltartalom, az $\alpha_{ui1\%}$, $\alpha_{ui2\%}$ az ütőmunka értéke.

A számítások alapján megállapítható, hogy 1,63%-os szénszál tartalommal -20 ^{o}C-on elérjük a natúr műanyag szobahőmérsékleten mért ütőmunka értékét. Azaz az 1,63 tömeg százalékos szénszál bevitel az a mennyiség, ami eltolja balra az elridegedési hőmérsékleti görbét 0 ^{o}C-ról -10 ^{o}C-ra.

4. Gazdaságossági és környezetvédelmi összegzés

A szénszál mennyiségének optimalizálására a termék viszonylag magas ára (min.16 EUR/kg) miatt van szükség. A csatornacsövek magyarországi piacán a kPVC alapanyagok ára 280 – 300 HUF/ kg között mozog. Ebből a legyártott cső, a legkisebb mérettől a legnagyobbig átlagosan 1800 Ft-tól egészen 170.000 Ft-ig terjed. Ezek figyelembe vételével a beépített szénszál különböző mértékben drágítja a PVC csöveket. Ha tovább elemezzük a csőtípusokat, arra is következtethetünk, hogy nem szükséges minden fajtába szálat beépíteni, hanem találni kell olyan mérettartományt, ahol a gyártási költségek gazdaságosak.

A költségelemzéseink alapján az optimális széntartalmat figyelembe véve ~1100 Ft árnövekedést okoz méterenként pl. a 110 mm-es névleges átmérőjű csövek esetén.[4]

A gazdaságossági szempontokon kívül nem elhanyagolhatóak a környezetvédelmi szempontok sem. Hiszen a nagy azbeszt tartalmú, környezeti elemekre és az emberekre is káros eternit csöveket cserélték és cserélik folyamatosan országszerte.

7.ábra: *Csatornacső fektetése*

Az sem mellékes, hogy a dilatációs mozgásokat sokkal jobban viselik a műanyag csövek a talajban, így kisebb a csövek elrepedéséből, töréséből származó elszivárgás, talajszennyezés.
A hagyományos csatornahálózat sok helyen tartalmaz még egyesített rendszerű csapadék- és szennyvízelvezetést. A mai gondolkodás szerint a csapadékvizet külön kell kezelni a szennyvíztől, mert nem szükséges, hogy a költséges szennyvíztisztítási technológián átvezessék. Ezért az ún. egyesített rendszerek szétválasztása zajlik napjainkban is (7. ábra). A földmunkák során az egyéb felszín alatti közművek helyzetének pontosítása, és esetleges hibáinak feltárása is megtörténhet. Nem utolsó sorban az eseti illegális csatorna rácsatlakozásokat is fel lehet térképezni.

Irodalomjegyzék

[1] EN ISO 3167: 2002 *Műanyagok* – Többcélú vizsgálati minták
[2] EN ISO 2818: 1994 *Műanyagok* - Próbatestek készítése
[3] EN ISO 291: 2005 *Műanyagok* - Standard hőmérsékletek kondicionáláshoz
[4] Tompa, K**.,** *Kemény PVC csatornacsövek hideg-ütésállóságának javítása szénszállal*. Szakdolgozat Debreceni Egyetem 2009

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 135-142.

ALAPANYAG-RANGSOROLÁS PROBLÉMÁK A BESZÁLLÍTÓI MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSBAN

Varga Tamás
PhD Hallgató
Debreceni Egyetem, Informatikai Tudományok Doktori Iskola
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4. tamas3.varga@gmail.com

Összefoglalás

Minden gyártó számára alapvető fontosságú a vevői elégedettség, a megfelelő termékminőség, melyet alapvetően az alapanyagok minősége határoz meg. A vállalatok sikere, a termékek minősége a beszállítóknál legyártott alapanyagokon múlik. Több tízezer alapanyag esetén egyszerre számos hibával szembesülhetünk, gyakran előfordul, hogy az ellenőrzés munkaigénye meghaladja a kapacitásokat. Ilyenkor fontossági sorrendet kell felállítani a vizsgálatra váró anyagok között, amely általában a minőségbiztosítási mérnökök feladata. Ez nehéz és összetett feladat, mivel nagyon sok tényezőt figyelembe kell venni a döntéskor, például a nyitott megrendelések értékét, az érintett termékek stratégia szerepét, az ellenőrzés idő és erőforrás igényét, bonyolultságát, beszállítói hátteret, a problémás anyag gyártási idejét. A cikk célja, megvizsgálni ezt a problémát és a lehetséges megoldást.

Kulcsszavak: *idegenáru ellenőrzés, analitikus hierarchia eljárás, AHP*

Abstract

Customer satisfaction has key importance in every company and product quality plays essential role in it. Product quality is basically influenced by quality of row materials so it is influenced by suppliers. We have to face with several problematic parts in case of ten thousands row materials. This often causes shortages in capacity. In these situations we cannot inspect everything in the same time, that is why we have to set up a priority order. This is the responsibility of quality engineers. It is a hard and complicated task because the engineers have to consider many factors like the value of the open orders, strategic role of the affected products, capacity demand, complication of the parts, supplier background, lead time and many other facts. The aim of this paper is to examine this problem and find a possible solution.

Keywords: *incoming inspection, Analytic Hierarchy Process, AHP*

1. Bevezetés

Az ipari gyakorlatban a termelő vállalatok között vevő-beszállító kapcsolat van. Vevő lehet autó, mobiltelefon vagy akár repülőgép gyártó is. Ezek a cégek a szó szoros értelmében nem is gyártók, hiszen nem gyártank semmit, „csak” megtervezik a terméket és összeszerelik a tervek alapján a mások által legyártott alapanyagokat. A beszállítók azok, akik legyártják az alapanyagot vevők számára. Az, ami a vevő számára alapanyag, a beszállító számára végtermék, amely akár egy sok komponensből álló rendszer is lehet, például egy komplett váltó szerkezet egy au-

tógyár számára. A beszállító is lehet vevő (és általában az is) aki további albeszállítókkal dolgozik, akik előállítják az ő termékeikhez szükséges alapanyagot, például tömítést a váltószerkezethez. A gazdasági élet minden szereplője számára létkérdés a megfelelő minőség biztosítása, hiszen ez egyrészt szükséges a vevői elégedettséghez, ami biztosítja, hogy lesz igény a termékekre, másrészt jelentős költségeket megspórolhatunk, amelyeket a termék életciklusa során a gyenge minőség okoz. Egy autógyár esetében például a váltó egyetlen gyenge alkatrésze több ezer, vagy akár tízezer autó visszahívását is okozhatja. Ez hatalmas direkt költséget jelent, de hosszú távon rossz hatással lesz a cég hírnevére is.
Jól látható, hogy a vevő által gyártott termék minősége a beszállítótól kapott alapanyagtól, félkész termékektől függ. A nem megfelelő beszállító minőség után a másik legfontosabb problémaforrás, amikor is a beszállító a specifikációknak megfelelőn készíti el az alkatrészt, de az összeállított termék nem teljesíti a tervezett minőségi, illetve műszaki követelményeket. Pokorádi szerint az is létfontosságú kérdés, hogy beszállított alkatrészek minőségi követelményei, technikai tűrései összhangban legyenek egymással [3].

A beszállítói minőségbiztosításban a legnagyobb humánerőforrást igénylő tevékenység az idegenáru ellenőrzés. Léteznek szemléletek, irányítási rendszerek, amelyek nulla hiba elérésére törekednek, de reálisan tekintve a kérdést, 0%-os hiba csak ez idealizált cél lehet, amelyhez lehet közelíteni, de elérni nem, hiszen mindig szükség lesz valamennyi emberi aktivitásra a folyamatban, márpedig ha az ember dolgozik, akkor hibázhat is. Azok a folyamatok, amelyeket gép végez, sokkal alacsonyabb hibarátával fenntarthatóak ugyan, de ott is jelen vannak különböző hibaforrások, úgymint kifáradás, kopás, konstrukciós hiba, stb. Törekedhetünk a tökéletes rendszerre, de számolnunk kell azzal a ténnyel, hogy a beérkező alapanyagok között lesznek problémásak is.

Több tízezer alapanyag esetén egyszerre számos hibával szembesülhetünk, gyakran előfordul, hogy az ellenőrzés munkaigénye meghaladja a kapacitásokat. Ilyenkor nyilván nem tudunk egyszerre mindent átvizsgálni, választanunk kell, mivel kezdjünk, és mi legyen a következő, illetve azt is el kell dönteni, hogy az alapanyag teljes raktárkészletét ellenőrizzük, vagy csak annyit, amennyi az igényt egy időre lefedi. Érdemes egy rangsort felállítani, amely általában a minőségbiztosítási mérnökök feladata. Ez nehéz és összetett feladat, mivel nagyon sok tényezőt figyelembe kell venni a döntéskor, például a nyitott megrendelések értékét, az érintett termékek stratégia szerepét, az ellenőrzés idő és erőforrás igényét, bonyolultságát, beszállítói hátteret, a problémás anyag gyártási idejét (fontos az utánpótlás szempontjából) és még nagyon sok tényezőt.

Eddig olyan esetet vizsgáltunk, ahol probléma lépett fel. A helyzetet tovább bonyolítja, hogy vannak anyagok, amelyek korábban voltak problémásak, de született rájuk valamilyen megoldás. Ezt követően a következő néhány beérkezést is ellenőrizni kell. Vannak továbbá olyan anyagok, például veszélyes anyagok, vagy elektronikai gyártás esetén programozott alkatrészek, ahol mindig minden esetben

100%-ban ellenőrizni kell az anyagokat. Ezek mellé a rendszeres ellenőrzések mellé kell betervezni az előbb említett hirtelen fellépő problémákat. Ez a feladat nagy kihívást jelent, amelynek jelentős hatása van a termelés folyamatosságára, a vevők kielégítésére, ezáltal a vállalat sikerére.

Kiss [2] munkájában bemutatja az AHP lényegét és a számítás menetét. Felföldi disszertációjában [1] olyan adaptív stratégiák általánosítását vizsgálja, amely képes a természetes nyelvi feldolgozás speciális kezelésére. Kavas doktori disszertációjában [2] harcászati repülőgép hatékony kiválasztását vizsgálja különböző módszerekkel. Mindkét disszertációban bemutatott vizsgálat rámutat az AHP módszer eredményességére.

A tanulmány célja felépíteni egy döntéstámogató rendszert, amely az ellenőrzések megtervezéséhez, ütemezéséhez nyújt hatalmas segítséget folyamatosan naprakészen. Háttérirodalmi vizsgálataim alapján az Analitikus Hierarchikus Eljárás (Analitic Hierarchy Process) tűnik a leghatékonyabb módszernek a probléma megoldásához, ezért a módszer kidolgozását AHP alapján kezdtem el, ezt nézzük meg az alábbi cikkben.

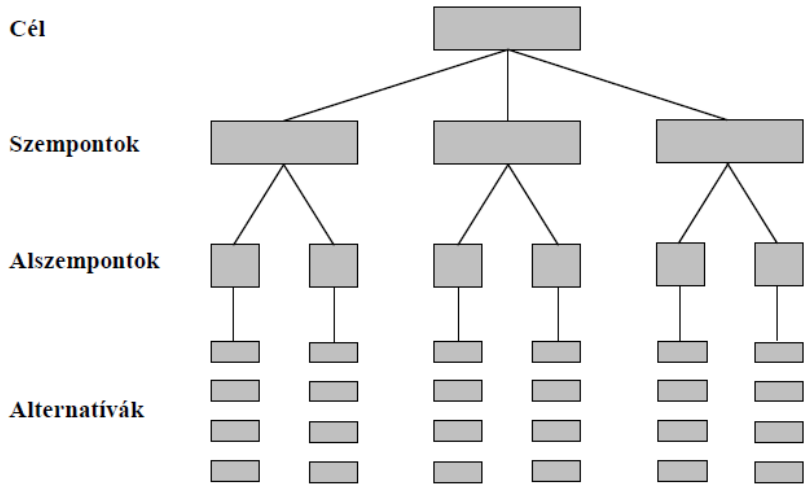
A cikk az alábbi fejezetekből áll: Az első fejezet ismerteti a vizsgálandó problémát, és röviden bemutatja a kapcsolódó irodalmakat. A második fejezetben létrehozunk egy modellt a bemutatott probléma megoldására, amely a további vizsgálatok alapját teremti meg. A harmadik fejezetben a modellen végzett számításon keresztül mutatjuk be az eljárás menetét. A negyedik fejezetben példákat határozunk meg, melyeket értékelünk. Végül az eredményeket összegezzük, és a szerző meghatározza további céljait.

2. Alapmodell elkészítése AHP segítségével

Az Analitikus Hierarchikus Eljárás egy strukturált módszer, amely többtényezős döntések meghozatalát segíti. Saaty megfigyelte, hogy egy döntés meghozatala során számos részinformációt, tényezőt veszünk figyelembe, ezek és a döntési feladat mögött egy információ-hierarchia húzódik meg, melynek ismerete segíti a végső döntés meghozatalát. Egy döntés meghozatala során megvizsgálni és értékelni kell a lehetőségeket. Az AHP kivitelezése során szempontokat állítunk fel, melyek számunkra a döntés meghozatalához fontosak.

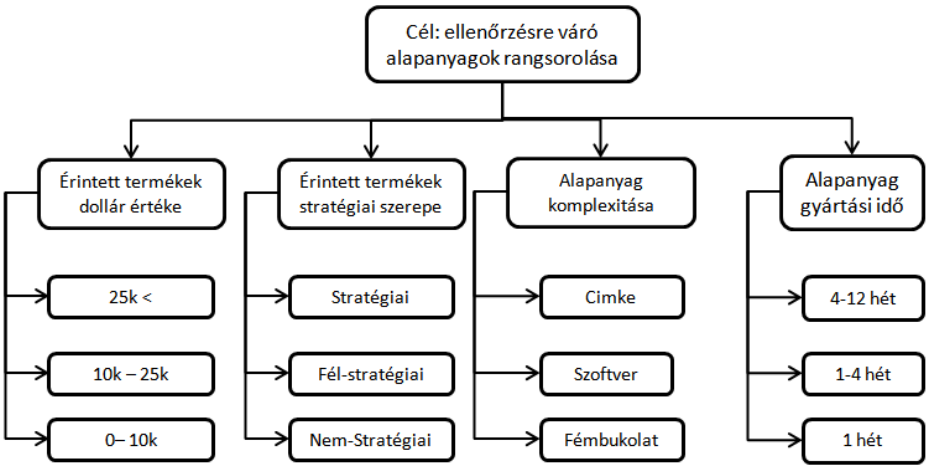
Az első lépés a cél megfogalmazása, alternatívák kiválasztása és szempontok meghatározása. Az áttekinthetőség érdekében többszintű fa struktúrát alkalmazunk, melynek elrendezését a 1. ábra mutatja be.

Célunk az ellenőrzésre váró anyagok rangsorolása. Ennél a kérdésnél az egyik legfontosabb szempont az, hogy milyen termékeket érint. Ezt két fontos kérdést vet fel. Milyen értékű rendelést tart fel a problémás alkatrész? Milyen az érintett termék stratégiai szerepe? Ez azért fontos, mert lehet, hogy a nem tart fel a vizsgálat pillanatában nagy rendeléseket, de egy stratégiai fontosságú termék esetében ez pillanatok alatt változhat.



1. ábra. *Az AHP modell felépítése (forrás: [2]).*

A másik fontos területet a problémás alapanyag jelenti. Itt fontos szempont az alapanyag összetettsége, erre vezethető vissza a csomagolás, tárolás jellege, hely-igénye, ami nagymértékben befolyásolja az inspekció kapacitásigényét. A másik ág az alapanyag kérdésén belül az alapanyag gyártási ideje. Ha egy anyag gyártási ideje rövid, akkor célszerűbb lehet rendelni új anyagot és az inspekció feladatát átterhelni a beszállítóra.



2. ábra. *Az alapmodell.*

Ezek alapján a cél meghatározása után két fontos szempont lehet, az érintett termékek és a kérdéses alapanyagok. A harmadik szint ezen két kérdés további bontása a fentiek alapján. Mivel az alapanyag és késztermék jelentősége azonos, nem befolyásolja a további bontás eredményeit, ezért a modell és a számítás egyszerűsítése miatt elhagyjuk, a cél után a főbb szempontokat a 2. ábra alapján veszszük fel. A szempontokat az alábbi alternatívákra bontjuk.

3. Számítás AHP módszerrel az alapmodell alapján

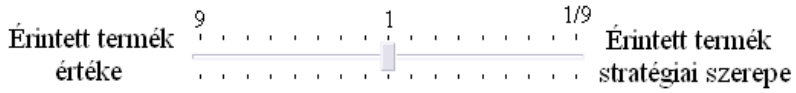
Miután meghatároztuk a célt, a kritériumokat és alternatívákat, a következő lépésben páronként hasonlítjuk össze a megadott kritériumokat és egy A összehasonlítási mátrixot építünk. Az A mátrix a_{ij} eleme megmutatja az i-edik kritérium j-edikhez viszonyított relatív fontosságát. Ez alapján az aji elem az aij reciproka. Legyen az y lehetőség alternatív fontossága v, amit az alkalmazott kritériumok lineáris kombinációjával fejezünk ki:

$$v(s) = \sum_{j=1}^{n} w_j v(y_j), \tag{1}$$

ahol:

w_j – y alternatíva y_j kritériumhoz tartozó fontossági értéke

Az összehasonlítási mátrixok felhasználásával az AHP kiszámítja a hierarchia legfelsőbb kritériumaitól az alternatívákig az összes csomópont fontossági értékét, és a legnagyobb értékhez tartozó alternatívát választja végső döntésként.
A gyakorlatban párokat képezünk, a pár két tagját elhelyezzük egy skála két végén és értékeljük, hogy a pár egyik tagja hányszor fontosabb a másiknál, ahogy az 3. ábrán láthatjuk.



3. ábra. *Párok súlyozása skálán.*

A skála egytől tart kilencig tart. A modellünkben az első pár az „Érintett termék értéke – Érintett termék stratégiai szerepe". Legyen az érintett érték kétszer fontosabb a stratégiai szerepnél. Ekkor az EC numerikus összehasonlító skáláján a termék érték felé húzzuk a csúszkát a ketteshez. A csúszkát jobbra tolva is megadhatjuk a kívánt súlyozást, ekkor azt adjuk meg, hogy a stratégiai szerep 1/2 – szer fontosabb az értéknél, tehát a végeredmény ugyanaz.

A kategóriák párosítása és súlyozása során felvett értékeket az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat. *Kategóriák súlyozása: összehasonlítási mátrix*

Összehasonlítási mátrix	Termék érték	Stratégiai szerep	Komplexitás	Gyártási idő
Termék érték	1	2	9	9
Stratégiai szerep	1/2	1	9	5
Komplexitás	1/9	1/9	1	1
Gyártásidő	1/9	1/5	1	1
Szum	**1.72**	**3.31**	**20**	**16**

2. táblázat. *Normalizált mátrix, saját vektor*

Normalizált mátrix	Termék érték	Stratégiai szerep	Komplexitás	Gyártási idő	Saját vektor
Termék érték	0.58064	0.60402	0.45	0.5625	0.54929
Stratégiai szerep	0.29032	0.30201	0.45	0.3125	0.33870
Komplexitás	0.06451	0.03355	0.05	0.0625	0.05264
Gyártásidő	0.06451	0.06040	0.05	0.0625	0.05935

3. táblázat. *A súlyozás százalékos eredménye*

Szempont	Súly
Termék érték	55%
Stratégiai szerep	34%
Komplexitás	5.2%
Gyártásidő	5.9%

Az A összehasonlítási mátrix főátlójában érelemszerűen 1 érték szerepel. Az átlótól jobbra lévő értékeket adjuk meg a 3. Ábrán bemutatott csúszka segítségével. Szakmai tapasztalatom alapján a táblázatban látható értékeket adtam meg. Az átlótól balra lévő elemek adódnak, a jobbra lévő elemek reciprokai. Megkaptuk tehát az összehasonlítási mátrixot. Kiszámítjuk az oszlopok összegét, majd normalizáljuk az összehasonlítási mátrixot, ami azt jelenti, hogy az egyes elemeket elosztjuk az oszlopának összegével. Ezt mutatja a 2. Táblázat. Az utolsó lépés a saját vektor kiszámítása, amely során a normalizált mátrix egyes sorainak elemeit összeadjuk és elosztjuk a mátrix összes elemének értékével. Az így kapott érték megmutatja, hogy a sor elején lévő tulajdonság súlyát, ha a kritériumok súlyának összege 1. Ha 100%-al szorozzuk ezeket, akkor megkapjuk a súlyok százalékosan kifejezett értékét, lásd 3. Táblázat.

A fent leírt számítást követve elvégezzük a páronkénti összehasonlítást a teljes modellre. Az alternatívák összehasonlítási mátrixait a 4. Táblázat szemlélteti.

4. táblázat. *Az alternatívák összehasonlítási mátrixai*

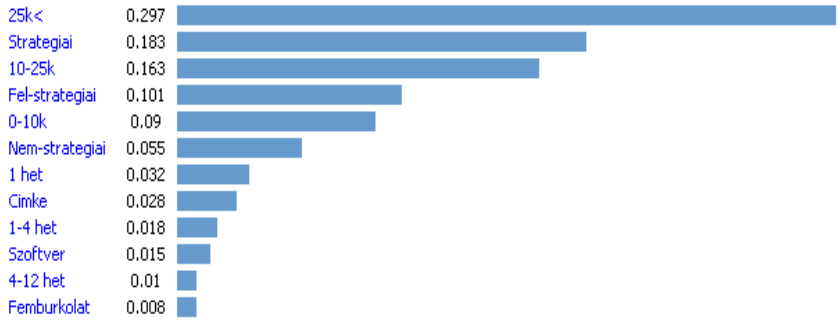
Termék érték	25k <	10k - 25k	0 - 10k
25k <	1	2	3
10k - 25k	1/2	1	2
0 - 10k	1/3	½	1

Stratégiai szerep	Stratégiai	Fél-stratégiai	Nem stratégiai
Stratégiai	1	2	3
Fél-stratégiai	1/2	1	2
Nem stratégiai	1/3	1/2	1

Komplexitás	**Címke**	**Szoftver**	**Fém**
Címke	1	2	3
Szoftver	1/2	1	2
Fémburkolat	1/3	½	1

Gyártásidő	**4-12 hét**	**1-4 hét**	**1 hét**
4-12 hét	1	2	3
1-4 hét	1/2	1	2
1 hét	1/3	1/2	1

Ezeket az adatokat felhasználva kapott értékelés eredményét mutatja a 4. ábra



4. ábra. *Alternatívák súlya a vizsgált modellben*

4. Példák és értékelésük

Az előző fejezetben kapott modell értékeléséhez példákat fogunk megadni az 5. táblázatban.

5. táblázat. *Példák*

Azonosító	Termék érték	Stratégiai szerep	Komplexitása	Gyártásidő
A	4 500 $	Stratégiai	Fémburkolat	12 hét
B	1 200 $	Fél-startégiai	Szoftver	2 nap
C	11 000 $	Stratégiai	Fémburkolat	5 hét
D	45 000 $	Nem stratégiai	Címke	2 hét

Nézzük meg az A példát.
Érintett termék értéke 4500$, ez a 0-10 000$ csoportba tartozik, amelynek a súlya

9%. Az érintett termék stratégiai szerepe van a cég termékpalettáján, ennek súlya 18.3%. Fémburkolatról van szó, jelentősége 0.8%, gyártásidő 12 hét, ez további 1%. Ezeket a százalékos értékeket összeadjuk, így kapjuk meg az 1. eset súlyát, ami 29.1%. Ezt a számítást elvégezzük mindegyik esetre és érték alapján rangsoroljuk, ezt tartalmazza a 6. táblázat.

6. táblázat. *Rangsor*

Rangsor	Azonosító	Súly
1	D	39.80%
2	A	29.10%
2	C	27.10%
3	B	22.40%

5. Összegzés, jövőbeli célok

Az előző fejezetekben bemutattunk egy döntéstámogató rendszert, amely az ellenőrzésre váró alapanyagok rangsorolását segíti. Háttérirodalmi kutatásaim rámutattak arra, hogy ezzel a területtel korábban még nem foglalkoztak, annak ellenére, hogy a beszállítói minőségbiztosításban az idegenáru ellenőrzés igényli a legtöbb erőforrást, ezáltal ez jelenti a legnagyobb költségeket is, továbbá óriási hatása van az előállított termék minőségére, ezáltal a vevői elégedettségre és a vállalat sikerére. Jelenleg az ipari gyakorlatban a minőségbiztosítási mérnökök tapasztalatukra és a beszerzői, termeléstervezői igényekre támaszkodva maguk állítják fel a rangsort, így a cikkben taglalt eljárást nem tudjuk összehasonlítani, de ez nem is célunk. A feladatunk a cikk elkészítése során az volt, hogy létrehozzunk egy döntéstámogató rendszert, amely egy eszközt ad a mérnökök kezébe a hatékonyság növelése érdekében.

A szerző jövőbeni célja megvizsgálni más döntéstámogató rendszereket is, összehasonlítani őket, majd a legjobbat kiválasztva megalkotni egy alapmodellt és a hozzá tartozó számítási algoritmust, amely különböző cégek számára tovább optimalizálható a legnagyobb hatékonyság elérése érdekében.

6. Irodalomjegyzék

[1] **KAVAS, L.,** Harcászati repülőgépek kiválasztásának módszere gazdasági-hatékonysági mutatók alapján, kis létszámú haderő légierejének korszerűsítésére, Doktori (PhD) értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki Kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola, Szolnok, 2009.

[2] **KISS, F.,** Analitikus hierarchia eljárás, Módszertani alapok, algoritmus és számpéldák, 2009.,

[3] **Pokorádi, L**.: Rendszerek és Folyamatok Modellezése, Campus Kiadó, Debrecen, 2008, pp. 242.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 143-150.

SPECIÁLIS GEOMETRIÁJÚ GÉPELEMEK REKONSTRUKCIÓJA

Bihari Zoltán[1] - Szente József[2]
egyetemi adjunktus[1] - egyetemi docens[2]
Miskolci Egyetem, Gép-és Terméktervezési Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros,
machbz@uni-miskolc.hu[1], machszj@uni-miskolc.hu[2]

Összefoglalás
A gépjármű indítómotorok feladata az, hogy a belsőégésű motort az indításhoz szükséges fordulatszámmal megforgassák. A hajtás egyik eleme egy forgásirány-kapcsoló tengelykapcsoló. Ennek az a feladata, hogy a nyomatékot a hajtott oldalra továbbítsa, a hajtott oldalt megforgassa, majd a belsőégésű motor beindulását követően, amikor a hajtott oldal fordulatszáma meghaladja a hajtóét, oldja a kapcsolatot. Jelen dolgozatban a megértést segítő fogalmak tisztázása után egy olyan módszert mutatunk be, amely segítségével meghatározható a csillagkerék profilgörbéjének az alakja. A módszer lehetővé teszi ismeretlen szabadonfutók rekonstrukcióját.

Kulcsszavak: *forgásirány-kapcsoló tengelykapcsoló, szabadonfutó, logaritmikus spirális.*

Abstract
The task of the starter motors is to rotate the combustion engines to the necessary rotational speed. An element of the mechanism is a free running clutch. It has two functions. The first one is the torque transmission from the driving member to the driven shaft, and to speed up the combustion engine. The other function is to disconnect the elements, when the combustion engine has already turned over, and the driven shaft rotates faster than the driver. In this paper the fundamental knowledge is presented and a new method which helps us to determine the inner profile curve at the housing of the clutch. This method gives a chance to reconstruct roller freewheels having unknown geometry.

Keywords: *free running clutch, roller freewheel, logarithmic spiral.*

1. Bevezetés

Ebben a tanulmányban a gyakorlatban alkalmazott külső csillagkerekes görgős szabadonfutó geometriájával foglalkozunk. A vizsgálat célja annak kiderítése, hogy egy tetszőleges, a gépjárműiparban alkalmazott szabadonfutó csillagkerekének profilja milyen görbével írható le a legpontosabban, illetve feltételezve a logaritmikus spirálist, hogyan rekonstruálható a profilgörbe.

A feladat elvégzéséhez szükség lesz a tetszőlegesen választott szabadonfutó külső csillagkerék profilpontjainak egy x-y koordináta-rendszerbeli ismeretére.

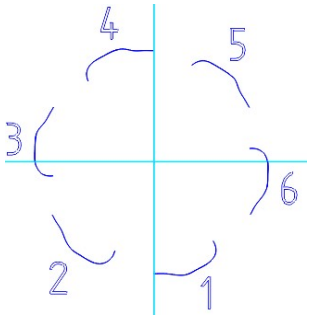
2. A geometria meghatározása

A geometria meghatározására többféle módszerrel is kísérletet tettünk. A cél a tervezési feltétel (zárószög) minél pontosabb meghatározása, a geometria matematikai leírása annak érdekében, hogy a további mechanikai, szilárdsági számítások elvégezhetők legyenek. A mérés egy DEA-IOTA 0102, portál típusú 3D-s mérőberendezésen történt. Az eljárás előnye, hogy kellő körültekintés mellett kizárható az emberi tényező, a vizsgálat reprodukálható, és minden esetben ugyanazt a geometriát szolgáltatja. A mérőgép tengelyenként 0,002 milliméter pontossággal dolgozik, mely esetünkben megfelelő, hiszen a gyártási technológia hibája, illetve a darab tűrése ennél lényegesen nagyobb.

3. A zárószög meghatározása grafikus úton

Ismertnek tekinthetjük a ház profiljának tetszőleges számú x-y-z koordinátáját. Ezen koordináták által meghatározott pontok CAD rendszerben grafikusan megjeleníthetők. Az erre a célra felhasznált CAD rendszer – Solid Edge V20 – képes egy adatbázisból kivenni, és asszociatív módon kezelni a koordinátákat, valamint egy folytonos B-szplájnt illeszteni a koordináták által leírt pontokra. Ez a módszer nagy számú, és esetleg különböző típusú szabadonfutók viszonylag gyors vizsgálatát teszi lehetővé.

A rekonstrukció pontossága kizárólag a felvett pontok sűrűségétől, a mérőgép hibájától, illetve a mért darab gyártási pontosságától függ. Az alábbi ábrán a mérőgép által szolgáltatott koordináták alapján elkészített geometria látható.



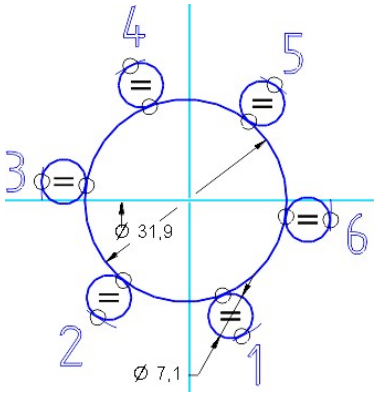
1. ábra *A pontkoordinátákkal visszaállított görbeprofilok*

3.1. A geometriai középpont keresése

A 3D-s mérőgép által felvett geometria a mérőgép egy helyi koordinátarendszerében került rögzítésre. Ez alkalmas az egyes profilgörbék egymáshoz viszonyított helyzetének vizsgálatára, viszont nem tartalmaz információt a tényleges geometriai középpontról, amely a későbbiekben az agy középpontjával esik egybe.

A középpont-korrekció szükséges mértékét grafikus úton fogjuk meghatározni. Az 1. ábra szerint a mért pontok nemcsak a görgő lehetséges érintkezési pontjait tartalmazzák, hanem az ehhez folytonosan csatlakozó ív-részeket is. Ezeket el kell távolítani a geometriai modellről.

A továbbiakban helyezzünk el egy, az agy átmérőjének megfelelő kört, valamint a görgők számának és átmérőjének megfelelő köröket az ábrába. Amennyiben kihasználjuk a CAD rendszer parametrikus tulajdonságait, és geometriai kényszerekkel rögzítjük a fent említett elemek pozícióit (érintő kényszert alkalmazunk a görgőket jelképező körök és a profil, valamint az agyat jelképező kör közé), az agy középpontjának egy lehetséges helyzetét kapjuk (2. ábra).



2. ábra *A lehetséges érintkezési pontokat tartalmazó görbék*

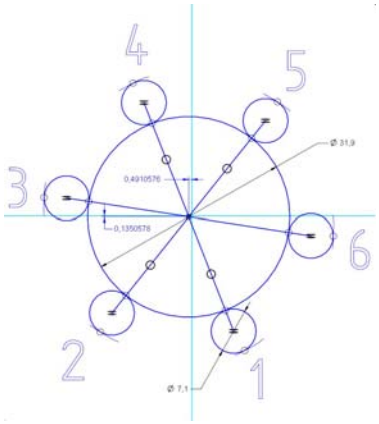
Amennyiben a mért profilgörbék teljesen azonos geometriával rendelkeznének, akkor a középpont meghatározása egyszerű lenne, hiszen a koordinátákat a CAD rendszerből leolvashatnánk. Mivel azonban a vizsgált görbék egy valós szerkezetről felvett kontroll-pontokra illeszkednek, a keresett középpont nem egyértelműen meghatározott, hanem egy bizonyos tartományon belül bárhol lehet. Ez a tartomány a CAD rendszer segítségével meghatározható oly módon, hogy tetszőleges x koordináta esetén megvizsgáljuk, milyen y minimális, illetve maximális értékek között van megoldása a geometriai modellnek. A megoldás peremfeltétele az, hogy az előzőekben tárgyalt érintő kényszerek elhelyezhetők legyenek. Az így definiálható tartományon belül a középpont tetszőlegesen bárhol elhelyezkedhet.

A geometriai rekonstrukció miatt azonban ezen a tartományon belül választani kell egy pontot, amelyet a továbbiakban olyan bázispontnak tekintünk, amelynek felhasználásával a logaritmikus spirális egyenlete felírható lesz minden egyes görbére. A megoldás kereséséhez a továbbiakban tekintsük át az ábrába berajzolt körök lehetséges szabadságfokainak számát. Amennyiben egy kört definiálunk valahol a síkon, akkor a lehetséges szabadságfokainak száma három (x, y pozíció és a kör sugara vagy átmérője). Ennek a három szabadságfoknak a megadása, illetve rögzítése egyértelműen meghatározza a kört. Jelen esetben hét darab kört kellett

rajzolni (6 db görgő és az agy), melyek összes kényszereinek száma 7x3=21. A 2. ábra szerint felépített modell lekötött szabadságfokainak száma 19. A maradék 2 kényszer lekötéséhez új peremfeltételek bevezetésére van szükség.

A rekonstrukció eredménye egyetlen logaritmikus spirális egyenlet két paramétere lesz. Ennek az egyenletnek mind a hat görbére a lehető legkisebb eltérést kell mutatnia. Ezért a leendő középpont az a pont lesz, amely körül majd a görbéket megfelelő szögekkel elforgatva ugyanazon tetszőleges pontba, a görbéknek fedésbe kell kerülniük egymással. (Mivel valós darabról készült mérési pontokkal dolgozunk, ez természetesen csak egy idealizált állapot. A valóságban biztosan lesz eltérés.) A feladatunk tehát azon középpont keresése, melynél ez az eltérés minimális lesz.

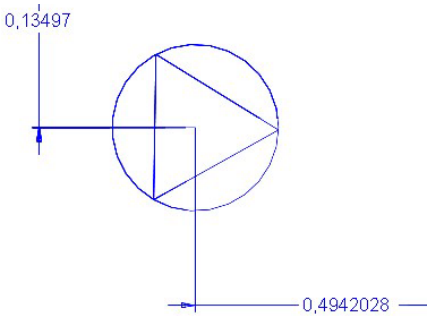
A fennmaradó két kényszer lekötésére három lehetőség is kínálkozik. Amennyiben az agyat jelképező kör középpontját rendre összekötjük a görgőket jelképező körök középpontjával, ezen egyenesekre további geometriai kényszerek adhatók meg. Mivel az egymással szemben elhelyezkedő körök az elforgatás során éppen 180 fokkal fordulnak egymásba, megadható az egymással szemben elhelyezkedő egyenesek között az ún. egy egyenesre eső (collinear) kényszer. Erre a fentiekben leírtak szerint három lehetőségünk van, hiszen három pár egymással szemben elhelyezkedő kör létezik, de csak két szabadságfok (3. ábra). Bármelyik kettő megadása egyértelműen definiálja a geometriát, és egy-egy középpontot kapunk.



3. ábra *Egy lehetséges kényszermegadás*

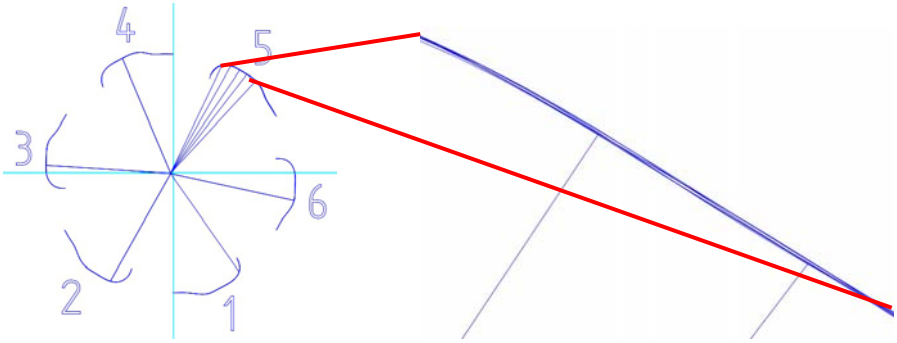
A kapott lehetséges középpontok a CAD modellről leolvashatók. A továbbiakban a kapott három pont közül, illetve a három pont által meghatározott háromszögön belül, el kell dönteni, hogy hol vesszük fel azt a középpontot, melyet a geometriai középpontnak fogunk tekinteni. Részben célszerűségi okokból, részben pedig a vizsgálatok tapasztalatai alapján válasszuk a középpontnak a három pont által meghatározott háromszög csúcspontjai köré írható kör középpontját (4. ábra).

A középpont koordinátái az ábráról leolvashatók, vagy matematikai úton is meghatározhatók.



4. ábra *Középpont koordinátái*

A továbbiakban egy egyszerű geometriai vizsgálattal fogjuk ellenőrizni, hogy a meghatározott tervezési középpont jó választásnak bizonyult-e. Amennyiben a választott középpont körül az egyes mért görbéket egymásra forgatjuk egy önkényesen kiválasztott profilra (legyen ez esetünkben az 5. jelű), pozíciójuknak megfelelő szögekkel (60, 120, stb…), úgy a hat görbe egymástól való eltérése jól láthatóvá és mérhetővé válik (5. ábra).



5. ábra *Egymásra forgatott görbék*

Az eltérés, figyelembe véve az esetleges gyártási pontatlanságot, illetve a szabadonfutó használat közbeni esetleges kopását, elfogadhatónak mondható. Kijelenthetjük tehát, hogy a meghatározott tervezési középpont megfelel arra a célra, hogy a további rekonstrukciós folyamatban alapparaméterként felhasználásra kerüljön.

3.2. Rekonstrukció

Az 5. ábra szerint még mindig hat egymástól – ugyan már minimálisan – eltérő görbével rendelkezünk. A tervezési alapparaméterek (r_0; β) meghatározásához ezt a hat görbe által meghatározott tartományt kell tovább vizsgálni. Mivel a görbék

egymást többszörösen átmetszve haladnak, ennek a sávnak a további szűkítésére nincs lehetőség. Ezért a hat görbe által meghatározott – vizsgált sávon belül és kívül futó – képzeletbeli helyettesítő görbére felírhatunk egy-egy egyenletet (logaritmikus spirálist). A továbbiakban a két görbe pontjait „B" (belső) és „K" (külső) index használatával különböztetjük meg (pl.: r_{1B} ; $\theta_{1B,}$ stb.). A görbék elvi egyenletei a következő összefüggéssel határozhatók meg.

$$r = r_0 \cdot e^{-k \cdot \theta} . \tag{1}$$

A polár-koordinátás alakban megadott egyenletben szereplő r_0 paraméter a koordináta-rendszer origójától mért távolság, a k paraméter pedig az origóból húzott egyenes és a görbe érintő szögének kotangense:

$$k = ctg\ \beta . \tag{2}$$

A logaritmikus spirálisnak az a jellegzetessége, hogy a β szög állandó értékű bármely tetszőlegesen választott pont esetén.

Válasszunk ki két tetszőleges pontot az (r; θ) polár koordinátákkal, mind a külső, mind a belső helyettesítő görbén. Jelölje a pontokat „1" és „2" index. Ezek a pontok a CAD rendszer segítségével számszerűen is rendelkezésre állnak. Írjuk föl az egyenletet a tetszőlegesen fölvett pontokra:

$$r_0 = r_1 \cdot e^{k \cdot \theta_1} = r_2 \cdot e^{k \cdot \theta_2} . \tag{3}$$

Átalakítások után a (3) alapján a „β" érintőszög értéke kifejezhető mind a belső, mind a külső részen futó helyettesítő görbe esetén (β_B, β_K):

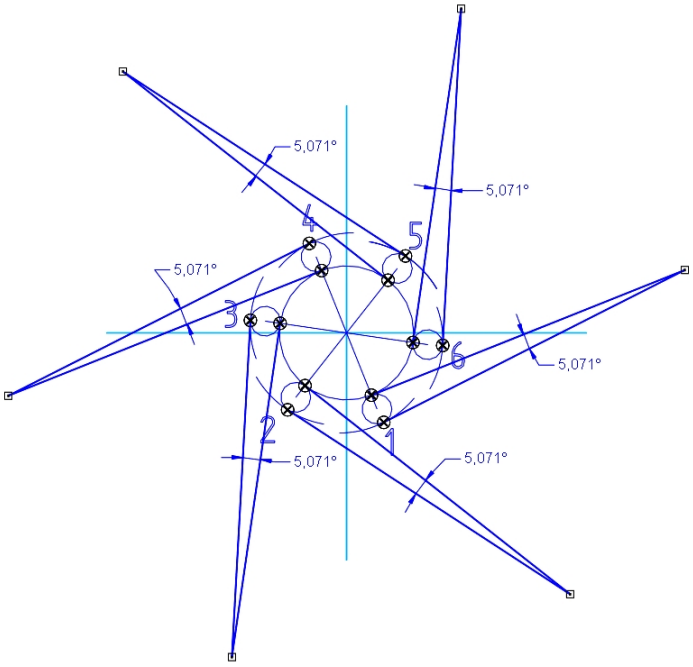
$$\beta = \arctan \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} . \tag{4}$$

Az (1) egyenletben szereplő r_0 a logaritmikus spirális egy adott kezdőszöghöz tartozó sugara. Ezt az r_0 sugarat önkényesen válasszuk egy adott θ_0 szögértékhez. Természetesen a belső és a külső képzeletbeli helyettesítő görbéhez különkülön fel kell venni ezt a sugarat, különbséget közöttük a fentiekben meghatározott indexelt jelölésben teszünk (r_{0B}, r_{0K}). A továbbiakban a θ szöget ettől a θ_0 szögtől értelmezve, a belső és a külső helyettesítő görbe egyenlete:

$$r_B = r_{0B} \cdot e^{-\theta \cdot ctg\ \beta_B} ,\ r_K = r_{0K} \cdot e^{-\theta \cdot ctg\ \beta_K} \tag{5}$$

Az egyenlet ismeretében a kérdéses görbe tetszőleges pontossággal megszerkeszthető, és összehasonlítható a mérésből származó pontseregre illesztett közelítő szplájnnal. A többi elméleti görbe pontjait úgy állíthatjuk elő, hogy a számított görbét a középpont körül megfelelő szöggel elforgatjuk (6. ábra). Amennyiben ebben az ábrában az agynak és görgőknek megfelelő köröket megjelenítjük, és a kapcsolódási pontokat a megfelelő geometriai kényszerekkel ellátjuk, akkor kizárólag egy lehetséges pozícióban helyezkedhetnek el a görgők, mind a belső, mind a külső helyettesítő görbén (6. ábra).

Ha az így kapott logaritmikus spirális és görgő érintkezési pontra, valamint az agy és görgő érintkezési pontra az érintőket berajzoljuk, akkor az ábráról lemérhető a $2\alpha_B$ zárószög nagysága (matematikai úton is számítható), amelynek most már bármely görgő esetén azonosnak kell lennie (6. ábra).



6. ábra *Görgők elhelyezkedése és a zárószög érték meghatározása grafikusan*

Hasonlóan a β_B szög értéke is lemérhető az ábrából, vagy matematikai úton meghatározható. A geometriai modell alapján az α és β szögre vonatkozóan az alábbi összefüggések írhatók föl:

$$r \cdot \sin \beta = (r_b + r_g) \cdot \cos 2\alpha + r_g \,, \tag{6}$$

$$r \cdot \cos \beta = (r_b + r_g) \cdot \sin 2\alpha \,. \tag{7}$$

Kifejezve az r érintkezési pontot mindkét egyenletből, és azokat egymással egyenlővé téve, átalakítások után az alábbi eredményhez jutunk:

$$\beta_B = \arctan \frac{(r_b + r_g) \cdot \cos 2\alpha_B + r_g}{(r_b + r_g) \cdot \sin 2\alpha_B} \,. \tag{8}$$

Alkalmazva a fentiekben tárgyalt módszert a külső helyettesítő görbére is, a zárószög értékére $2\alpha_K$ és az érintőszög értékére β_K meghatározható. Számszerű értékeket behelyettesítve, a két érintőszög közötti eltérés alig volt több mint 0,01%.

4. Összefoglalás

A külső csillagkerekes görgős szabadonfutók esetén a profilgörbe ismeretének gyakorlati jelentősége többrétű. Egyrészt a logaritmikus spirális görbe jó illeszkedése a mért pontokra megbízhatóan igazolja a kezdeti hipotézist, valamint a szakirodalmi adatokat, melyek a görbe típusára, illetve leírására vonatkoznak.

Az egyenlet ismerete továbbá segítséget nyújt a külső csillagkerekes görgős szabadonfutók felújításához, melyre sok egyéb tevékenység mellett bizonyos cégek szakosodtak. A durva hibáktól mentes külső csillagkerék újból felhasználható, annak belső felületén semmilyen megmunkálás nem történik. Az agy futófelületét viszont – mint leginkább kopásnak kitett elemet – esetleg felülmunkálják, újra megköszörülik. A köszörülés hatására az elem átmérője szükségszerűen csökken, így az összeépítés során nem zárható ki annak lehetősége, hogy nagyobb átmérőjű görgőket kell beépíteni a szerkezetbe. Amennyiben azt szeretnénk, hogy a görgők és a csillagkerék közelítőleg az eredeti pozícióban kapcsolódjanak, – logaritmikus spirális felső harmada – az egyenlet ismeretében megmondható, hogy az agy átmérőjének csökkenése milyen mértékű változást indokol a görgők méretére vonatkozóan.

Nem utolsó sorban az egyenlet ismerete lehetőséget teremt a pontosabb szilárdsági számítások elvégzéséhez, melynek részletezésére egy későbbi szakcikkben kerítünk sort.

5. Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak az ME Gépgyártástechnológiai Tanszékének a mérésben nyújtott hatékony közreműködésért.

Ez a kutatási eredmény a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV kódszámú „A felsőoktatás minőségének javítása a kutatás-fejlesztés-innováció-oktatás fejlesztésén keresztül” című pályázat keretében valósult meg.

6. Irodalomjegyzék

[1] Dr. Terplán, Z., Nagy, G., Herczeg, I.: *Különleges tengelykapcsolók*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.

[2] Stölzle, K., Hart, S.: *Freilaufkupplungen Berechnung und Konstruktion*, Springer-Verlag, 1961.

[3] Niemann, G., Winter, H.: *Maschinenelemente*, Band III. Springer Verlag. 1983. p. 270-290.

[4] Bihari, Z., Szente, J.: *Az állandó zárószög feltétele görgős szabadonfutóknál*, Gép LXI. évfolyam. 2010/9-10. p. 11-13.

[5] Szente, J., Bihari, Z.: *Szabadonfutó tengelykapcsolók vizsgálata*, Gép LVI. évfolyam 2005/11-12. p. 161-166.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 151-158.

A FÚRÓSZERSZÁM ÉS A MUNKADARAB ÉRINTKEZÉSEKOR FELLÉPŐ MECHANIKAI KÖLCSÖNHATÁS VIZSGÁLATA MODELLEZÉSSEL

Dezső Gergely[1], Varga Gyula[2], Szigeti Ferenc[3]
főiskolai tanár[1,3], egyetemi docens[2]
Nyíregyházi Főiskola, Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológiai Tanszék[1,3]
Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék[2]
postai cím: 4401 Nyíregyháza, Sóstói út 31/B[1,2,3]
e-mail: dezsog@nyf.hu[1], gyulavarga@uni-miskolc.hu[2], szigetif@nyf.hu[3]

Összefoglaló

A Nyíregyházi Főiskola Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológiai Tanszékén, a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékével együttműködve környezetbarát megmunkálásokkal kapcsolatos vizsgálatokat végzünk. A kísérleti munka és a fizikai modellezés egyaránt részét képezi a kutatásnak.

Ebben a cikkben korábbi modellezési eredményeinket fejlesztjük tovább. Célul tűztük ki a fúrószerszám és a munkadarab kölcsönhatásának kvázistatikus vizsgálatát. Közvetlen szimulációval, kontakt feladatként vizsgáltuk meg a jelenséget. A modellezés során figyelembe vett erők és forgatónyomatékok a kísérleti adatokból származnak. A számítássorozat mélyebb betekintést ad a megmunkálás során létrejövő mechanikai kölcsönhatás erőtani és igénybevételi viszonyaiba, egyúttal előkészíti a jövőben tervezett dinamikai vizsgálatokat.

Kulcsszavak: *környezetbarát, fúrás, szimuláció, érintkezési feladat*

Abstract

Department of Production Engineering at College of Nyíregyháza and Department of Production Engineering at University of Miskolc cooperates in research of environmentally conscious machining by experimental and simulation methods.

In this paper we develop previous modelling results. The aim is quasi-static investigation of the mechanical interaction between the drilling tool and the workpiece. The phenomenon is simulated as contact problem. Forces and torques applied in the simulation comes from experiments. This study gives insight to the mechanical interaction during the machining, and prepares further dynamical investigations.

Keywords: *environmentally conscious, drilling, simulation, contact problem*

1. Bevezetés

A környezetbarát megmunkálások fejlesztése mind gazdasági, mind ökológiai szempontból sürgető kérdés. E törekvések részben új módszerek kutatásában, részben pedig az ismert módszereknek az új követelmények szerinti továbbfejlesztésében nyilvánulnak meg. A forgácsoló eljárások napjainkban is a gyártási megmunkáló folyamatok túlnyomó többségét teszik ki. A forgácsolás során alkalmazott hűtő-kenő anyagok mennyiségének csökkentése igen fontos környezetvédelmi szempontból, mert így lényegesen kevesebb veszélyes anyag áll elő, amelynek kezelése és megsemmisítése jelentős költséggel jár.

Kísérleteink során minimálkenés mellett vizsgáltuk a fúrás erő és forgatónyomaték szükségletét. A kísérletekből nyert adatokat felhasználtuk a fúrási folyamatra vonatkozó modellszámításainkban is. Ebben a dolgozatban bemutatjuk azokat az első eredményeinket, amelyek a fúró és a munkadarab érintkezési feladatának végeselemes módszerrel történt megoldásából származnak. Leírjuk a számítás menetét és közöljük az eredményeket.

2. A kísérletek körülményei

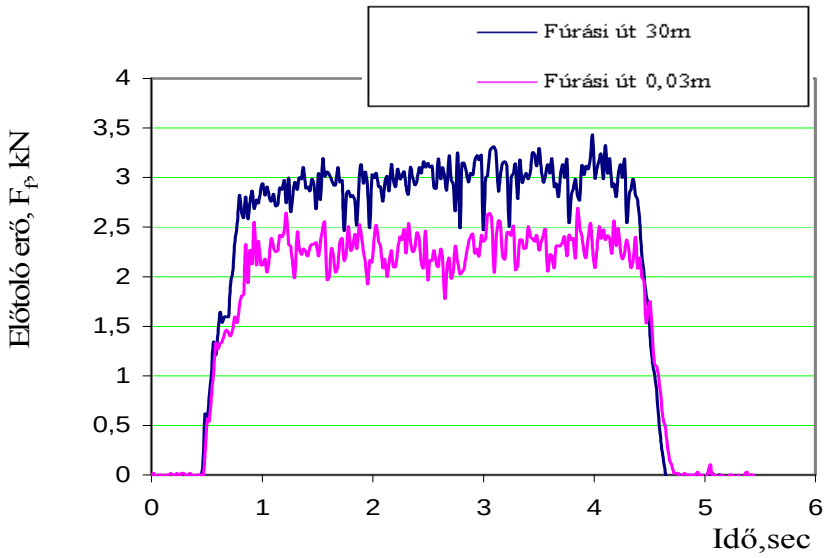
A fúrási kísérletekhez használt csigafúró: Ø 10,2 K20 Gühring WRDG DIN 6537 (melynek anyaga monolit keményfém TiAlN bevonattal, belső hűtő-kenő csatornás – ez a típus állt rendelkezésünkre, bár a külső minimál kenés miatt a belső csatornákat nem használtuk). A belső hűtő-kenő csatornával rendelkező fúrás eredményeit összehasonlítottuk a külső hűtéssel kapott eredményekkel, s az összehasonlítás akkor tehető meg legjobban, ha a csigafúró mechanikai merevsége, másodrendű tehetetlenségi nyomatéka is megegyezik [5]. A próbatest anyaga: szürkeöntvény, EN-GJL-200 (MSZ EN 1561), amelybe 30 mm hosszúságú átmenő furatokat készíttettünk a kísérletsorozat alkalmával.

A minimálkenés megvalósítása külső hűtéssel, a hűtő-kenő folyadéknak a fúró külső palástjára való hozzávezetésével történt, „NOGA MINI COOL" típusú porlasztó berendezéssel (a térfogatáram 10 cm^3/h és 250 cm^3/h között fokozatmentesen állítható). A forgácsolási kísérletekhez „OMV cut XU" típusú, klórmentes olajat használtunk. A kísérletek végrehajtása MU-250 típusú marógépen az alábbi paraméterekkel történt:

Maróorsó ford.:	n = 2250 f/perc
Előtolás:	f_1 = 0,18 mm/ford , f_2=0,3 mm/ford
Forgácsolási sebesség:	v_c = 72,06 m/perc
HKF mennyiség:	$\dot{V}_{olaj}$ = 10 és 28 cm^3/h
Előtolás sebessége:	v_{f1} = 405 mm/perc, v_{f2} = 675 mm/perc
Gépi főidő:	t_1 = 0,074 perc t_2 = 0,044 perc
Furathossz:	l_w=30mm.

Az axiális fúróerő (F_f) és csavaró nyomaték (M_c) mérése KISTLER 9271 A típusú kétkomponensű, kompakt dinamométerrel történt. A sarokkopás (VB_S) és hátkopás (VB_H) méréséhez a fúrót függőleges helyzetben mérőmikroszkópon lefényképeztük, majd a kopásértékeket a digitális fotó számítógépes feldolgozásával határoztuk meg.

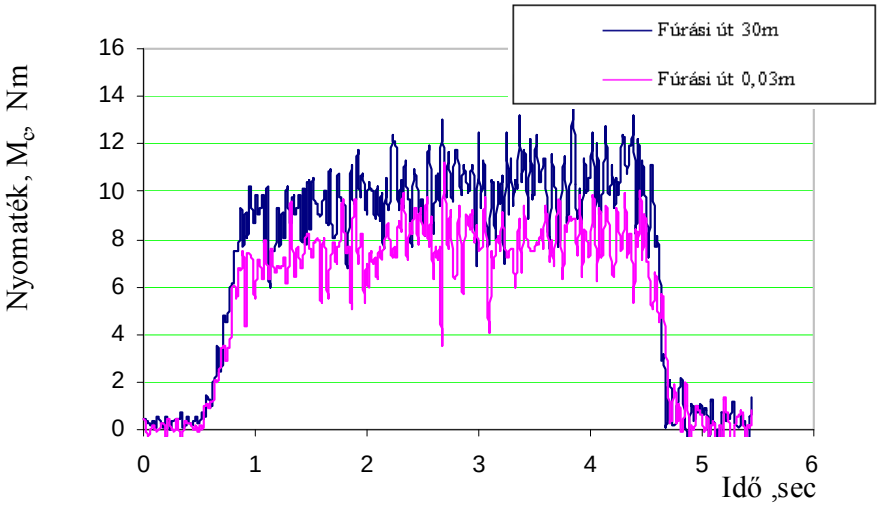
A fúrási folyamatot gyakran ([1], [2]) az előtolás irányú forgácsoló erővel (F_f) és a fúrási nyomatékkal (M_c) jellemzik. Kísérleteinkben mi is e két értéket vizsgáltuk.



1. ábra. *Az előtolás irányú forgácsolóerő változása az idő függvényében fúráskor* $(\dot{V}_{olaj} = 28\ cm^3 / h\ )$

Az 1. és 2. ábra az előtolás irányú forgácsolóerő és nyomaték idő szerinti változását szemlélteti. Jól látható, hogy az előtolás irányú forgácsoló erő (F_f) értéke a fúrás folyamán jelentősen oszcillál, s a fúrási hossz növekedésével az átlagértéke növekszik.

Méréseinket a Taguchy féle teljes faktoriális kísérlettervezés módszerével végeztük és értékeltük ki [3].



2. ábra. *A fúrónyomaték változása az idő függvényében fúráskor* $(\dot{V}_{olaj} = 28cm^3/h)$

3. A fúrási folyamat modellezése

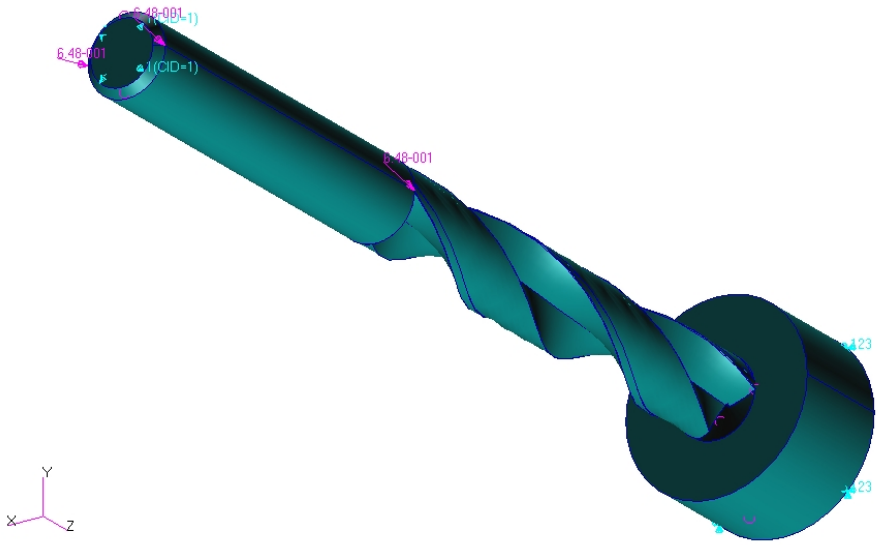
A fúrószerszám és a munkadarab CAD modelljét elkészítettük, a két szilárd testet egymáshoz viszonyítva pozícionáltuk (3. ábra). A fúrás kezdeti szakaszát modelleztük, amely során a keresztél még működik, és a fúrószerszám még nem hatol mélyen a munkadarabba.

A fúró befogott, hengeres felületére alkalmaztuk az előtoló és forgató erőrendszert (az ábrán lila nyilak mutatják az eredőjét). Ezt az erőrendszert a tokmány fejti ki a szerszámra. Bár a kísérletekből megtudtuk, hogy ez az erő időfüggő, és erősen oszcillál a fúrás során, a jelenlegi számításokban időtől független erőrendszert vettünk fel. Az előtoló erő 1kN, a forgatónyomaték pedig 1 Nm. Ezek az értékek a fúrás kezdeti, „felfutó" szakaszára jellemző, viszonylag kis terheléseknek felelnek meg. A szerszám fedőlapjára kinematikai kényszert definiáltunk, amely megtiltja annak radiális elmozdulását a forgástengelyre vonatkoztatva. A munkadarab alsó lapját befogtuk, azaz pontjainak mindhárom szabadsági fokát elvettük.

Az érintkezési feladat megadásakor a súrlódási együtthatóra 0.2 értéket vettünk fel. A munkadarab és a fúrószerszám deformálható testként szerepelt a feladatban. A testek közötti érintkezést kétoldalú vizsgálattal detektáltuk, úgy, hogy a diszkretizált modell alapján fogalmaztuk meg az érintkezés kritériumát.

A végeselem felosztás elkészítésekor kvadratikus, 10 csomópontú tetraéder elemeket használtunk. A fúrószerszám élén lokális sűrítést alkalmaztunk. Ennek az

a célja, hogy a feszültségállapotot és a deformációt pontosabban lehessen közelíteni azokon a helyeken, ahol a célfüggvényeknek várhatóan nagy a gradiense.

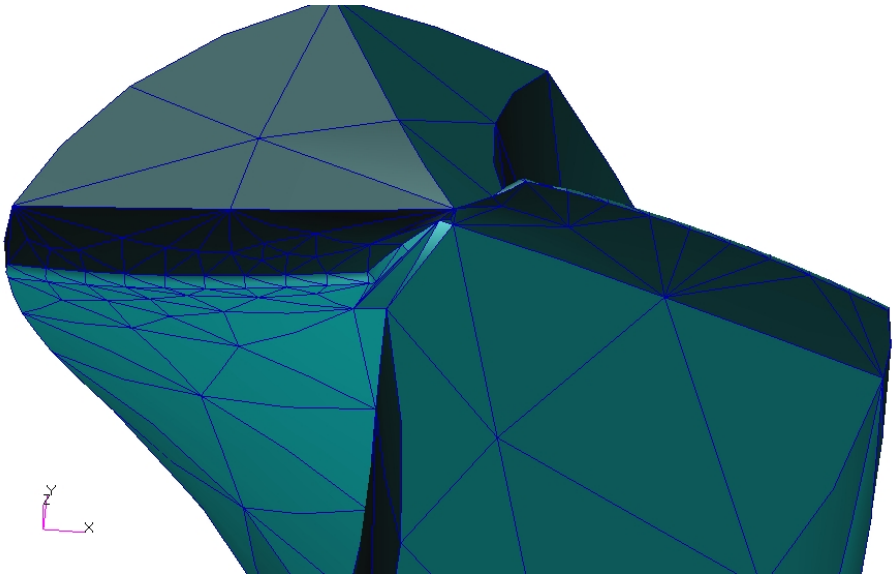


3. ábra. *A fúrószerszám és a munkadarab CAD modellje a terhelésekkel és a többi peremfeltétellel*

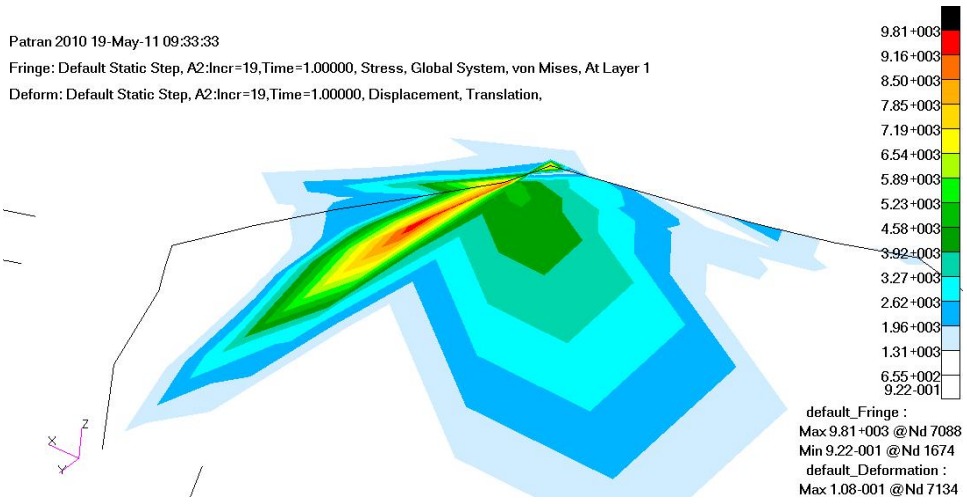
A végeselem modellezést explicit nemlineáris számítással végeztük el. Ehhez az MSC szimulációs programcsomagjából a Marc szoftvert használtuk [4]. A számítás során a peremfeltételeket azonnal, a terheléseket pedig több lépésben fokozatosan alkalmaztuk a rendszerre, 19 lépésben, adaptív inkrementálással. Ehhez 5,17 óra gépidőre és 4,5 GB munkamemóriára volt szükség.

Az 5. ábra a fúrószerszámban kialakult Mieses szerinti redukált feszültség eloszlását mutatja. Ez a redukált feszültség megmutatja, hogy hol szenved maradandó alakváltozást a szilárd test az igénybevétel következében. Azokon a helyeken, ahol a Mieses szerinti feszültség meghaladja a folyáshatárt, ott rugalmatlan deformáció, repedés, törés következhet be.

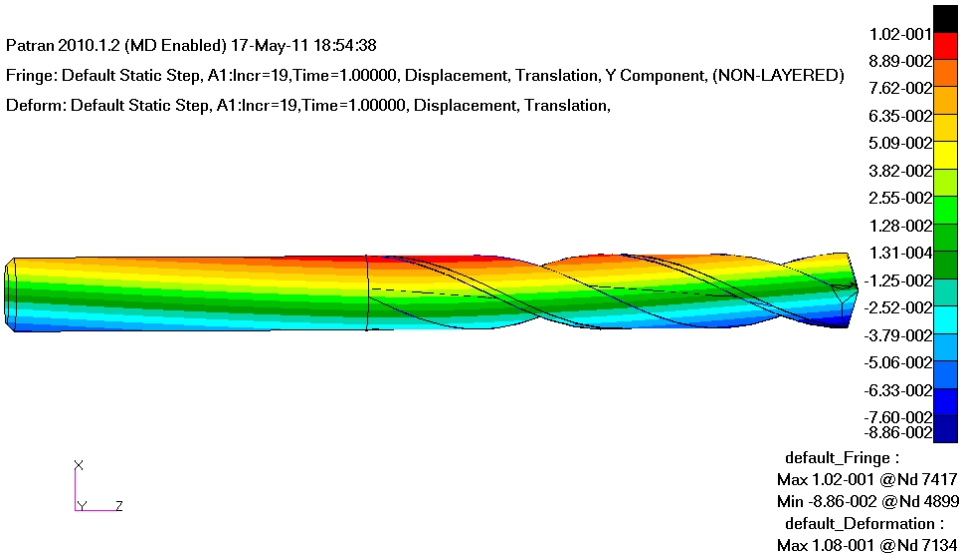
Az 5. ábrán látható, hogy a Mieses szerinti feszültség legnagyobb értékei a keresztélen lépnek fel. Ez összhangban van azzal a tapasztalattal, hogy a szerszám használatának kezdetekor, azaz kicsi fúrási úthosszak mellett a keresztél még éles, de gyorsan kopik.



4. ábra *A végeselem felosztás elkészítésekor a fúrószerszám élein lokális sűrítést alkalmaztunk*



5. ábra. *A Mises szerinti redukált feszültség a fúrószerszám élein. Az alacsony feszültségű helyek színe fehér az eredmények jobb láthatósága érdekében (ld. a színskála alsó részét)*



6. ábra. *A fúrószerszám elmozdulásának y irányú összetevője*

A 6. ábra a fúrószerszám alakváltozását mutatja. Az elmozdulás mező vektorainak y irányú koordinátáját mutatja a test mentén. Feltűnő, hogy ez nem hengerszimmetrikus a szerszám fogástengelyére vonatkozóan. Mivel a munkadarab teljesen hengerszimmetrikus, a fúró elhelyezése is az, valamint a fúrószerszám alakja is kétértékű forgásszimmetriával bír, az elmozdulás mezőnek ezt az aszimmetriáját nem a terhelés vagy az elrendezés aszimmetriája okozza, hanem a fúrószerszám igen kismértékű kihajlása, ami az erőhatások szimmetriáját is megszűnteti. Az a tény, hogy ezt a jelenséget a sztatikai számítás is kimutatja, azt jelzi számunkra, hogy a fúrás dinamikai vizsgálata során is jelentősége lesz, és valószínűleg jelentős járulékot ad a fúrás során fellépő erős rezgésekhez.

4. Összefoglalás

Környezetbarát fúrási kísérleteink adataira alapozva a fúrás folyamatának kvázistatikus szimulációját végeztük el. A modell felépítésekor a fúrási folyamat kezdeti szakaszának megfelelő terheléseket alkalmaztuk a szerszámra. A kis fúrási úthosszakra jellemző állapotot szimuláltuk, amelyben a keresztél még éles. A számításainkat explicit nemlineáris végeselem modellezéssel végeztük el, melynek során adaptív inkrementálást alkalmaztunk.

Számításainkkal kimutattuk a keresztélen kialakuló igen nagy feszültséget, amely annak gyors kopásáért felelős.

Az alakváltozás vizsgálatakor kismértékű, de az erőtani viszonyokat erősen befolyásoló kihajlást tapasztaltunk. Még további vizsgálatokat igényel annak kimu-

tatása, hogy ez milyen kapcsolatban áll a fúrás során kialakuló rezgési jelenségekkel, de azt feltételezzük, hogy ez a kapcsolat fontos a folyamat megértése szempontjából.

Munkánk folytatásaként tervezzük a fúrási folyamat további szimulációját kvázistatikus esetben, majd a dinamikai vizsgálatokat is.

5. Köszönetnyilvánítás

Ez a dolgozat a Nyíregyházi Főiskola „Helikoid és csavarfelületek" kutatócsoportja, CAD-CAM és additív gyártás alcsoportjának keretei között készült.

Kutatásainkat a Baross Gábor Program támogatásával, az „nyfmmk09" jelű, „Menetfelületek korszerű kutatásához szükséges eszközpark kiépítése a Nyíregyházi Főiskolán" című pályázati projekt keretében végeztük.

A modellszámítások elvégzéséhez részben a Nyíregyházi Főiskola Informatikai Szolgáltató Központjának erőforrásait használtuk.

A tanulmány részben a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával készült.

6. Felhasznált irodalom

[1] WEINERT, K.: *Trockenbearbeitung und Minimalschmierung*. Springer Verlag Berlin 2000.

[2] IGAZ, J., PINTÉR J., KODÁCSY J.: *Minimálkenés* Gépgyártás XLVII. évf. 2007. 4.sz pp.: 22-31

[3] DEZSŐ G., VARGA GY., SZIGETI F., PÉTER L.: *Csigafúró igénybevételeinek vizsgálata kísérleti úton és modellezéssel*, GÉP, LX 9-14 (2009/12) ISSN 0016-8572

[4] MSC softwares, Academic Simulation Bundle, 2010.

[5] SZIGETI F., VARGA GY., DEZSŐ G.: *Experimental Investigation on Roughness of Drilled Surfaces Resulted from Environmentally Conscious Machining*, Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome viii (year 2010). Fascicule 3, pp.: 313 – 317, ISSN 1584 – 2673

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 159-166.

SPIROID CSIGA MATEMATIKAI, GEOMETRIAI MODELLEZÉSE ÉS GYORS PROTOTÍPUS GYÁRTÁSA

Dr. Dudás Illés[1], Bodzás Sándor[2]
[1] *egyetemi tanár, illes.dudas@uni-miskolc.hu*
[2] *főiskolai adjunktus, PhD hallgató, bodzassandor@nyf.hu*
[1,2]*Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, H-3515 Miskolc, Egyetemváros*
[1,2]*Nyíregyházi Főiskola, Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológia Tanszék, H-4400, Nyíregyháza, Sóstói u. 9-11.*

Összefoglalás

A cikk a spiroid csiga-felület matematikai modellezését mutatja be általános esetben. Terveztünk egy spiroid csigahajtást, melyről 3 dimenziós modellt készítettünk, majd a virtuális modell alapján Rapid Prototyping eljárással elkészítettük a csigatengely fizikai modelljét a további gyártásgeometriai kutatásaink céljából.

Kulcsszavak: *gyors prototípus gyártás, kúpos csigatengely*

Abstract

We introduce the mathematical modelling of spiroid worm surface in universal occurrence. We worked out a spiroid worm gear drive from which 3 dimensional model can be prepared, then based on the virtual model using Rapid Prototyping method we prepared the physical model of the worm shaft for our following production geometric research work.

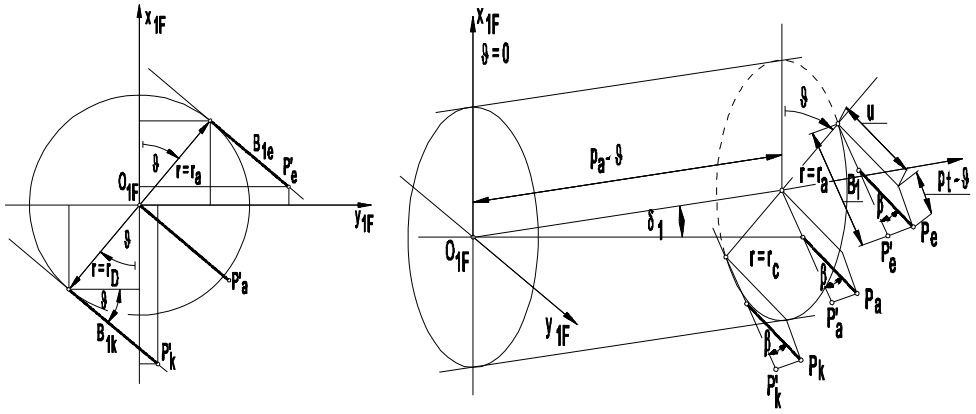
Keywords: *Rapid Prototyping production, spiroid worm*

1. Bevezetés

A valóságos prototípusok gyártása költséges és viszonylag lassú folyamat. A vizuális realitás módszereivel élethűen megjelent geometriai modell számos kérdésre választ ad, amelyet a prototípustól várunk. Ennek ellenére gyakran van szükség fizikailag létező prototípusokra. A módszer az alak rétegekre bontásán, majd a prototípusnak a rétegekre vonatkozó információk alapján való rétegenkénti felrakásán alapul. A Rapid Prototyping kifejlesztése lehetővé tette a cégeknek, hogy gyakrabban, valamint kevesebb költséggel, rövidebb idő alatt ellenőrizzék és változtassák meg a konstrukciókat.

2. Kúpos csavarfelületek matematikai modellezése

A spiroid hajtópár kúpos csigájának fogfelületét hasonló módon lehet származtatni, mint a hengeres csigáét, de a szerszám axiális elmozdulásával (p_a) egy időben – a csiga kúposságától függő – a szerszám tangenciális (p_t) előtolását is biztosítani kell [2, 4]. A kúpos csavarfelületek általános pontjainak célszerű megadásával az általános felületi ponthoz tartozó helyvektorok olyan alakjához jutunk, melyekből kiindulva felírhatjuk a háromféle kúpos csavarfelület általános alakját (1. ábra).



1. ábra. *Vonalfelületű kúpos csavarfelületek származtatásának összefoglaló ábrája*

$$\vec{r}_{1F} = \begin{bmatrix} -B_1 \cdot sin\vartheta + r \cdot cos\vartheta \\ B_1 \cdot cos\vartheta + r \cdot sin\vartheta \\ u \cdot sin\beta + p_a \cdot \vartheta \\ 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

Az (1) általános alak:

- $r = 0$ esetén archimedesi;
- $r = r_a = p_a \cdot ctg\beta - p_t > 0$ esetén evolvens;
- $0 < r = r_D < r_a$ esetén konvolut csavarfelületet ad.

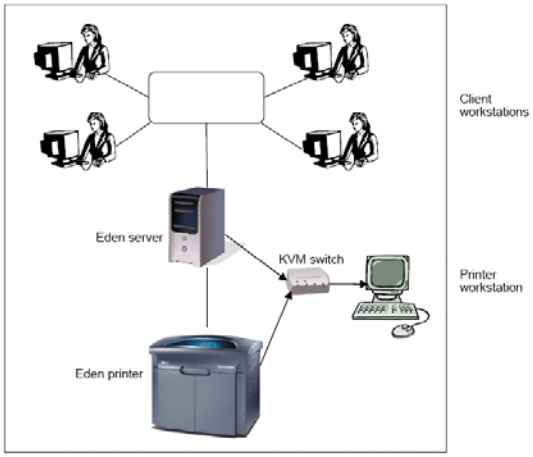
3. Az EDEN 3D nyomtató bemutatása

A Nyíregyházi Főiskola Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológia Tanszékén található EDEN 3D nyomtatóval (2.a. ábra) állítottuk elő a kúpos csigatengelyt. Célunk a csigatengely geometriai ellenőrzése és a gyártáskor adódó esetleges hibák feltárása.

Az EDEN 500V / 350V / 350 gépet használhatjuk egyedülállóan vagy több felhasználó által elérhető rendszerként. Amennyiben bekapcsoljuk a helyi hálózatba a gép több felhasználót is képes kiszolgálni. Az egyes felhasználók előkészíthetik az Objet Studio szoftverrel a feladatokat. A szerver gép, amelyik a közvetlenül a nyomtatóval van összekötve, mint feladat menedzser elküldi az adatokat a nyomtatónak (3. ábra).

a) b)

2. ábra. *Az EDEN 3D nyomtató (a) és a nyomtatófej elrendezés (b)*



3. ábra. *A rendszer összeállítása*

Az Objet program a fontosabb adatokat megkapja a szerver géptől, mint a gyanta típusát, a feladat sorszámát és más fontos információkat. Több felhasználós kialakítás esetén a szerver gépet üzemeltető felhasználó, mint gyártásirányító, felügyeli a különböző feladatokat. Teljes jogosultsága van az összes nyomtatásra,

megváltoztathatja a nyomtatási sorrendet, törölhet feladatot, újra indíthat korábbi nyomtatást, megváltoztathatja munkatér berendezését, stb.

Az EDEN 3D nyomtató térbeli modelleket készít, amelyeket az általában alkalmazott 3D CAD rendszerekkel vagy különleges felhasználásra készített programokkal lehet készíteni. Az EDEN rendszer a következő fájlformátumokból tud feldolgozni:

- STL (Standard Triangulation Language);
- SLC (Stereo Lithography Contour).

Az EDEN rendszer mind a két formátumot tudja egyszerre kezelni (egy munkatérbe két különböző fájl).

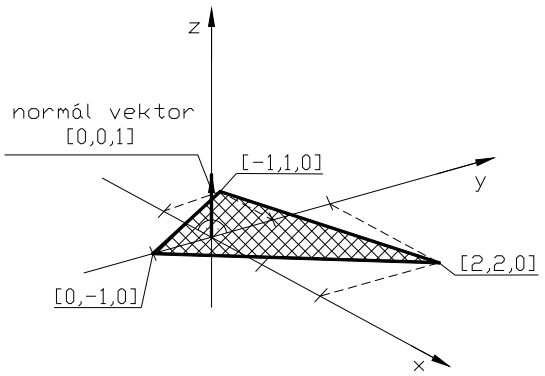
Az eredmények a prototípus elkészítése előtt a tervezőrendszerben vagy a gyors prototípus-gyártó berendezés vezérlésének képernyőjén ellenőrizhetők.

4. Az STL fájl létrehozása

Az STL fájl a Rapid Prototyping iparág szabványosított adatátviteli formátuma, amelytől megkívánjuk, hogy a legkülönfélébb eljárások számára is felismerhető, feldolgozható, azaz kompatibilis legyen [1].

Az STL fájl kölcsönösen megfeleltethető egy 3D nyomtatott alkatrésszel. Ez a formátum a szilárdtest modell felületét háromszögekkel közelíti. Minél bonyolultabb a felület, annál több háromszöget kell létrehozni.

```
solid
 . . .
 facet normal 0.00 0.00 1.00
  outer loop
    vertex  2.00   2.00   0.00
    vertex -1.00   1.00   0.00
    vertex  0.00  -1.00   0.00
  endloop
 endfacet
 . . .
endsolid
```

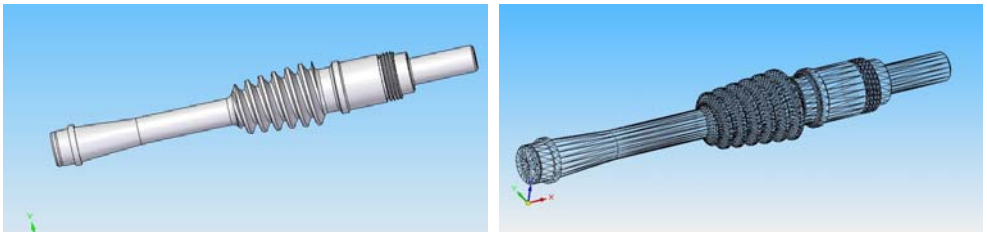


4. ábra. *Elemi háromszögelem*

Az STL fájloknak két formátuma van, egy szöveges (ASCII), illetve egy bináris. A szöveges leírás előnye, hogy könnyen módosítható, viszont kissé nehézkes a vele való dolgozás, és viszonylag nagy tárterületet foglal el. A bináris kódolás nagy előnye, hogy sokkal kisebb a fájl mérete, amely a hálózati adatátvitel során nélkülözhetetlen.

Az ASCII fájlnak a kisbetűs „solid” kulcsszóval kell kezdődnie és az „endsolid” szóval kell végződnie. Ezen kulcsszavakon belül ez egyes háromszögek listája található, amelyek a szilárdtest felületét definiálják. Minden egyes független háromszög leírása egy normál egységvektort igényel, amely a szilárdtest felületéből kifelé mutat. Majd ezt követi a három csúcspont (x, y, z) koordinátáinak megadása (4. ábra). Ezen értékek mindegyike Descartes-koordináta rendszerben megadott lebegőpontos adatok. Ezen háromszög értékeknek mind pozitívnak és az építési térfogaton belül kell lenniük.

Az általunk tervezett kúpos csigatengely modelljét (5.a. ábra) Solid Edge tervezőszoftver segítségével STL formátummá konvertáltuk (5.b. ábra).



a) b)

5. ábra. *Spiroid csigatengely modell (a) és az STL modell (b)*

5. A modell elhelyezése a gyártótérben

Az Objet Studio programmal készítjük elő a forrás adatokat az EDEN 3D nyomtatóban való gyártásra [3]. Az Objet Studio lehetőséget biztosít többfajta fájl művelet végrehajtására, az alap eljárás a következő:

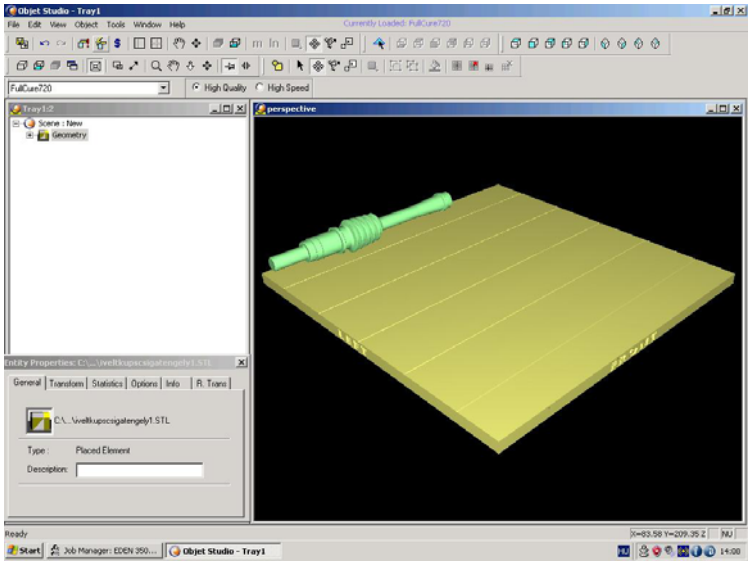
1. Alkatrész beillesztése a munkatérbe;
2. Objektumok pozícionálása a munkaasztalon;
3. Objektumok és a munkatér paramétereinek a beállítása;
4. A berendezett munkatér minden paraméterének mentése otf formátumban;
5. Otf fájl küldése az EDEN 3D nyomtatóra.

A program egy üres munkateret ábrázolva indul el. Alkatrészek gyártásához modelleket kell a munkatérbe importálni, elhelyezni. Ha tudjuk milyen alapanyagból akarjuk gyártani az alkatrészt ellenőrizzük, hogy a megfelelőt választottuk-e ki a modell anyag panelen.

Nem kötelező kiválasztani az alapanyagot, de javasolt, mivel minden alapanyag egyéni tulajdonságokkal rendelkezik ezért a pontos elhelyezést befolyásolja a munkaasztalon.

Egy alkatrészt többszörözve is beilleszthetünk a munkatérbe. Az alkatrész kiválasztásához egyszerűen csak rá kell klikkelni a munkatérben vagy a munkaasztal listában. A munkatérben az alkatrész színe megváltozik (világos kékre) és kijelölődik a listában (6. ábra).

Az Objet Studio program automatikusan elrendezi a beillesztett objektumot. Ugyanakkor ellenőrizni kell, hogy a modell az általunk kívánt elhelyezkedéssel került-e a munkatérbe, amennyiben nem megfelelő megváltoztathatjuk.



6. ábra. *Csigatengely pozícionálása a munkatérben*

Az alkatrészek elhelyezése a munkatérben befolyásolja milyen gyorsan és hatékonyan fogja a gép legyártani a mintadarabokat. Mennyit és hova építi a támasztékanyagot és vajon melyik alkatrész lesz fényes. Ennek megfelelően lehetőség van különböző opciók beállítására, eldönteni az alkatrészek elhelyezését a tálcán.

6. A Job Manager program használata

A Job Manager használata során különbséget kell tenni a kliens munkaállomás és azon számítógép között amelyik közvetlenül kapcsolódik az EDEN nyomtatóhoz.

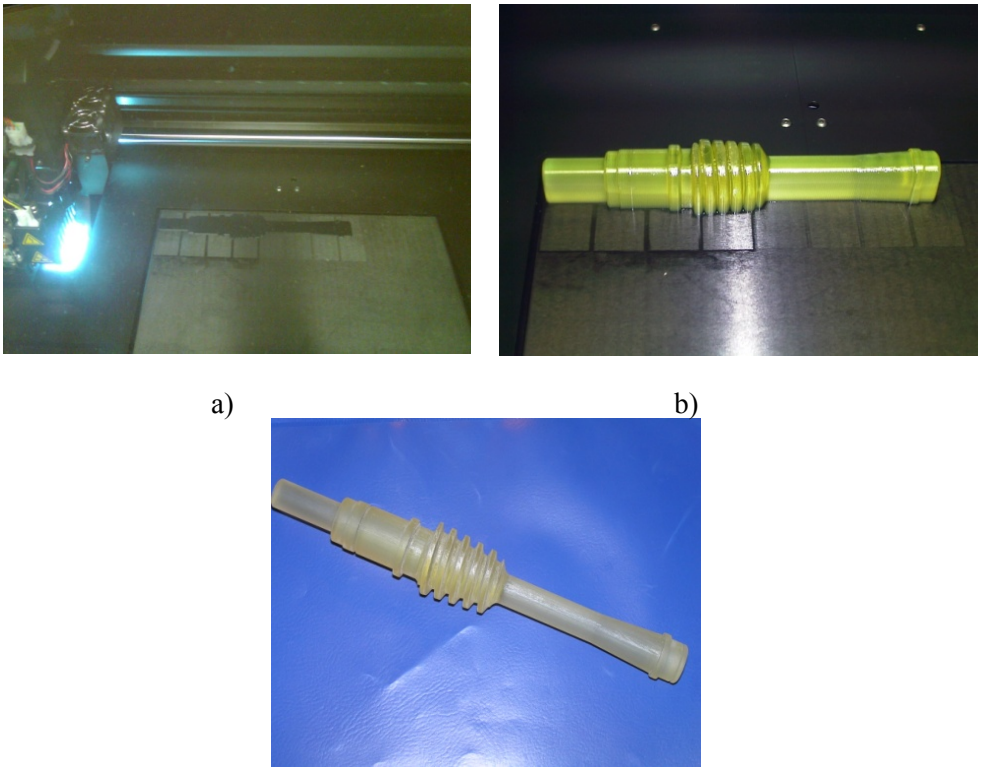
A kliens számítógép Job Manager-e csak a nyomtatásra váró feladatok sorát mutatja és azok státuszát, amelyek arról a számítógépről lettek elküldve. A közvetlenül a nyomtatóval összekötött (server) számítógép Job Manager-e mutatja az összes klienstől sorba állított nyomtatási feladatot és annak státuszát [3]. Itt lehet a megváltoztatni a feladatok sorrendjét vagy esetleg megváltoztatni a nyomtatási feladatot. Itt lehetőség van a már elkészült feladatok újra nyomtatását kérni.

7. A spiroid csigatengely gyártása

A 7.a. ábrán látható a csigatengely rétegenkénti nyomtatása. A fej balról jobbra halad, majd üresjáratban jobbról balra, eközben az asztal, amire nyomtat folyamatosan lefelé süllyed. A nyomtatás során a modellt anyagtakarékosság és költség szempontjából a felére kicsinyítettük.

A 7.b. ábrán látható az éppen elkészült modell támaszanyaggal körbevéve. A támaszanyagot először kézzel, majd NaOH oldattal eltávolítva kapjuk a kész modellünket (7.c. ábra).

Az eredményünk egy termék, amely az első alkalommal már működik, kevesebb pénzt és időt kell fordítani a tervezésre és gyártásra, kielégíti a vásárlói igényeket, gyorsabban piacra kerül, így rövidebb a megtérülési ideje, különböző geometriai vizsgálatokra alkalmas, stb.



a) b)

c)

7. ábra. *A csigatengely rétegenkénti nyomtatása (a), az elkészült modell támaszanyaggal körülvéve (b) és az előállított csigamodell (c)*

8. Összefoglalás

A cikkben bemutattuk a spiroid csiga felület matematikai modellezését általános esetben. Terveztünk egy spiroid csigahajtást, elkészítettük ezen hajtás tengelyének geometriai modelljét. További geometriai, gyártásgeometriai, kapcsolódási és méréstechnikai vizsgálataink céljából elkészítettük a csigatengely fizikailag létező modelljét Rapid Prototyping eljárással.

9. Köszönetnyilvánítás

Ez a kutatás a Nyíregyházi Főiskola Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológia Tanszék "Csavarfelületek, Menetfelületek Kutatócsoport" keretében készült munka. A kutatócsoport a I. Modellezés, CAD, CAM, a II. Minőségbiztosítás, CAQ, TQM, Rapid Prototyping és a III. Szerkezet integritás terén kezdte meg munkáját. Témavezető: Dr. Dudás Illés, egyetemi tanár. A cikk a Modellezés, CAD, CAM, Rapid-prototyping kutatócsoport munkája.

10. Irodalomjegyzék

[1] Dr. Dudás Illés: *Gépgyártástechnológia III.*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2005 (ISBN 963 661 572 1)

[2] Dr. Dudás Illés: *The Theory and Practice of Worm Gear Drives*. Penton Press, London, 2000. (ISBN 1 8571 8027 5)

[3] *Eden Family 3-D Printing System*, Operator Training Guide Basic Course, 2009. Object Geometries Ltd., November 2009.

[4] Hegyháti József: *Untersuchugen zur Anwendung von Spiroidgetrieben*. Diss. A. TU. Desden,1988.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 167-172.

VÁPA ÖSSZETETT VIZSGÁLATA

Dudás Illés[1], Monostoriné Hörcsik Renáta[2]
[1]DSc professzor, Gépgyártástechnológiai Tanszék, Miskolci Egyetem, H-3515 Miskolc, Egyetemváros, 06-46-565-160, illes.dudas@uni-miskolc.hu
[2]PhD hallgató, Gépgyártástechnológiai Tanszék, Miskolci Egyetem, H-3515 Miskolc, Egyetemváros, 06-46-565-160, renata.horcsik@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

Az ízületi károsodás az életminőség roppant mértékű romlásával járhat. Az életminőséget javítandó a világon jelenleg több mint hétszázezer, Magyarországon körülbelül tízezer nagyízületi (csípő-, térd stb.) protézist ültetnek be évente. Ízületi protézis beültetésével, implantálásával látványosan javulhat a beteg életminősége. Jelenleg körülbelül 10 év egy protézis várható átlagélettartama [1]. Sajnos, ezután a protézis gyakorta kilazul, ezért protéziscserére van szükség. A cikkben bemutatásra kerül kioperált csípőízületi protézisek (vápák) 3D-s méréstechnikai elemzése és a mérési pontok rekonstruálása 3D-s tervező program segítségével. Továbbá geometriai kialakítása, modellezése és végeselemes vizsgálata

Kulcsszavak: *csípőízületi protézis, vápa, 3D-s mérés, rekonstrukció, végeselemes vizsgálat*

Abstract

Damage in the joints may entail deterioration of life quality to a great extent. More than seven hundred thousand big joint (hip-, knee, etc.) prostheses are implanted annually in the world to improve the quality of life, and this number in Hungary amounts to approximately ten thousand. Currently the lifetime of prostheses is approximately 10 years [1]. Unfortunately, prostheses are often lost beyond this period, thus replacement is needed. In this paper the geometric construction, modelling and Finite Element Analysis of the hip-joint prostheses will be introduced.

Keywords: *a hip-joint prosthesis, socket, 3D measurement, reconstruction, finite element method!*

1. Bevezetés

A csípőízületi protézis (1. ábra) az egyik legkomplikáltabb nagyízületi protézis, mivel háromdimenziós mozgást kell biztosítania. A csípőprotézis (az implantátum) vagy rozsdamentes acélból, vagy más fémből, például titánból készülő szárból és gömbfejből, valamint egy polietilén "ellendarabból" áll. A műanyag ellendarabban - amelyet a csípőcsontba ültetnek be - forog a fém gömbfej.

1. ábra. *Csípőízületi protézis*

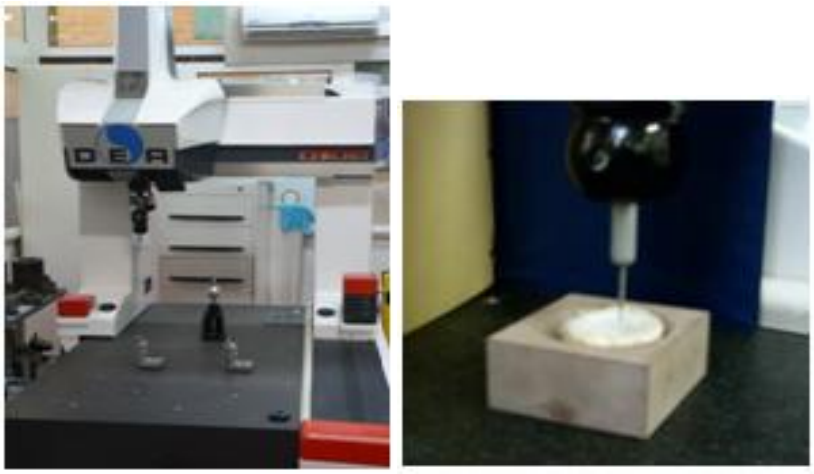
2. Vápa

Az egyenletes csontcement vastagság biztosítására a külső gömbfelületen bütykök vannak. Speciális esetben a támasztási funkció növelése miatt aszimmetrikusan elhelyezett fogazott peremű kivitele is választható. Beépítés utáni Rtg. ellenőrzések biztosítására két egymásra merőleges síkban jelzőhuzallal van ellátva a vápa (2. ábra). Beépítéséhez csontcement használata szükséges [4,5].

2.ábra. *Vápa [6]*

Vápa mérése

A méréseket a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszéken megtalálható DEA típusú mérőgépen végeztük (3. ábra).



***3.ábra**. Vápa mérése*

3. Mérési pontok rekonstruálása

A mérési pontok rekonstruálása többféle 3D-s tervezőprogram segítségével történt, melyeknél a számítógépi geometria és grafika alapjait használtam fel. Így például a görbék megszerkesztéséhez a Hermite – interpolációt [2].

Hermite – interpoláció

A harmadrendű Hermite – interpolációnál nemcsak az interpolálandó pontokat, hanem ezekben az érintővektorokat is ismertnek tételezzük fel. Adott a p0 és p1 pont, valamint t0 és t1 érintővektor. Keressünk egy olyan

$$\mathbf{a(u)= a_0+a_1u+a_2u_2+a_3u_3} \qquad (1)$$

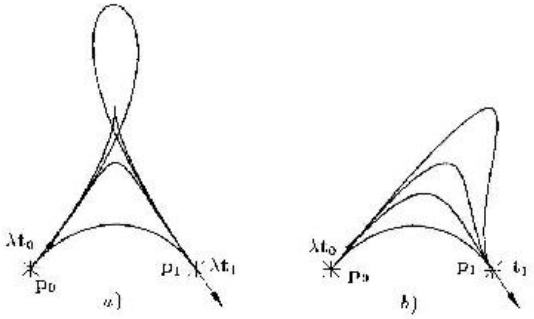
harmadfokú polinommal meghatározott görbét, amelyre

$$a(u) = p_0 H_0^3(u) + p_1 H_1^3(u) + t_0 H_2^3(u) + t_1 H_3^3(u)$$

ahol

$$H_0^3(u) = 2u^3 - 3u^2 + 1$$
$$H_1^3(u) = -2u^3 + 3u^2$$
$$H_2^3(u) = u^3 - 2u^2 + u$$
$$H_3^3(u) = u^3 - u^2.$$

Ezek segítségével megrajzolt Hermite – ívek az alábbi ábrán (4. ábra) láthatóak.

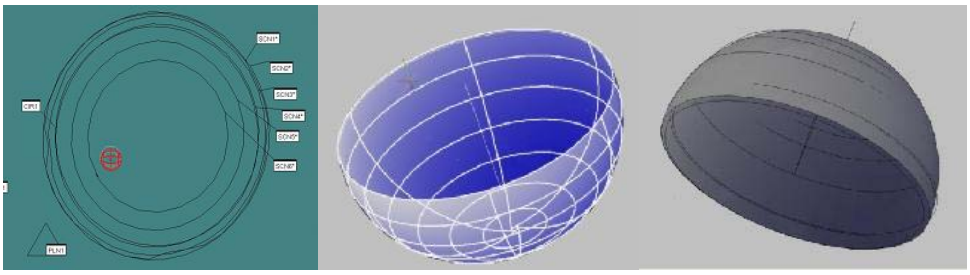


4.ábra. *Hermite – ív alakok [2]*

A mért pontokat CAD szoftverekkel rajzoltuk meg (többek közt AutoCAD tervezői szoftver) és értékeltem ki.

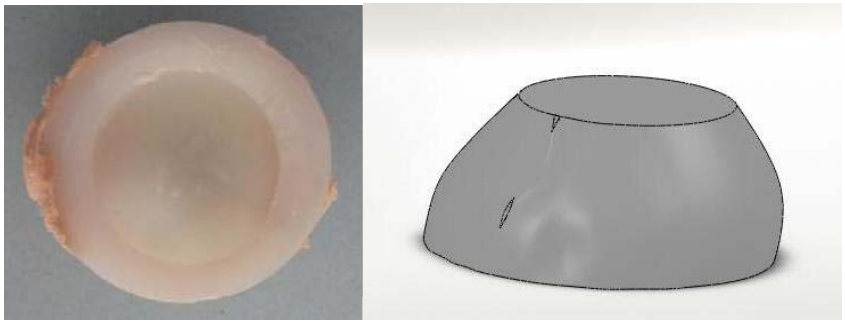
Lépések:

- pontok bevitele a szoftverbe (a mért pontok koordinátáit bevitele az Auto-CAD szoftverbe);
- szintvonalak megrajzolása (a bevitt mért pontokra illesztve) (5. ábra);
- Hermite – ívek megrajzolása (a mért pontokra Hermite – ívet interpolálunk);
- a görbék megforgatása –felület (a forgástengely körül) (5. ábra);
- eltérések kirajzolása (5. ábra).



5.ábra. *Rekonstruálás*

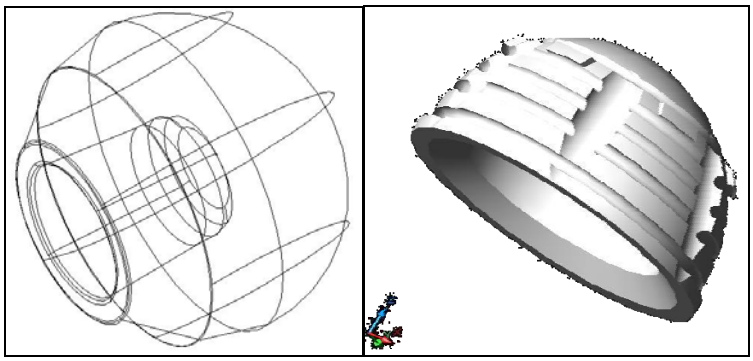
Az elméleti felület után megrajzoltuk a tényleges felületeket, melyeken már egyértelműen látszódnak a torzulások, ki- és betüremkedések. Az alábbi ábrán a mért vápákból egy példa látható (6. ábra).



***6.ábra**. Vápa és modellje*

4. Modellezés

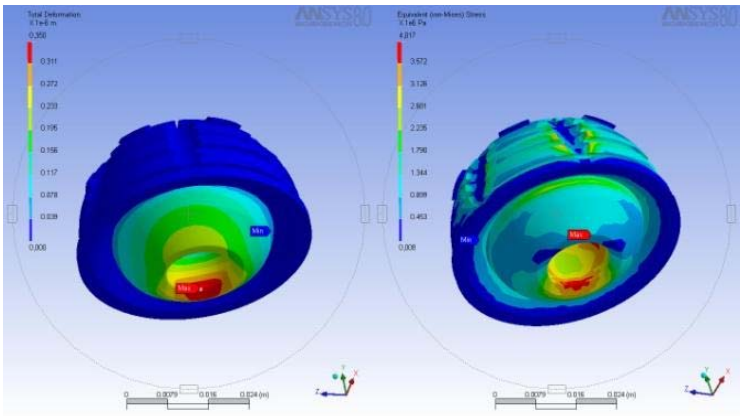
A gömbfej és a vápa 3D-s modelljének (7. ábra) létrehozásához felhasználtuk az „etalon”vápa 3D-s mérési eredményeit és a gömbfej és a vápa előírásban szereplő adatait. A tervezéshez Solid Edge tervező szoftvert használtunk, mivel az így elkészített 3D-s modellt tudjuk használni a végeselemes modellezésnél.



***7. ábra**. Gömbfej és vápa modellje*

5. Végeselemes vizsgálat

A végeselemes vizsgálatot az ún. ANSYS szoftverrel végeztük el [3]. A vizsgálat több lépésből tevődött össze. Először egymásba helyeztük a gömbfejet és a vápát és egy erő hatott a középpontban (8. ábra). A vizsgálat után külön-külön elemeztük a vápára ás gömbfejre a kapott eredményeket. Majd egy csavaró nyomatékot tettünk a rendszerre és így vizsgáltuk. Az analízis során figyeltük a külön a gömbfejre és a vápára kapott feszültség és deformáció értékeit.



***8. ábra**. Végeselemes vizsgálat (gömbfej és vápa együtt)*

6. Összefoglalás

Bemutattuk a nagyízületi protézist, azon belül pedig a vápával foglalkoztunk részletesen. Néhány páciensből kioperált vápa ellenőrzését hajtottuk végre, 3D-s mérőgép segítségével. A mérési adatokat feldolgoztuk és különböző CAD-s szoftverek segítségével rekonstruáltuk a mért pontok koordinátáit. Ezekből kaptunk egy elméleti felületet és a tényleges, deformálódott felületet. Megrajzoltuk a Solid Edge tervező szoftver segítségével a gömbfej és vápa 3D-s modelljét. Ezen modelleket felhasználva az ANSYS végeselemes szoftverrel elemeztük a gömbfej és vápa feszültség és deformáció értékeit. Minden esetben először együtt vizsgáltuk, majd pedig külön a gömbfejet és külön a vápát. A kapott eredmények a várakozásainknak megfelelnek.

7. Irodalomjegyzék

[1] HORÁNYI GÁBOR: *Protézisek élethosszig* (Beszélgetés Bertóti Imre professzorral). Élet és tudomány, 2002. 11. szám

[2] JUHÁSZ IMRE: *Számítógépi geometria és grafika*. Miskolci Egyetemi Kiadó, 1993.

[3] DR. SZABÓ F. – BIHARI Z. – SARKA F.: *Termékek, szerkezetek, gépelemek végeselemes modellezése és optimálása*, Szakmérnöki jegyzet, Miskolc 2006.

[4] DUDÁS, I.- FELHŐ CS.-ZSOLDOS G.:Rapid Prototyping and Medical Prostheses Manufacturing Research at the University of Miskolc. *Rapid Prototype alkalmazása az orvostudományban.* MTA Debreceni Területi Bizottsága, Debrecen, 2006. október 13.

[5] www.metrimed.hu, www.protetim.hu

[6] www.econengineering.com

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 173-180.

A TECHNOLÓGIAI PARAMÉTEREK HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA KOPÁSÁLLÓ ACÉLOK KÖRNYEZETTUDATOS FÚRÁSA SORÁN

***Kovács Attila, **Varga Gyula, ***Szigeti Ferenc**

**főiskolai tanársegéd, **egyetemi docens, ***tanszékvezető főiskolai tanár*
**, **Nyíregyházi Főiskola, Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológiai Tanszék*
4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31/b
**kovacs.attila@nyf.hu , **szigetif@nyf.hu*
***Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék*
3515, Miskolc, Egyetemváros
gyulavarga@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A Nyíregyházi Főiskola Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológia Tanszékén a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékével szoros együttműködésben 2006 óta folynak minimálkenéssel kapcsolatos kutatások. Ezek az öntvény forgácsolási kutatások kiegészültek a kopásálló HARDOX acél környezetbarát megmunkálással. Jelen cikk bemutatja a kopásálló acél környezetbarát fúrási kísérleteinek legújabb eredményeit.

Kulcsszavak: *Környezetbarát megmunkálás, fúrás, nyomaték, erő, kopás, felületi érdesség*

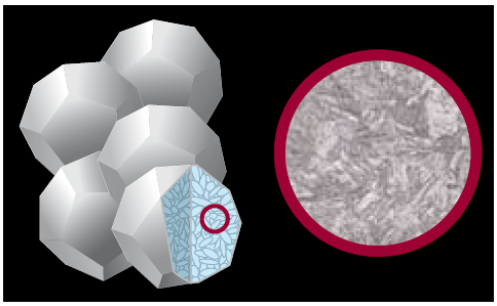
Abstract

Research on minimal volume lubrication is in progress since 2006 at Department of Production Engineering, College of Nyíregyháza in cooperation with Department of Production Engineering, University of Miskolc. These cutting researches were supplemented with drilling experiments of hard wearing HARDOX steels. This paper shows the newest results of the research work.

Keywords: *environmentally friendly machining, drilling, force, torque, wear, surface roughness*

1. Bevezetés

Korunkban a környezet terhelése egyre nagyobb, ami arra ösztönzi a mérnököket, hogy gyártástervező tevékenységüket környezettudatosan végezzék. A termékek megvalósítási, előállítási folyamatában is csökkenteni kell a környezet terhelést növelő szennyező anyagok használatát, illetve a környezetet szennyező anyagokat meg kell semmisíteni. A környezet terhelés csökkentésének hatékony módja lehet az egyre szélesebb körben terjedő minimálkenés alkalmazása, vagy a szárazon történő forgácsolás [1], [2], [8]. Ezen eljárások hátránya, hogy a szerszám élettartama csökkenni fog, jelentősebb lesz a forgácsoló szerszám kopása, a súrlódás megnő, ennek következtében nagyobb lesz a szerszám és a munkatér hőmérséklete



1. ábra. *A HARDOX acél nemesítése egyedülálló [6]*

[3], [4], [5]. A felvetett probléma még bonyolultabb kopásálló acélok környezetkímélő megmunkálása esetén. Ilyen kopásálló acél a HARDOX 450 típusjelű acél is.

A HARDOX kopásálló lemezeknek nagyon szigorú olyan követelményeket kell kielégíteniük, mint állandó minőség, síklapúság és felületi állapot (1. ábra).

Kivételesek azok az anyagok, melyek olyan tulajdonságokkal rendelkeznek, hogy egyidejűleg nagy a keménységük, szilárdságuk és kiváló ütésállóság jellemzi őket. Ilyen anyag a HARDOX kopásálló acéllemez, mely széles felhasználási területre alkalmas. A HARDOX acélok az 1970-es évektől vannak a piacon, és fejlesztésük folyamatos a vásárlói kívánalmak kielégítése érdekében. A lemezeket 3mm-től 130mm vastagságig gyártják. A HARDOX lemezek nagy keménysége és kopásállósága jelentősen megnöveli a végtermékek hasznos élettartamát. A HARDOX acélok növelt szilárdságuk következtében nagyon jól bírják az alacsony hőmérsékletet is.

Viszonylagosan jól forgácsolhatók, használatukkal egyszerű a gyártás és a felújítás. A HARDOX 450 kopásálló acél keménysége 450 Brinell, néhány további jellemzőt az 1. táblázat tartalmaz.

1. táblázat. *A HARDOX és a hagyományos acél jellemzői [6]*

Acél típusa	Rugalmassági határ (N/mm^2)	Szakító szilárdság (N/mm^2)	Brinell keménység
S235 vagy St 37-2 (hagyományos acél)	235	400	120
S355 vagy St 52-3 (hagyományos acél)	355	480	170
HARDOX 450	1200	1400	450

2. Célkitűzés

A kísérletek célja a forgácsolás technológiai paraméterei forgácsolási folyamatra gyakorolt hatásának vizsgálata HARDOX 450 kopásálló acél szárazmegmunkálással, illetve minimál kenéssel történő furatmegmunkálásánál.

Ennek során mérjük a szerszám előtolásának és az alkalmazott forgácsoló sebességnek a hatását az előtoló erő és a fúrási nyomaték szükségletre és a forgácsolt furat átlagos felületi érdességére. A furat-megmunkálási kísérletek eredményeinek kiértékelését a faktoriális kísérlettervezés alkalmazásával végezzük el azért, hogy összefüggéseket határozzunk meg a fúrás technológiai paraméterei és a furatban mért átlagos felületi érdességek között.

3. A kísérlet körülményei

A fúrási kísérletekhez használt csigafúró: Ø 10,2 L102/55 d12 jelű Sirius210 típusú (nagy termelékenységű, méretpontos és biztonságos fúrásra alkalmas, HELICA (AlCrN alapú) bevonatos fúró). A próbatest anyaga: HARDOX 450, (R_m= 1400 MPa) amelybe 30 mm hosszúságú furatokat készítettünk a sorozatkísérletek alkalmával. A minimálkenés megvalósítása külső hűtéssel, a hűtő-kenő folyadéknak a fúró külső palástjára való hozzávezetésével történt, „NOGA MINI COOL" típusú porlasztó berendezéssel (2. ábra). A forgácsolási kísérletekhez „OMV cut XU" típusú, klórmentes olajat használunk.

2. ábra. *A kísérleti beállítás*

3. ábra. *KISTLER 9271A típusú erő és nyomatékmérő*

A kísérletek végrehajtása az alábbi paraméterekkel történt:

Forgácsolási sebesség:	v_{c1}= 44,83 m/min	v_{c2}=28,82 m/min
Előtolás:	f_1= 0,14 mm/ford	f_2= 0,08 mm/ford
HKF mennyiség:	V^1_{oil} = 0 cm^3/h	V^2_{oil} = 50 cm^3/h

3.1. Az előtolóerő és fúrónyomaték méréséhez használt eszközök

Az axiális fúróerő (F_f) és csavaró nyomaték (M_c) mérése egy KISTLER 9271A típusú kétkomponensű kompakt dinamométerrel (3. ábra) történt, amely nagy dinamikai szilárdsággal rendelkezik. Így magas a sajátfrekvenciája, amely lehetővé teszi a kisebb dinamikus erőhatások mérését magas alapterheléseknél is.

3.2. A felületi érdesség mérése

Az elkészített furatok átlagos felületi érdességének (Ra) meghatározásához SJ-201 (Mitutoyo) típusú készüléket használtunk. A felületi érdesség értékek mérése 30 mm hosszúságú próbatesteken furatonként 5 kontúrvonal mentén történt. A mérések során minden mérést azonos paraméter beállítás mellett háromszor megismétel tünk és a mérési eredményeket a matematikai statisztikai módszerek felhasználásával dolgoztunk fel. A mért átlagértékeket a fúrási út függvényében ábrázoltuk, majd regresszióanalízissel meghatároztuk a mérési pontokra legjobban illeszkedő közelítő görbe egyenletét, valamint a korrelációs indexet.

4. A kísérletek eredményei

A kísérletek eredményeit a 2. és 3. táblázat foglalja össze.

2.táblázat. *A kísérlet eredményei száraz forgácsolás esetén*

Előtoló erő [kN]	f_1 = 0,08 mm/ford	f_2 = 0,14 mm/ford
v_{c1} = 28,82 m/min	0,784	1,072
v_{c2} = 44,83 m/min	0,830	1,213
Fúró nyomaték [Nm]		
v_{c1} = 28,82 m/min	4,59	4,96
v_{c2} = 44,83 m/min	6,59	6,97
Felületi érdesség Ra [μm]		
v_{c1} = 28,82 m/min	2,29	2,95
v_{c2} = 44,83 m/min	2,45	3,24

3.táblázat *A kísérlet eredményei minimálkenés alkalmazásakor*

Előtoló erő [kN]	f_1 = 0,08 mm/ford	f_2 = 0,14 mm/ford
v_{c1} = 28,82 m/min	0,760	1,072
v_{c2} = 44,83 m/min	0,810	1,132
Fúró nyomaték [Nm]		
v_{c1} = 28,82 m/min	3,49	4,69
v_{c2} = 44,83 m/min	4,05	5,77
Felületi érdesség Ra [μm]		
v_{c1} = 28,82 m/min	1,92	2,04
v_{c2} = 44,83 m/min	2,38	1,86

A mérés eredményeiből a teljes faktoriális kísérlettervezés felhasználásával megkaptuk a felületek egyenleteit száraz forgácsolás (1) – (3)

$$F_f(v_c, f) = 0{,}3128 - 0{,}00239v_c + 7{,}48f - 0{,}03851v_c f\,, \quad (1)$$

$$M(v_c, f) = 0{,}52389 + 0{,}12396v_c + 5{,}8471f + 0{,}010331v_c f\,, \quad (2)$$

$$Ra(v_c, f) = 1{,}4292 + 0{,}00066625v_c - 7{,}1597f - 0{,}13325v_c f\,, \quad (3)$$

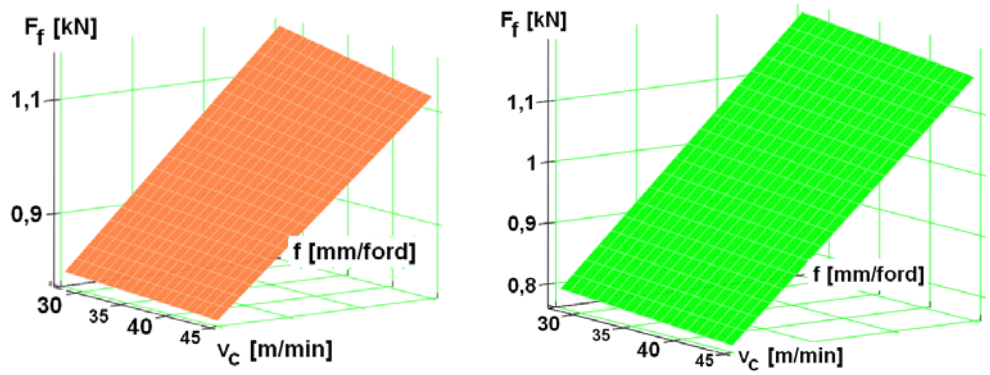
és minimálkenés alkalmazása (4) - (6) esetén,

$$F_f(v_c, f) = 0{,}4513 - 0{,}00235v_c + 5{,}65f - 0{,}0104v_c f\,, \tag{4}$$

$$M(v_c, f) = 1{,}8312 + 0{,}0316v_c - 6{,}2677f + 0{,}54131v_c f\,, \tag{5}$$

$$Ra(v_c, f) = -0{,}60401 + 0{,}082v_c - 21{,}1997f - 0{,}6659v_c f\,, \tag{6}$$

amelyeket az 4-8. ábrákon szemléltetünk.



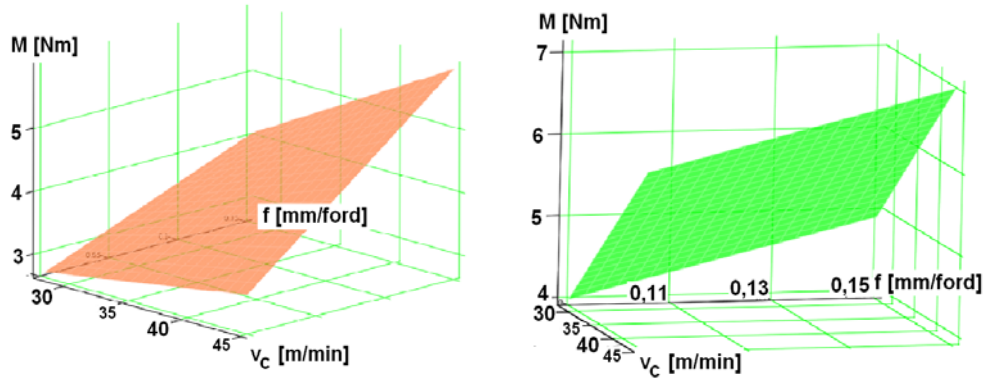
a) *száraz megmunkálás* b) *minimálkenéses megmunkálás*

4. ábra. *Az előtoló erő változása a forgácsolósebesség és az előtolás függvényében*

A mérés eredményeiből megállapítható (4.a ábra), hogy száraz megmunkálásnál az előtolás irányú erő változása a forgácsolási sebesség 28,82 m/min értékről 44,83 m/min értékre való növelésével közel 6%-os növekedést mutat a kisebb előtolás és több mint 13%-os növekedést mutat a nagyobb előtolás alkalmazása esetén. A eredményekből látható, hogy az előtolás növelésével az előtolóerő nagyobb forgácsoló sebességnél mintegy 37%-al, kisebb forgácsoló sebességnél pedig több, mint 46%-al emelkedik száraz forgácsolás esetén.

A mérés eredményeiből látható (4.b ábra), hogy minimálkenés alkalmazása esetén a száraz megmunkáláshoz képest az előtolóerő közel azonos arányú emelkedése tapasztalható a forgácsoló sebesség függvényében kisebb előtolás értékek mellett, ezzel szemben sokkal kisebb arányban emelkedik az előtoló erő a nagyobb előtolások tartományában a forgácsoló sebesség növelésével. Az is megfigyelhető, hogy az előtolóerő növekedését jelentősebben befolyásolja, ha az előtolást emeljük a nagyobb értékre, hiszen ennek eredményeként az előtoló erő közel 40%-al emelkedik.

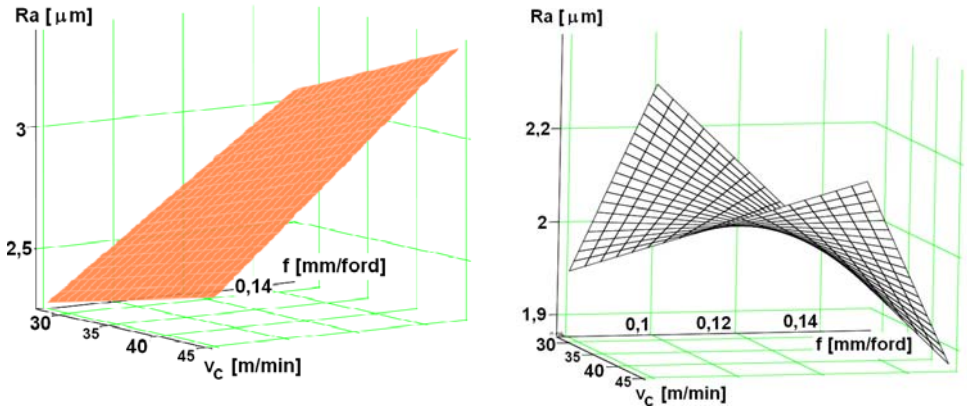
A fúrási kísérletek (5.a ábra) során kapott forgácsolási nyomaték értékeket megvizsgálva azt tapasztaltuk, hogy száraz fúrás esetén a forgácsolási nyomatékot jelentősebben növeli, ha a forgácsolási sebességet növeljük a kisebb értékről a nagyobbra (ekkor a fúrónyomaték f=0,14 mm/ford-nál 40%-al, f=0,08 mm/ford-nál 43%-al nő). Az előtolás növelésével állandó forgácsolási sebességnél a fúrónyomaték emelkedése lényegesen kisebb.



a) száraz megmunkálás; *b) minimálkenéses megmunkálás*

5. ábra. *A fúrási nyomaték változása a forgácsolósebesség és az előtolás függvényében*

Minimálkenés esetén (5.b ábra) is azt tapasztaltuk, hogy a fúrási nyomaték növekedését jelentősebben befolyásolja a forgácsolási sebesség emelése (34-42%), mint az előtolás növelése (16-23%-os növekedés), mind alacsonyabb, mind magasabb beállítási értékek mellett.

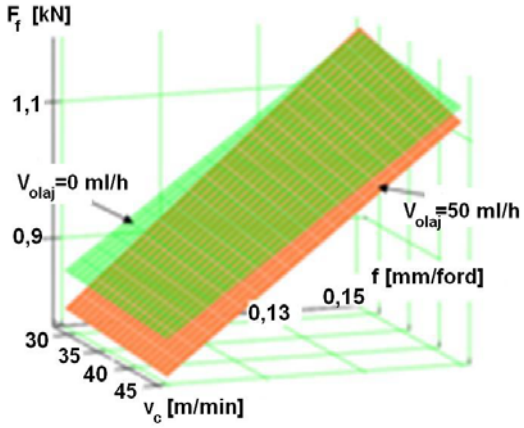


a) száraz megmunkálás *b) minimálkenés esetén*

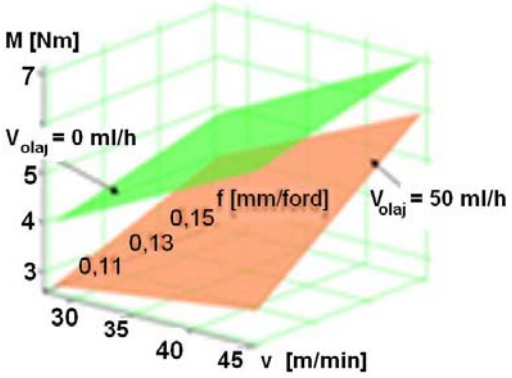
6. ábra*. Az átlagos felületi érdesség változása a forgácsolósebesség és az előtolás függvényében*

Száraz megmunkálásnál a forgácsolt felület minőségére vonatkozó mérési eredményeket megvizsgálva (6.a ábra) azt tapasztalhattuk, hogy a várakozásainknak megfelelően a megmunkált furat felületi érdessége mintegy 6 %-kal növekszik, amennyiben a kisebb előtolás mellett a forgácsolási sebességet 28,82-ről 44,83 m/percre emeljük, míg a nagyobb előtolás mellett ez a növekedés érték 9% körül alakul. Amennyiben állandó sebesség mellett állítjuk az előtolási értéket nagyobb-

ra, a felületi érdesség növekedése közel 28%-os lesz 28,82 m/perc mellett, 32%-os 44,83 m/perc sebesség esetén.



7. ábra. *Előtoló erő változása szárazmegmunkálás és minimálkenés esetén*



8. ábra*. Forgácsoló nyomaték változása szárazmegmunkálás és minimálkenés esetén*

Minimál-kenés alkalmazása esetén (6.b ábra) azt tapasztaltuk, hogy 28,82 m/perc forgácsolási sebesség mellett az előtolás emelésével növekszik a mért felületi érdesség (6%), míg 45 m/perc mellett közel 12%-os csökkenés tapasztalható, az előtolás növelésével. Amennyiben a forgácsolási sebességet változtatjuk azonos előtolás mellett, kisebb előtolásnál (f=0,08 mm/ford) 23%-os felületi érdesség növekedés tapasztalható, nagyobb (f=0,14mm/ford) előtolás beállításánál, viszont 9%-os felületi érdesség csökkenést mértünk. Ha megvizsgáljuk az előtolás irányú erő változását a bejuttatott kenőanyag függvényében (7. ábra), azt a megállapítást tehetjük, hogy a minimál-kenést és szárazon végzett forgácsolást összehasonlítva, kisebb előtolásnál nagyobb különbség tapasztalható, míg nagy előtolásnál ez a különbség eltűnik. A furatmegmunkálás során inkább kisebb előtolás alkalmazása javasolt, hiszen itt érvényesül jobban a minimál-kenés hatása. A kenés hatása sokkal erőteljesebben mutatkozik meg a mért fúrási nyomatékok eredményein (8. ábra), mint az előtoló erő esetében. Kisebb előtolásnál a forgácsoló sebesesség növelése által okozott fúrónyomaték növekedés szárazmegmunkálásnál nagyobb, mint minimálkenésnél. Ennek magyarázata lehet, hogy kisebb előtolás esetén jobban érvényesül a bejuttatott minimális kenőanyag hatása. A kenés hatása legmarkánsabban a felületi érdesség változásában mutatható ki. A furatban mért átlagos felületi érdesség legkisebb különbsége a nagyobb forgácsoló sebesség és kisebb előtolás esetén tapasztalható (0,07µm), míg a legnagyobb különbséget nagyobb sebesség és nagyobb előtolási érték mellett mértünk (1,32µm).

5. Összefoglalás – Következtetések

Szárazon, illetve minimálkenéssel végzett vizsgálataink legfontosabb következtetéseit az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- Külső minimálkenéssel sikerült megfelelő forgácsolási feltételeket biztosítani kopásálló acél furatmegmunkálásánál.
- Minimálkenésnél a kisebb előtolás alkalmazása esetén a fúrónyomaték és az előtoló erő nagysága kedvezőbb volt, mert itt jobban érvényesült a minimálkenés hatása.
- A száraz megmunkáláshoz képest minimálkenéssel a forgácsolt furat felületi érdessége jelentősen csökkenthető. Alacsony forgácsoló sebességnél az előtolás növelésével a furat felületi érdessége romlik. A forgácsoló sebesség növelésével minimálkenésnél nagyobb előtolás tartományban a felületi érdesség jelentősen javul.
- A kísérlettervezéssel meghatározott összefüggésekkel meghatározhatók a fontosabb forgácsolási paramétereknek a furat átlagos felületi érdességére, az előtoló erőre, illetve a forgácsolási nyomatékra gyakorolt hatásai.

6. Köszönetnyílvánítás

A kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. Irodalomjegyzék

[1] KLOCKE, F., LUNG, D.: Minimalmengenkühlschmierung – Systeme, Werkzeuge und Medien. In VDI-Berichte 1532, pp.: 137–154, VDI-Verlag Düsseldorf, 2000

[2] WEINERT, K.: Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung. Springer Verlag 2000

[3] **DUDÁS, I., LIERATH, F., VARGA GY.**: Környezetbarát technológiák a gépgyártásban, Forgácsolás szárazon, minimális hűtéssel-kenéssel, Műszaki Kiadó, Budapest, 2010, p.: 308, ISBN 987-963-16-6500-0

[4] SUZUKI, S, 2002, Developments in Oil Supplying Systems for MQL Cutting, *Journal of Japanese Society of Tribologists*, 47/7: 538-543.

[5] KUNDRAK, J., MAMALIS, A.G., GYANI, K., ET AL.: Environmentally friendly precision machining, *Mater Manuf. Process* 21 (1): 29-37 Jan 2006

[6] DUDÁS, I., VARGA GY., SZIGETI, F., PÉTER, L., SZÁZVAI, A.: Furatmegmunkálás minimálkenéssel, Műszaki Tudomány az Észak-Alföldi Régióban c. konferencia (DAB) Nyíregyháza, 2006. nov. 16. Műszaki Füzetek, 2.kötet, pp.: 77-92

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 181-188.

A HOLONIKUS GYÁRTÓRENDSZER OPTIMALIZÁLÁSI LEHETŐSÉGE

Mándy Zoltán[1], Dudás Illés[2]

[1]tanársegéd, levelező doktorandusz (Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola), Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen Ótemető u. 2-4., 3515 Miskolc- Egyetemváros, Gépgyártástechnológiai Tanszék,
zoltan.mandy@uni-miskolc.hu
[2]egyetemi tanár, DS.c, (Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék), 3515 Miskolc- Egyetemváros, Gépgyártástechnológiai Tanszék,
illes.dudas@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A cikk röviden a holonikus gyártórendszerek halmazelméleti modellezését hivatott bemutatni. Célunk az, hogy bemutassuk hogyan hozható összefüggésbe a gyártórendszerekben a halmazelmélet és az optimálás lehetősége. Példaként egy csigákat gyártó rendszer esetében, fontos kitérni a folyamatos korongszabályozás kérdéskörére is, mely megoldása alapvető fontosságú a precíziós gyártás szempontjából.

***Kulcsszavak**: HMS, holon, osztott intelligencia, autonómia, korongszabályozás.*

Abstract

The paper presents the most important features of Holonic Manufacturing Systems (HMS). We would like to present that there is a context among the HMS and the aggregation theory. First, we start with the elemental holons, and then we discuss the cost-optimisation equation. We focus on another mathematical rule of the optimisation theory among the subordinated holons. We have to decide how much the central holon should be burdened in order to control the subordinated holons in a better way.

***Keywords**: HMS, holon, divided intelligence, autonomy, disc-regulation.*

1. Bevezetés

A holonikus („osztott intelligenciájú”) gyártás koncepciója igen intelligens, elosztott, autonóm, rugalmas, egymással együttműködő egységek rendszeréről szól. Az elképzelés abból indul ki, hogy a mai környezeti körülmények rendkívül változékonyak ezért új, az eddigieknél jóval rugalmasabb, gyors reagálási képességekkel rendelkező vállalatokra van szükség a versenyképesség fenntartásához. A két elgondolásban szereplő elemek és azok tulajdonságai, - holott különböző névvel rendelkeznek, - rendkívül hasonlítanak egymáshoz.

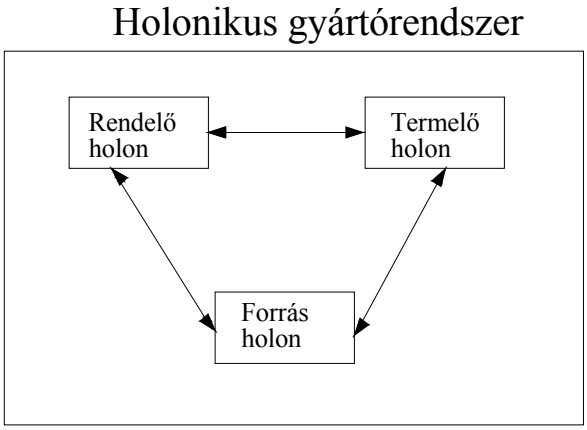
A holonikus gyártórendszerek magukba foglalják a gyártási tevékenységek minden részét a rendeléstől, a tervezésen, a gyártáson át a marketingig. Ez egy dinamikus rendszer, mely autonóm, együttműködő építő holonokból van felépítve. A holonikus gyártórendszer benne lévő hierarchiákkal újra szerveződésre képes, a környezetben vagy a gyártandó termékekben bekövetkező változásokat gyorsan adaptálják. Ezért a holonikus gyártórendszerek alkalmazása esetén a változások költsége drasztikusan lecsökkenthető. A holonikus gyártórendszerekben elkülöníthető egy információfolyam és egy anyagfolyam.

A holonikus gyártórendszerekben megvan a lehetőség a következő előnyök szolgáltatására:

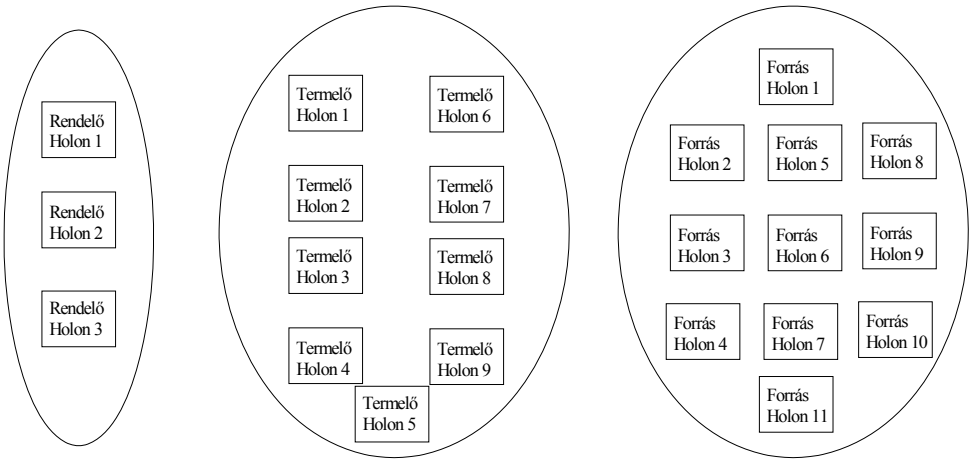
- A holonikus gyártórendszerek képesek a gyors ön rekonfigurációra, válaszul a változásra és a bizonytalanságra, mely elválaszthatatlan a XXI. század gyártási környezetében
- Az emberek szerepe határozottan számításba van véve a holonikus gyártórendszerek architektúrájában, így a vállalatok használhatják az emberek intellektuális képességét, tudását és a rugalmasságát.
- Az ember valamint a gépi intelligencia holonokká való alakítása és az azokhoz tartozó együttműködő viselkedés lehetővé teszi a „virtuális vállalatok" kialakítását, mind a cég határain belül és kívül is [2].

2. Az elemi holonok

A holonikus gyártórendszerek dinamikája és a viselkedése, tulajdonképpen az elemi forrás,- termelő- és rendelő holonok akcióiból, interakcióiból állnak (1. ábra). A forrás holon tartalmazza a termelői erőforrást releváns komponensekkel, hogy vezérelni tudja önmagát a rendszerben. A termelő holon tartalmazza a termelési folyamat adatait a termék előállítás szempontjából. A rendelő holon a vevő megrendeléseit, igényeit reprezentálja. Az a holon mely több kisebb holont is tartalmaz kompozit holonnak definiálható. A kompozit holon rendszere önállóan képes kooperálni, megvalósítva célját a holarchiát. Egymagában a termelő vagy a forrás holon képtelen komplex gyártási feladat megoldására. A rendelő holonnal a forrás holonok és a termelő holonok holarchiába szerveződnek át. A 2. ábra példaként szolgál arra, hogy 3 rendelő holon kommunikál a termelő és a forrás holonokkal, gyártórendszert megvalósítva ezzel [4].



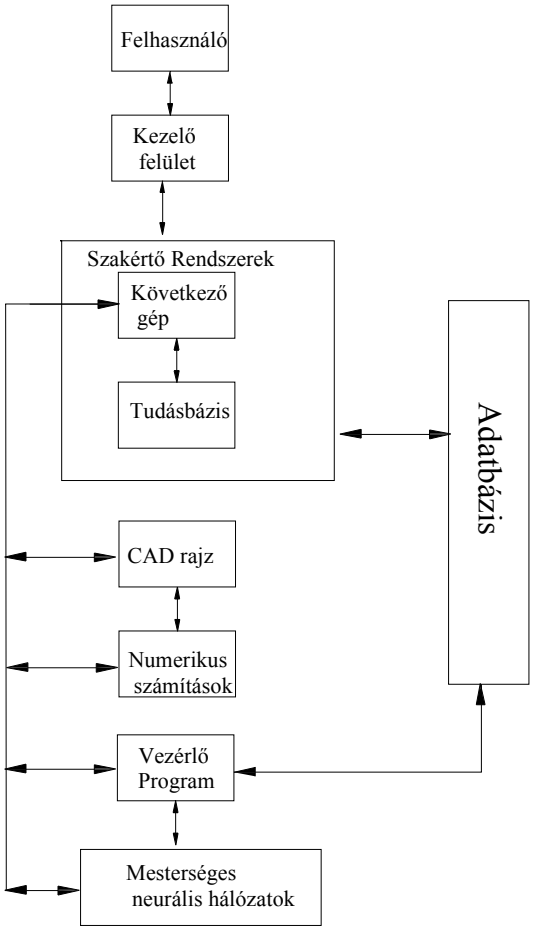
1. ábra
A holonikus gyártórendszer elemi holonjai



2. ábra.
A kommunikációs lehetőségek

3 . Szakértői rendszerek alkalmazása csavarfelületek előállítására

Az Intelligens Integrált Rendszerek egyik központi eleme a szakértői rendszer mely az adott területen képes tudásbázisával a folyamatot irányító embert segíteni, illetve szélsőséges esetben helyettesíteni, ahogy ezt a 3. ábra mutatja. Az Intelligens Integrált Rendszerek és a bennük elhelyezkedő szakértői rendszerek működésének lehetőségeit ismertetjük a helikoid hajtópárok tervezése és gyártása területén.



3. ábra.
A szakértői rendszer [5]

4. Az optimalizálás lehetősége

A költség optimalizálás tekintetében az elemi holonok tekintetében néhány kikötéssel kell élnünk. A kompozit holon átformálódik termelő holonná hn, mely a C_n –nek része és függ az U_n és R_n től, ahol az U_n jelenti a kompozit holonokat és R_n pedig jelenti a forrás holonok összességét mely az alkotórésze a C_n –nek. A C_n (U_n, R_n) szerkezete arra hívatott, hogy megoldja a Holarchia probléma körét a

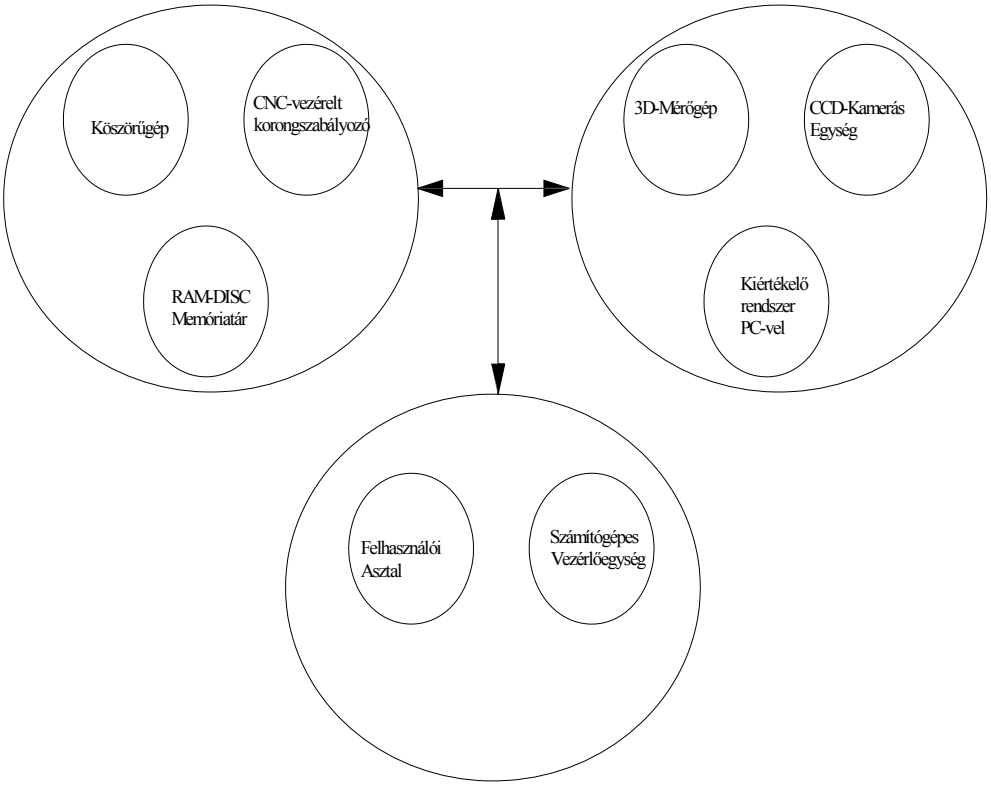
következőképpen: jelentse az U_n az összes lehetséges kompozit holont, mely függ C_n-től. Jelentse az R_n az összes lehetséges forrás holont. A költség-optimalizálás tekintetében a C_n (U_n, R_n) célja, hogy találjunk egy olyan minimális költségű forrás holont és kompozit holont, melynek eredménye megvalósítható megoldáshoz vezet. Jelentse hr a forrás holont ahol az r eleme R_n –nek. Jelentse a W_r a h_r költségét a tevékenységeinek a végrehajtásához. Jelentse a W_n a költség funkciókat mely meghatározza a C_n (U_n,R_n)-nek az egész költségét .A W_n': a kompozit holonok költsége. A holarchia optimalizálási problémája (HOP), a következő egyenlettel fejezhető ki:

$$\min_{R_n,U_n} W_n = \min_{R_n,U_n}(\sum_{r\in R_n} W_r + \sum_{n'\in U_N} W_{n'}) \qquad (1)$$

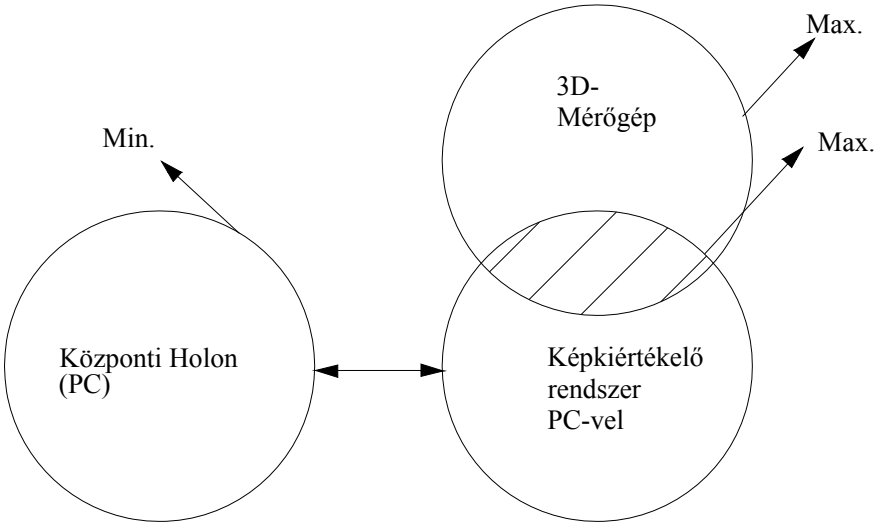
Annak következtében, hogy a holonikus gyártórendszer, integrált rendszert jelent felépíthető rá egy matematikai struktúra. Ezen struktúra a legjobban a halmazállapoti összefüggéssel hozható kapcsolatba. A holonikus gyártórendszerek több intelligens egységből tevődnek össze. A gyártórendszer felfogható, mint egy halmaz, melyben több elem esetleg részhalmaz található és értelmezhető. A halmazelmélet műveletei is itt értelmezhetőek, nevezetesen az unió, a metszet és a komplementer halmaz is érvényesíthető. Példaként a 4. ábrán látható a CNC-vezérlésű köszörűkorong-szabályzó készülék látható, hogy az adott gyártórendszer 3 db fő holonból áll. Ezen holonokon belül szintén önmagukban is intelligens alárendelt holonok vannak. A 3-as holont tekinthetjük a központi holonnak, hiszen itt található a számítógép a vezérlőegység részeként. A Holon 1 része a memória tár a RAM-DISC, mely küldi- és veszi a vezérlőprogramokat a CNC-vezérlésű korongszabályozóba, míg végül a köszörűgép végre nem hajtja az utasításokat. A Holon 2 az a hely, ahol a 3D-s mérőgép, a CCD- kamrás egység és a képkiértékelő rendszer, egy, afféle mérőholont valósítanak meg.

Ezek után még egy matematikai művelet, az optimálás is érvényesíthető itt, hiszen nem mindegy mekkora az adott halmaz, illetve az unió nagysága is képezheti esetlegesen a minimalizálás vagy a maximalizálás tárgyát. A 5. ábra az opimalizálást hivatott bemutatni. Látható a cél, hiszen a központi számítógépi holon feladatkörét a minimálisra kell csökkenteni mert, meghibásodása esetén túl sok időt venne igénybe a karbantartás és az emiatti leállás. A megoldás abban rejlik, hogy nagyobb önállósággal kell rendelkeznie az alárendelt holonoknak és esetlegesen a feladatköreiket néhánynak maximalizálni kell a jobb működési mechanizmus fenntartása miatt [3].A példában a mérőgép és a képkiértékelő rendszer szerepel, hisz szenzorokkal ellátott önmagukban is intelligens gépegységekről van szó. Érdemes megemlíteni a lehetőségét a RAM-DISC és a CNC –vezérlésű korongszabályzó feladatkörének a maximalizálásáról. A RAM-DISC memóriatár, képes nagyobb mennyiségű adatot is tárolni, de maga a CNC vezérlés is képes

adattárolásra. Tehát a RAM-DISC feladatainak a minimalizálása után esetlegesen ki is iktatható a rendszerből mert helyettesíthető.



4. ábra.
A halmazelméleti összefüggés [3]



5. ábra.
Az optimalizálás lehetősége [3]

5. A folyamatos korongszabályozás

Az előzőekben bemutatott konkrét rendszer sarkalatos művelete a folyamatos korongszabályozásnál jól szemlélteti a holonok közötti szükséges kapcsolatokat. Ez a bonyolult művelet a korongszabályozó holon és a mérőholon szoros kooperációját igényli. Ennek nagy vonalakban a következő szemlélet az alapja.

Közismert, hogy a viszonylagos mozgásban a csiga és a köszörűkorong egymást kölcsönösen burkolja. Mivel a jelenleg tárgyalt probléma esetében a kúpos csiga fogfelületének pontosságát kívánjuk biztosítani, így a korongprofil folyamatos változtatását kell megoldani. A 1. helyzetből a 2. helyzetbe történő korongmozgás során a torzításmentes korongprofil kialakítását a folyamatos tengelytáv és átmérőviszony változás miatt folyamatosan korrigálni szükséges. Ehhez egy meglévő - a burkolás matematikai hátterét reprezentáló és a korong tengelymetszeti profilját meghatározó - programcsomag alapján működő CNC korongszabályozó berendezés szükséges, mely a korong tengelyirányú haladása során, mindig az éppen aktuális profilra szabályozza a korongot [5].

A köszörülés során a korong kopása miatt a korong profilja és az átmérője is változik. Emiatt a generált csigaprofil torzul az elméleti profilhoz, de még az eredeti kiinduló állapothoz képest is.

A kúpos csavarfelület tengelymenti átmérőváltozása a csigaprofil állandó változását vonja maga után (a korongprofil állandósága esetén).

Ennek az eljárásnak előnye az elméletileg pontos megmunkálás, hátránya viszont, hogy a folyamatos szabályozás miatt nagy a korong anyagveszteség és így gazdaságtalan lehet a megmunkálás. Másik hátránya, hogy a szabályozó korong spirális felületet alakít ki a köszörűkorongon, mely a fordulatszám függvényében pontatlanságot ad.

6. Összefoglalás

A Holonikus gyártórendszerek a jövőt vetítik előre, egy kutatás részét képezik. A Szakértői rendszerek elválaszhatatlanok a gyártórendszerekbéli kutatásoktól. A gyártórendszer költség minimalizáló opimalizálása irányelv a tervezés során amelyet az emlitett egyenletben szerepeltettünk. Az optimálás szerepe az alárendelt holonok autonómiájának és az alapvető intelligenciájának lényegét fejezi ki. A cikkben rávilágítottunk arra, hogy a Holonikus gyártórendszerben a holonok intelligenciája optimalizálható aszerint, hogy a központi számítógép vagy az alárendelt holonok kapják- e a nagyobb autonómiát.A felhasználó dönthet róla melyik megoldás a megfelelő aszerint, hogy a fő-vagy az alrendszer legyen-e az amely a több feladatot látja el.

7. Irodalomjegyzék

[1] Kádár Botond, Monostori László: *Holonikus gyártás, fraktális vállalat*,www.webkorridor.hu,

[2] Dudás Illés-Cser István: *Gépgyártástechnológia IV*. Miskolci Egyetemi Kiadó, 2004. 2003, p.: 337, ISBN 963 661 629 9,

[3] Zoltan Mandy - Prof. Dr. Illes Dudas:*The aggregation approach of Holonic Manufacturing Systems*, International Conference of Microcad 2011., Miskolc,

[4] Fu-Shiung Hsieh:*Design of reconfiguration mechanism for holonic manufacturing systems based on formal models*, Department of Computer Science and Information Engineering, Chaoyang University of Technology, Taiwan, elérhetőségének URL címe: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197610001132.,

[5] Dudás Illés: *Csigahajtások elmélete és gyártása*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2007., ISBN 978-963-16-6047-0.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 189-196.

DÖRZSKÖSZÖRÜLÉS JÓSÁGI MUTATÓI ÉS TECHNOLÓGIAI OPTIMÁLÁSA

Szabó Ottó
egyetemi docens, PhD
Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros,
otto.szabo@uni-miskolc.hu

Összefoglalás
A forgácsoló megmunkálások kutatásának fontos területe a technológiai folyamatok optimálása. Abrazív technológiák (pl. dörzsköszörülés, köszörülés, tükrösítés) területén jelentős kutatásokat végzett a szerző. Elméleti és kísérleti eredmények felhasználásával új eredményei egy részét foglalja össze a publikáció, amelyet a CAD/CAM rendszereknél is felhasználhatnak.

Kulcsszavak: *dörzsköszörülés, tükörsimítás, köszörülés, tükrösítés, gazdaságosság, termelékenység.*

Abstract
Optimisation of technological processes is an important field in the research of cutting operations. Author carried out remarkable research in the field of abrasive machining (honing, grinding, and lapping). On the basis of theoretical and experimental results, new results useful for CAD/CAM systems are summarised in the paper.

Keywords: *honing, microfinishing, grinding, lapping, economical, productivity.*

1. Bevezetés

A gépkocsi-, szerszámgép-, kompresszor-, csapágy-, hidraulika-alkatrészek nagypontosságú és jó felületminőségű felületeinek befejező megmunkálása általában köszörüléssel, dörzsköszörüléssel (honolás) vagy tükrösítéssel (leppelés) történik. Az igényeknek megfelelően ezek számos változata alakult ki [1, 2]. Ezeket a megmunkálási eljárásokat összefoglalóan köszörülő- vagy abrazív megmunkálásoknak nevezik. Itt nem érvényesek a határozott élgeometriájú szerszámoknál bevált modellek és számítások. Különösen költséges technológiákról van szó, ugyanakkor a vezető iparágakban nélkülözhetetlenek. Az abrazív hagyományos (pl. SiC, Al_2O_3) és szuperkemény szerszámok (mesterséges gyémánt, köbös bórnitrid) hatékony és gazdaságos alkalmazása jelentős mértékben függ a termelékenységi, gazdaságossági és minőségi (pl. pontosság, felületi érdesség, topográfia, integritás) mutatóktól.

E publikáció célja jósági mutató meghatározása és a folyamat-optimálás egyes lépéseinek bemutatása.

2. A dörzsköszörülés jósági mutatói

Az anyagleválasztási technológiák egy-egy területén sikeresen foglalkoztak folyamatoptimálással: G.K. Goranszkij, H.J. Jakobs, D. Kochan, W. König, W. Depiereux, Detzky I., Fridrik L., Gyáni K., Horváth M., Kundrák J., Somló J., Szabó O., Tóth T. és mások [2, 3, 4].

Az optimálást a folyamat jellemző jósági mutatókra alapozva lehet elvégezni. A megmunkálási folyamatot a következő mutatók jellemzik. Anyagleválasztási sebesség $\left(mm^3/s\right)$, ami függ a dörzsköszörülési időtől, csökkenő tendenciát mutat a szerszám kopása miatt. Helyesen választott szerszám (kötéskeménység) esetén a következő munkadarab érdességi csúcsai a szerszám automatikus önélezését biztosítják. Tehát az anyagleválasztási sebesség:

$$Q = Q(t) = \frac{dV(t)}{dt}, \tag{1}$$

ahol $V = V(t)$ - a munkadarabról dörzsköszörüléssel leválasztott anyag térfogata $\left(mm^3\right)$. Állandósult esetben (kvázi állandó) csak a dörzsköszörűgépen beállított paraméterektől függ, mint a *p*-től, illetve a v_c-től. Írható, hogy

$$Q = \frac{V(t)}{t} \cong Q\left(F_n; v_c\right), \tag{2}$$

és $F_n = p \cdot A_s$ - a szerszámra ható normális erő $\left(N\right)$, ahol A_s - dörzsköszörűhasáb forgácsoló felülete (mm^2).

A felületi érdességet csökkentő és felületminőséget (felületi integritást) javító befejező megmunkálásoknál hasonlóan bevezethető a felületképzési sebesség (mm^2/s).

A másik fontos jellemző a szerszám térfogati kopási sebessége $\left(mm^3/s\right)$:

$$Q_s = Q_s(t) = \frac{dV_s(t)}{dt}, \tag{3}$$

ahol $V_s = V_s(t)$- a dörzsköszörűszerszámról a dörzsköszörülés során lekopott abrazívszemcsék (kötőanyaggal és pórusokkal) térfogata $\left(mm^3\right)$; t - a dörzsköszörűlés kölcsönhatási ideje (s). Állandósult esetben szintén csak a megmunkálási változóktól függő állandó:

$$Q_s \cong \frac{V_s}{t} = Q_s\left(F_n; v_c\right). \tag{4}$$

A G – „köszörülési arány” (Grinding ratio) [1] analógiájára bevezethető a „dörzsköszörülési arány”. Az utóbbi elnevezés más abrazív megmunkálásoknál is alkalmazható (pl. tükrösítés). Tehát a dörzsköszörülési arány, vagy optimálás kifejezésével élve: jósági mutató, vagy jósági függvény.

$$G = \frac{V}{V_s} = \frac{Q}{Q_s} = G\left(F_n; v_c\right). \tag{5}$$

A (2) képletnél tett megjegyzésből következik, hogy az (5) jósági mutató két független, gépen állítható paramétert (szerszámnyomás és forgácsolósebesség) tartalmaz, amit a technológus mérnök ír elő.

A következő feladat: a jósági mutató és maximális hatásra vonatkozó értékelési kritérium összevetése.

3. A folyamat matematikai modellezése

Állandó nyomású dörzsköszörülésnél a szerszám állandó kopási sebességű. Ekkor a folyamat leírható a Taylor-jellegű éltartam-egyenlettel, analóg hatványfüggvénnyel [1]:

$$Q \cdot G^m = Q_1 = const\,. \tag{6}$$

A Q_1 állandó a szerszám és munkadarab kölcsönhatásának „komplex minőségi mutatója”, vagyis a dörzsköszörű szerszámnak az adott munkadarab anyagra vonatkozó „megmunkáló képessége”. Ennek konkrét értéke dörzsköszörülési kísérletekkel határozható meg, vagy elméleti úton a folyamat fizikai modelljének

segítségével. A fizikai modellt a következő félempirikus összefüggésekből lehet felépíteni. Ez az optimáláshoz szükséges matematikai összefüggés lesz.

Az abrazív szemcsék felületének súrlódási hőmérséklete (K-ben):

$$\Theta = C_{\Theta} \cdot f \cdot \left(L \cdot v_c\right)^{0.5}. \tag{7}$$

A képletben szereplő egyes jelöléseket a (11) végeredmény után adjuk meg.

Az abrazív szemcsék lineáris kopási sebessége (a megmunkált felületre merőleges irányban, *mm/s*):

$$v_s = C_D \cdot \Theta^4. \tag{8}$$

Az abrazív szemcsék térfogati kopási sebessége, amely arányos a szemcsék érintkezési felületével az $A_{\acute{e}}$ -értékével (mm^3):

$$Q_s = A_{\acute{e}} \cdot v_s. \tag{9}$$

Hasonló összefüggés írható az anyagleválasztási sebességre is:

$$Q = C(t) \cdot A_{\acute{e}} \cdot v_c. \tag{10}$$

A (7) – (10) és a *G* dörzsköszörülési arányra megadott (5) összefüggés felhasználásával levezethető a (6) kísérletileg kapott „komplex minőségi mutató” (*m=1*):

$$Q_1 = \frac{C(t)^2 \cdot F_n}{C_D \cdot C_{\Theta}^a \cdot f^b \cdot L^2}, \tag{11}$$

ahol $C(t)$- az abrazív szemcsék átlagos élessége [1]; C_D - a szemcseanyag diffúziós- és bomlási sebesség növekedését kifejező tényező; f – karckeménység, a dörzsköszörült anyag keménységével arányos fajlagos erő,; L - a szemcse és a

munkadarab kölcsönhatásának útja; C_Θ - a hőátadással és súrlódással egyenesen, a hőelvonással fordítottan arányos tényező; kitevők közelítő értéke: a = 4 és b = 5.

Az abrazív szemcsék felületének Θ súrlódási hőmérséklete számolható, vagy végeselem modellezéssel határozható meg [5].

A (11) modellből megállapítható, hogy a komplex minőségi mutató „vagy a szerszám megmunkáló" képessége:

- függ az F_n és L dörzsköszörülési paraméterektől: arányosan javul az alkalmazott $F_n = p \cdot A_s$ normális irányú erővel (a p-vel) és fokozottan romlik a dörzsköszörűszerszám és a munkadarab L érintkezési hosszának növekedésével;
- a C szemcsék átlagos élességével hatványozottan javul;
- arányosan romlik a szemcsenyag C_D diffúziós és bomlási állandóinak növekedésével;
- a C_Θ hőmérsékleti tényező hatására erősen romlik (jobb, ha nagyobb a hőelvezetés és hőkapacitás, illetve rosszabb, ha nagy a súrlódás az abrazív szemcse és a megmunkált felület között);
- romlik, ha a dörzsköszörült anyagnak nagyobb az f karckeménysége, ami hatványozottan rontja.

A Q_1 komplex minőségi mutató a szuperkemény anyagoknál (különösen gyémánt szemcsézetű szerszámoknál) a legkedvezőbb, ami a kiváló fizikai tulajdonságok következménye [1].

4. A dörzsköszörülési költségek optimálása

A megmunkálási költségek általában a dolgozó béréből, rezsi-, készülékezés- és szerszám-költségekből tevődnek össze:

$$K_{ö} = K_{bér} + K_{rezsi} + K_{készülék} + K_{szerszám}\,. \tag{12}$$

A költségek állandó részét a vizsgálatoknál elhagyhatjuk és a szűkített költség a következő (pl. Euróban):

$$K = K_t + K_s \tag{13}$$

ahol K_t - a gépi főidővel arányos költség-összetevő; K_s - a szerszámköltség: a dörzsköszörűhasáb költsége (hasáb- és szabályozás ára).

Bevezetve a $\underline{k_t}$ fajlagos főidővel arányos költséget (€/s) és $\underline{c_s}$ fajlagos szerszámköltséget (€/mm^3) írható, hogy

$$k_t = \frac{K_t}{t_g} \text{ (€/s)} \tag{14}$$

és

$$c_s = \frac{K_s}{V_s} \text{ (€/s)}, \tag{15}$$

ahol t_g - a dörzsköszörülés gépi főideje. Behelyettesítve az előzőket a (13) képletbe, felhasználva (5) és (11) összefüggéseket is, egyváltozós összefüggést kapunk:

$$K = K(G) = \frac{k_t \cdot V \cdot G}{Q_1} + c_s \frac{V}{G} \tag{16}$$

Ha az előző egyenletet elosztjuk $V = V(t)$-vel (a munkadarabról dörzsköszörüléssel leválasztott anyag térfogatával), megkapjuk a c_d-fajlagos dörzsköszörülési költséget (€/mm^3):

$$c_d = c_d(G) = \frac{K(G)}{V} = \frac{k_t \cdot G}{Q_1} + \frac{c_s}{G}. \tag{17}$$

A dörzsköszörülés költségének minimum helyét (G_0, Q_0) a következő differenciál egyenlet adja:

$$\left.\frac{dc}{dG}\right| G = G_0 = \frac{k_t}{Q_1} - \frac{c_s}{G_0^2} = 0. \tag{18}$$

Átalakítás után

$$k_t \cdot G_0^2 = c_s \cdot Q_1$$

és kifejezhető a „dörzsköszörülési arány" vagy jósági mutató (v.ö. (5) összefüggéssel):

$$G_0 = \left(Q_1 \cdot \frac{c_s}{k_t} \right)^{0.5} . \tag{19}$$

Hasonlóan adódik a Q_0 - optimális anyagleválasztási sebesség:

$$Q_0 = \left(Q_1 \cdot \frac{k_t}{c_s} \right)^{0.5} \tag{20}$$

és az optimális (minimális) dörzsköszörülési költség:

$$c_0 = 2\left(\frac{1}{Q_1} \cdot k_t \cdot c_s \right)^{0.5} . \tag{21}$$

Az (5)-ből kiolvasható, hogy a *G*-dörzsköszörülési arány vagy jósági mutató mértékegység nélküli szám. Értékét döntően a munkadarab anyaga és keménysége, valamint az alkalmazott szerszám minősége (abrazív szemcseanyag, szemcsenagyság, kötőanyag, stb.) határozza meg. Minél nagyobb a *G*, annál több anyag kerül leválasztásra a munkadarabról egységnyi térfogatú szerszám felhasználásával. Ezért célszerű, ha teljesül a (19) összefüggés. A dörzsköszörülés technológiai adatait (p, v_c) úgy kell beállítani, hogy a (20) szerint Q_o optimális anyagleválasztási sebesség megvalósuljon. Ebben az esetben a (21) is teljesül, azaz optimális, - minimális lesz a szerszámköltség, ami a mai magas szerszámáraknál fontos követelmény.

5. Következtetések, az eredmények összefoglalása

A dörzsköszörülési folyamatot, annak célját, eredményességét (pontosság, felületminőség, szerszámkopás, megmunkálási költség) számos tényező befolyásolja.

A kidolgozott módszer a technológiai tervezést segíti, illetve a bevezetett technológiát jósági mutatókkal lehet vizsgálni, javítani. Adott megmunkálási feltételek mellett és követelményekhez, helyesen választott kiinduló adatok mellett költség-optimálás, – költség minimalizálása – biztosítható. Az üzemben p - és v_c - technológiai paraméterekkel, azok helyes beállításával lehet a folyamatot gazdaságosabbá tenni.

A módszer más abrazív szerszámokkal végzett eljárásoknál is alkalmazható (pl. köszörülésnél, tükrösítésnél, folyadéksugaras csiszolásnál, stb.).

6. Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka az OTKA T 48760, valamint a TÁMOP-4.2.1.B-10/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

7. Irodalomjegyzék

[1] König, W., *Fertigungsverfahren*. Band 1. VDI Verlag, Düsseldorf, 1990.
Szabó, O., *Optimisation of Technology and Quasi Honing of Polygon Bores.* Journal of Materials Processing Technology, ELSEVIR, Dublin, 2002, 119. pp. 117-121.

[2] Tóth, T., *Tervezési elvek, modellek és módszerek a számítógéppel integrált gyártásban* (1. utánnyomás). Miskolci Egyetemi Kiadó, 2006. 224 p. + mellékletek I-VII.p.

[3] Detzky, I., Fridrik, L., Tóth T., *On a New Approach to Computerized Optimization of Cutting Conditions.* Proceedings of the 2nd Word Basque Congress, Advanced Technology and Manufacturing Conference, Bilbao, 1991. Vol. 1. pp.129-141.

[4] Mamalis, Ag.G., Kundrák, J., Manolakos, D.E., Gyáni, K., Markopoulos, A., *Thermal Modelling of Surface Grinding Using Implicit Finite Element Techniques*. Internatioan Journal of Advanced Manufacturing Technology 21 (12), 2003.pp. 929-934.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 197-204.

INDÍTÓMOTOROK MODELLEZÉSÉRE ALKALMAS MÓDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉSE

Kovács Ernő[1], Füvesi Viktor[2]
[1]*Egyetemi docens, PhD, elkke@uni-miskolc.hu ;*
[2]*tudományos segédmunkatárs, fuvesi@akki.hu u*
[1]*Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Tanszék,*
[2]*Miskolci Egyetem, Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet,*
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros

Összefoglalás

A cikk a gépjárművekben használatos indítómotor modellezésével foglalkozik. Az indítómotor, mint nemlineáris aktuátor modellezésére több lehetőség is adódik. Lehetőség van differenciál egyenletek segítségével vizsgálni az indító motort, majd illeszteni a modellt az aktuális egységre. Egy másik lehetőség, ha a motort, mint fekete dobozt tekintjük. A motor viselkedését a jellemző fizikai mennyiségek kapcsolatával leírhatjuk. Modellezésre 3 rétegű neurális hálót alkalmaztunk. A neurális háló betanításához és a betanított modell validálásához valós rendszeren történő mérésekből gyűjtött adatok kerültek felhasználásra. Harmadik módszerként, az iparban gyakran alkalmazott eljárást választottuk, amely a mérésekből gyűjtött adatok felhasználásával diszkrét méretű adattáblát hoz létre, aminek segítségével a motor mérések idősorai extrapolálhatók.

Kulcsszavak: *modellezés, indító motor, validálás, neurális háló, kereső tábla*

Abstract

This paper introduces different methods used to modeling a starter motor. There are several methods known to model an actuator. One method is to apply differential equations to describe the behaviour of the motor and afterwards validate the model based on real system. Another solution is to use black box principle. The behaviour of the motor can be described with the relations among the measured quantities. 3-layered neural networks were applied for nonlinear modeling. The training and validating dataset of the network were collected from real system measurements. The third method investigated was a grid-based lookup table method, which is widely popular in industry. Databases were built up to simulate the actuator. Using the reference points of the database, the points in the simulation can be extrapolated with a simple formula. The different methods were briefly evaluated in this paper.

Keywords: *modeling, starter motor, validation, neural network, lookup table*

1. Bevezetés

A hagyományos működésű járművek jelentős részének a legfontosabb energiaforrása a belsőégésű motor. A motor indításához valamilyen külső erőforrásra van szükség, amihez manapság indító motorokat használnak. Az indítómotor biztosítja

belsőégésű motor beindításához illetve a motorban zajló kémiai folyamatok önfenntartásához szükséges fordulatszám elérését. Az indítási folyamat megismeréséhez és a feladat optimalizálásához szükséges a rendszer minél pontosabb ismerete. A fizikai paraméterek mérése és a mérések alapján különféle szintű modellek felépítése lehetséges. Ebben a cikkben egy alkalmazott kutatási projekthez kapcsolódóan modellezésre került egy, a gépjárművekben használatos indító motor. [1] A modellezéshez három - alapvetően más szemléletű - módszer került felhasználásra.

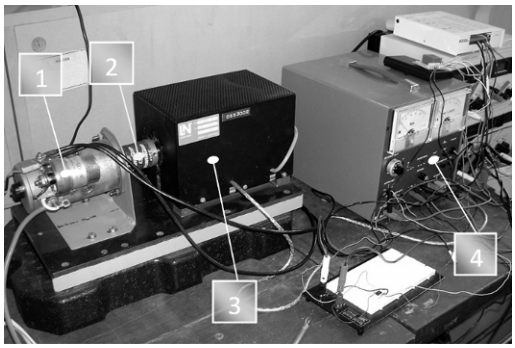
A cikk első részében a motor differenciálegyenletekre épülő lineáris modelljét építjük fel és validáljuk a kifejlesztett mérőpadon végzett mérések alapján. [7]

A második modellezési mód a mesterséges intelligencia módszerek felhasználása elektromechanikus aktuátorok modellezésére. [10] Többrétegű neurális hálót használunk a motor viselkedésnek modellezésére. A tanítási folyamathoz használt mintakészletek a valódi rendszeren végzett mérésekből származnak.

A harmadik módszer egy közelítő eljárás a rendszerek modellezéséhez. A laboratóriumi mérőpadon végzett mérések alapján egy adatbázist építünk fel. Az adatbázis pontjaiból számítjuk ki a motor keresett paramétereit.

2. Laboratóriumi mérőpad

Az indítómotor jellemző mennyiségeinek méréséhez, vizsgálatához mérőpad került kifejlesztésre.[5, 6, 11] A projekhez készült mérőpadot úgy kellet kialakítani, hogy az jelleghűen szimulálja az indítási folyamatot.



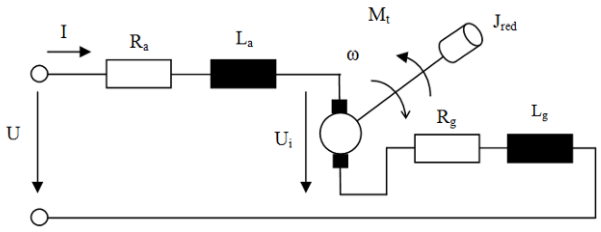
1. ábra *A mérésekhez készült mérőpad*

Az 1. ábra mutatja be a kifejlesztett laboratóriumi mérőpad főbb komponenseit. Az indítómotor {1} egy gépkocsi akkumulátorról működtethető. A motor tengelye egy tengelykapcsoló {2} segítségével kapcsolodik egy mágnesporos fékhez {3}. A fék segítségével dinamikus terhelés állítható elő és alkalmazható a motoron. A motoron mérjük a legfontosabb mennyiségeket, mint a felvett áram (*I*), akkumulátor feszültség (*U*), ami egyben a indító motor kapcsaira jutó feszültség is. A dinamikus terhelést megvalósítani képes fék lehetővé teszi

még a szögsebesség (ω) és a terhelőnyomaték (M_t) mérését is. Számítógépes adatgyűjtés egy NI mérőkártyával történt. A Windows/CVI-ban készült mérő és vezérlőprogram segítségével lehetőség van dinamikusan terhelni a motort a mágnesporos fék segítségével, miközben mérjük a fenti paramétereket. A mennyiségek mérése 800Hz-es mintavételezési frekvenciával történt.

3. Modellezés differenciál egyenletekkel

Az indító motor természeténél fogva dinamikai rendszer [6]. Viselkedése leírható differenciál egyenletek segítségével. A motor soros gerjesztésű egyenáramú motor, amelynek -az irodalomból jól [8] ismert- villamos modelljét a 2. ábra mutatja.



2. ábra *A soros gerjesztésű indítómotor linearizált modellje*

A modellre felírhatjuk az armatúra egyenletet:

$$\frac{dI}{dt} = (U - (R_a + R_g)I - K_1\omega)/(L_a + L_g)\,. \tag{1}$$

Itt R_a és R_g rendre az armatúra és a gerjesztő tekercs ellenállása; L_a és L_g rendre az armatúra és a gerjesztő tekercs az indukciói; I az armatúra- és egyben a gerjesztő áram.

Az U_i indukált feszültség és a motor ω szögsebessége közti összefüggést lineárisnak vehetjük (2).

$$U_i = K_1\omega \tag{2}$$

Az elektromos motorállandó (K_1) és a nyomatéki együttható (K_2) az alkalmazott modellben nem egyenlő. Felírható továbbá a mozgásegyenlet a motor tengelyére (*3*)

$$\frac{d\omega}{dt} = (K_2 I - M_t)/J_{red}\,, \tag{3}$$

ahol M_t terhelőnyomaték vagyis a fék által kifejtett terhelés a motor tengelyére; J_{red} motor tengelyére redukált tehetetlenségi nyomaték.

A mechanikai egyenletben a csap- és csapágysúrlódási veszteségeket elhanyagoljuk. A motor nyomatékát annak gerjesztő áramával vehetjük arányosnak. A

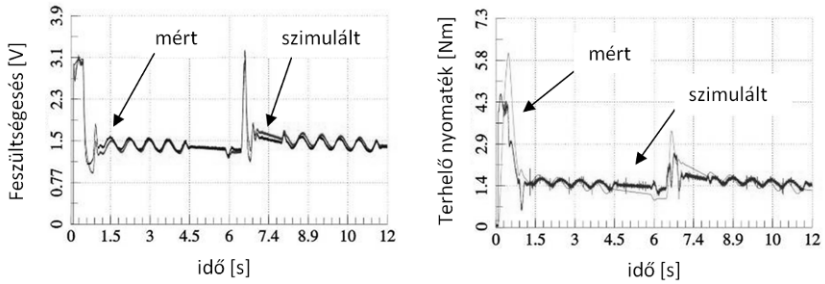
redukált nyomaték magában foglalja a fék és a tengelykapcsoló tehetetlenségi nyomatékát is.

Az (1), (2), (3) differenciál egyenletek mérésekhez való illesztéséhez a legkisebb négyzetek módszerét használtuk. Minimumkereső algoritmusként a gyorsabb konvergálás érdekében a Levenberg-Marquardt algoritmusra (*LMA*) esett a választás. A mért értékek felhasználás mellett szükség volt a mennyiségek deriváltjaira is. Az áram illetve szögsebesség deriváltjainak kiszámításhoz három-pontos közelítést használtunk. A deriváltak jobb közelítéséhez szűréseket végeztünk a jelsorozatokon.

1. táblázat. *Validáció értékei*

Keresett paraméter	Átlagérték	Szórás
R [Ω]	0.0276	0.019
L [mH]	4.98	1.3
K_1 [V/perc]	0.00036	0.00015
K_2 [Nm/A]	0.02703	0.0139
J [kgm^2]	0.00621	0.0017

Az eredményekből (1. táblázat) jól látszik, hogy a villamos paraméterek jól mérhető tulajdonságuk miatt kisebb szórással rendelkeznek, mint a közvetett módon mérhető mechanikai paraméterek. Az akkumulátor feszültségesésének mért és paraméterekkel számított értéke, valamint a terhelőnyomaték mért és paraméterekkel szimulált értéke a 3. ábra ábrán látható.



3. ábra *Validálás eredménye: a motor kapcsain létre jövő feszültségesés (bal ábra) és számolt és mért terhelőnyomatékok (jobb ábra)*

4. Modellezés neurális hálóval

A differenciál egyenletes modellezésen kívül egy másik lehetőség, ha fekete dobozként tekintünk a motorra. [10] A motor villamos energiát alakít át mechanikus energiává. Így a motor viselkedését a megjelenő fizikai mennyiségek, mint a motor bemenetén a motor kapcsaira kapcsolt feszültség és a tekercseiben folyó áram, a motor kimenetén a forgórész fordulatszáma és a generált nyomaték, írják le.

A villamos működtetésű elektromechanikus aktuátorok általában egybemenetű és egykimenetű (SISO) rendszerek. Több lehetőség is adódik a bemeneti és a kimeneti paraméter megválasztásánál. A cikkben azt az esetet vizsgáljuk, amikor bemenetként a motor tekercsein folyó áramot választjuk és kimeneti jelként a fordulatszámot tekintjük. Elméletileg bármelyik bemeneti és kimeneti párosítás elképzelhető lenne.

Alapvetően a neurális háló statikus rendszerek modellezésére alkalmas. [10] Ahhoz hogy alkalmassá tegyük dinamikus rendszerek idősorozatainak közelítésére a háló struktúráját kell dinamikussá tenni. Egyik lehetőség erre, ha a háló bemeneteinek a számát növeljük és a bemenetekre az eredeti bemeneti jelsorozat időegységgel eltolt értéket adjuk. [9] Ilyenkor a hálózat által megvalósított függvénykapcsolat a (*4*) *f* függvénykapcsolatot közelíti.

$$\tilde{y}(t) = f\left(u(t), u(t-1), u(t-2), ..., u(t-n)\right) \quad n = 1...6 \tag{4}$$

ahol $\tilde{y}(t)$ a háló kimenete illetve a modell közelítése a *t*-ik időpillanatban; $u(t)$ a háló bemenete a t. időpillanatban; $u(t-1)$ a háló bemenete a (t-1). időpillanatban.

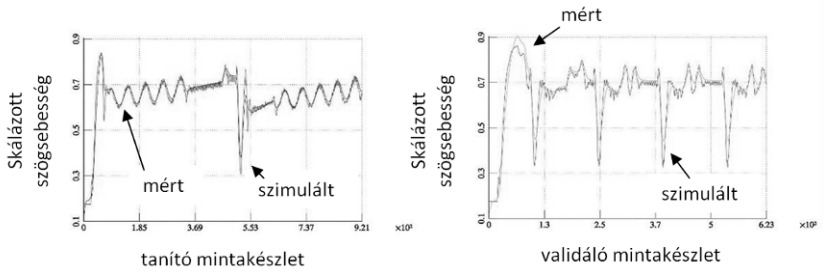
Ilyen hálóstruktúra használata mellett az indítómotor, mint dinamikai rendszer került modellezésre. A matematikai apparátus megismeréséhez egy szimulációs sorozat készült, amely során növeltük a neurális hálózat bemeneteinek számát 1 és 6 között, valamint a rejtett rétegben található neuronok számát is változtattuk. Az aktuális hálóstruktúrával tanítási folyamatot végeztünk.

A szimulációs sorozat során különféle tanító mintakészleteket is használtunk. A készleteket a mérésekből kaptuk, újra-mintavételezés, szűrés, skálázás után. A háló struktúrájához csak 3 rétegű, azaz egy rejtett réteggel rendelkező hálózatokat használtunk. A hálóban szereplő neuronok aktivációs függvénye szigmoid függvény voltak. A jobb eredmény elérése érdekében a rejtett rétegben lévő neuronok számát növeltük tízes lépésekben egytől százegyig. Minden hálókonfiguráció betanítását 200000 iterációs lépésig futtattunk.

A neurális háló betanításánál vigyázni kell arra, hogy a háló a betanító mintát kellő pontossággal betanulja, de a hálózat még képes legyen az extrapolációra. [9,10] Éppen ezért nem mindegy meddig történik a betanítás. A betanítás leállításához több leállító kritériumot is teszteltünk, de az átlagos négyzetes hiba (MSE) bizonyult a legjobbnak.

A háló súlyai kezdőértékének meghatározásához a Widrow – Nguyen algoritmus [1] használtuk, ami a hálózat konvergálásának gyorsítását teszi lehetővé. A neurális hálózatok betanításához hiba-visszaterjesztésen alapuló algoritmus egyik változatát használtuk.

A kapott modellhalmazból lineáris regressziót alkalmazva a háló közelítése és a kívánt eredmény között, sikerült a legjobb modellt kiválasztani. A modell jól elsajátította a tanító mintakészletet és jól közelíti az ismeretlen validáló mintasorozatot is (4. ábra).



4. ábra *Betanított hálózat válasza a tanító (bal) és a validáló (jobb) mintakészletre*

5. Kikereső táblán alapuló modellezés

Abban az esetben, ha sok mérési eredményünk van, egy lehetséges megoldás a rendszer viselkedésének modellezésére, hogy a méréseket adatbázisba rendezzük és a mérések információi alapján bemeneti paraméterek használatával generáljuk a megoldást. [7]

Létrehoztunk egy diszkrét méretű rácshálózatot, amiben a mérésekből származó, összetartozó adatokat rendezzük. Amikor szimulálásra kerül a sor, a modellezésben aktuálisan szereplő bemeneti paraméterek alapján, a kialakított adatbázis segítségével közelíteni a lehet az eredményt.

A kialakított adatbázis nem tartalmazza az összes adatot, hanem referencia pontokat tartalmaz. Az aktuálisan keresett pontok extrapolálhatók a környezetében lévő referenciapontoktól vett távolságok aránya alapján.

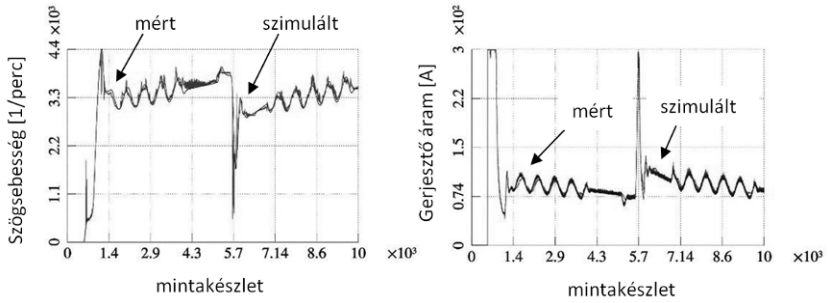
A keresett érték (z koordináta) az (5) összefüggés alapján közelíthető ($\tilde{z}$) az aktuálisan keresett pont és a pont környezetében lévő 4 darab referenciapontok relatív távolságai (6) alapján. A referencia pontok z koordinátája hordozza a keresett mennyiséget. A kialakított adatbázisban az x érték a motor kapcsain mérhető feszültség és az y koordináta a motort terhelő nyomaték volt.

$$\tilde{z}(t) = (d_1 z_4 + d_2 z_3 + d_3 z_2 + d_4 z_1)/(d_1 + d_2 + d_3 + d_4)\,, \tag{5}$$

$$d_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \tag{6}$$

Itt d_i az aktuálisan keresett pont és a hozzá legközelebb eső i.pont relatív távolsága.

Két adatbázis került kialakításra a mérések alapján: egy a motor szögsebességének meghatározásához egy pedig a motor aktuális áramának kiszámításhoz. A modell tovább finomítható a használt rács sűrítésével illetve részben a nagyobb számú referencia pont használatával.



5. ábra *Keresőtáblás modellek közelítései: a sebesség közelítése (bal); az áram közelítése (jobb)*

Az adatbázisok felhasználásával a kívánt és a közelített sebesség-idő és áram-idő grafikonok az 5. ábrán láthatók. A módszer jobb közelítést ad az áram meghatározásakor, de a sebesség időbeni lefutása is csak a gyors változásoknál haladja mega 10% hibát.

6. Alkalmazott programok

A cikkben közölt eredményekhez a C/C++ nyelven íródott programok kerültek kifejlesztésre, a feldolgozási és futási idő lerövidítése céljából.

A neurális hálózatok betanítása és a generált adatfeldolgozása igen időigényes feladat még nagyteljestményű számítógépek esetén is, ezért C/C++ nyelven írt programok jelentősen lecsökkentették a folyamatok idejét. A neurális háló programozásához a FANN függvénykönyvtár [3], a grafikonok megjelenítéséhez a MathGL könyvtár, egyéb számításokhoz a GSL függvénycsomag kerültek alkalmazásra.

7. Összefoglalás

A cikkben három – eltérő gondolkodásmódot tükröző – módszer került bemutatásra az aktuátor modellezés témaköréből. A mérések alapján különféle modellek építhetők fel a valós rendszer modellezésére. Az itt bemutatott három módszernek vannak előnyei és hátrányai. A differenciálegyenlet használatakor nagy a számításigény, de a helyes validálás nagyon jó közelítést ad. A neurális háló betanítási folyamatához a tanító mintakészlet kialakítása nagy és gondos munkát igénylő feladat. A jól meghatározott hálóstruktúra, a jó tanítási paraméterek meghatározása fel tudja gyorsítani a háló konvergenciáját a legjobb megoldás felé. A betanított háló képes extrapolálni a tanult minták alapján és kisebb számítási igénnyel bír mint a differenciál egyenlet. Harmadik módszer adja a legrosszabb közelítést, de ezen tulajdonság mellett a legkisebb a számításigénye és egyben a legegyszerűbb is.

8. Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

9. Irodalomjegyzék

[1] Pizarro, J., Guerrero, E., Galando, P. L., *A statistical model selection strategy applied to neural networks*, European Symposium on Artificial Neural Networks, 26-28 April 2000, pp. 55-60

[2] Bush-Vishniac, Ilene, J., *Electromechanical sensors and actuators*, Springer Verlag, 1999., ISBN 978-0-387-98495-7

[3] Nissen, S., *Implementation of a Fast Artificial Neural Network Library (fann)*, Department of Computer Science University of Copenhagen (DIKU), 2003

[4] Nguyen, D., Widrow, B., *Improving the learning speed of 2-layer neural networks by choosing initial values of the adaptive weights*, In Proceedings of the IJCNN, volume III, 1990, pp 21–26

[5] Kovács, E., Szalontai, L., Füvesi, V., *Investigation of the Solenoid Switch of an Electric Starter Motor with Simulation*, "X. International Conference on Energetics-Electrical Engineering", Kolozsvár, Romania, 2009.

[6] Füvesi, V., Kovács, E., Blága, Cs., *Measurement and identification of a starter motor system*, MACRo2010, Románia, ISBN 978-973-1970-39-4, 2010, pp 129-133

[7] Isermann, R., *Mechatronic Systems, Fundamentals*, Springer, 2005, ISBN 1852339306

[8] Chiassion, J., *Modelling and High-Performance Control of Electric Machines*, IEEE Series on Power Enginering, John Wiley & Sons Inc, 2005, ISBN 0-471-68449-X

[9] Kovacs, E., *Neural network based modeling of actuators with BLDC motor*, Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, Capri, Olaszország, 2004

[10] Horváth, G., *Neurális hálózatok és műszaki alkalmazásaik*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1998, ISBN 9634205771

[11] Blága, Cs., Kovács, E., *Simulation of performances curves of a starter*, XXIV microCAD, International Scientific Conference, University of Miskolc, ISBN 978-963-661-915-2, 2010, pp. 127-132

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 205-212.

ANYAGMOZGATÓ FELRAKÓGÉP TERVEZÉSI LÉPÉSEI

Vitális Csaba
gépészmérnök hallgató, e-mail: v431102@gmail.com

Szabó Zoltán
gépészmérnök hallgató, e-mail: zoltan1201@gmail.com

Hajdu Sándor
főiskolai adjunktus, e-mail: hajdusandor@eng.unideb.hu
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék
4028, Debrecen, Ótemető u. 2-4.

Kulcsár Béla
Dékán, e-mail: kulcsar-bela@eagt.bme.hu
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar, Építőgépek, Anyagmozgatógépek és Üzemi Logisztika Tanszék
1111, Budapest, Bertalan Lajos u. 7-9.

Összefoglalás

Elsődleges célunk, egy, a felrakógépek számítógéppel segített méretezésére szolgáló eljárás kidolgozása volt. Ez lehetővé teszi a változtatható bemenő paraméterek hatásának elemzését egy új szerkezet tervezése során, vagy egy már meglévő szerkezet ellenőrzésénél; választott munkakörnyezet: MathCAD. előnyei közé tartozik a képletszerű adatbevitel, azonnali számítás végzése és dokumentáció készítés.

Kulcsszavak: *Magasraktári felrakógép, acélszerkezetek terhei, tervezési lépések.*

Abstract

Our primary goal is developing a procedure of the lifters computer aided sizing. It allows the analysis of the impact of variable input parameters when designing a new structure or when checking an existing structure; chosen working environment: MathCAD. It's benefits including input formula, immediate calculation and documenting.

Keywords: *Storage and retrieval machine, loads on steel structures, planning steps.*

1. Bevezetés

Az 1980-as évek elején a logisztikában kialakuló integráció hatására Nyugat-Európában a jobb raktározás, gyorsabb rendelkezésre állás, a kisebb helyigényre való törekvés és a nagymennyiségű áruk gazdaságos tárolásának érdekében magasraktárakat hoztak létre.

Ezen raktárakban az anyagok állványrendszerekbe való be; ill. kitárolását gyors mozgású, általában teljesen automatizált felrakógépek végzik. Fontos megemlíteni, hogy maga az állvány rendszer az épület vázszerkezeti is egyben.

A magasraktárak létesítése elsősorban a következő körülmények, ill. feltételek megléte esetén mérlegelhető, ha a raktár magas szervezettségi színvonalú termelési folyamatrendszert, ill. térbeli elosztási rendszert szolgál ki. A tárolandó árukészlet homogén egységrakományokba összefogható áruféleségekből áll. A tárolandó áruféleségek száma nagy, az egy cikkelemből tárolandó készletmennyiség viszonylag kicsi. Nagy áruforgalom esetén vagy a raktár létesítésére rendelkezésre álló terület kicsi.

1.1. Felhasználási terület

Szeretnénk egy gyakorlati példán bemutatni, hogy igen széles és eltérő felhasználási területeken alkalmazzák a magasraktárakat. Az alábbi példákon kívül még használják a gyógyszeriparban, a vegyiparban, a bank szférában, a bútor és autógyártásban is, stb.

1. ábra *Wagner Tiefkühlprodukte GmbH mélyhűtött magasraktára*

2. Felrakógépek

A raktári felrakógép definíciója (FEM 9.101 szerint): olyan haladó és emelőmű, amely raktári állvány kézi vagy gépi kiszolgálására alkalmas, a be; ill. kitárolási folyamat teherfelvevő szerkezet vagy kiszolgáló személy segítségével történik.

A magasraktárakban az anyagok állványrendszerekbe való be, illetve kitárolását gyors mozgású, általában teljesen automatizált felrakógépek végzik, amelyek emelési magassága esetenként elérheti az 50 m-t, az emelt teher tömege pedig az 5000 kg-ot.

A vizsgált raktári berendezést elsősorban tőlünk nyugatra, német ajkú területeken gyártják és alkalmazzák. Korábban hazánkban is jelentős volt a felrakógép tervezés és gyártás, például a budapesti székhelyű Intranszmas cégnél, de rendeltetésszerűen használták itthoni vállalatok is, mint például a ma is aktív Vegyterv, vagy a Hajdu háztartási gépek gyártásával foglalkozó cégek.

2.1. Acélszerkezet

A felrakógép acélszerkezete két alapvető részből áll, az oszlopból és a kerékszekrényből.

Az oszlop általában szekrényes, ritkább esetben rácsos szerkezetű és elsődleges feladata az emelt terhekből származó igénybevételek felvétele és az emelőkocsi megvezetése. Magasságára tekintettel több szekcióból szokás elkészíteni, ez költséghatékonyabb eljárást eredményez.

A szerkezet haladó mozgásáért fellelős szerkezeti elem a kerékszekrény, csatlakozási pontjainál adódik át a terhelés az oszlopról a kerékszekrényre és onnan a sínekre. A kerékszekrény sínen való futását egy hajtott, ill. egy szabadonfutó kerék biztosítja, az egész gép megvezetését vezető görgők végzik. Szerkezeti kapcsolatuk általában csavar, ill. hegesztett kötés.

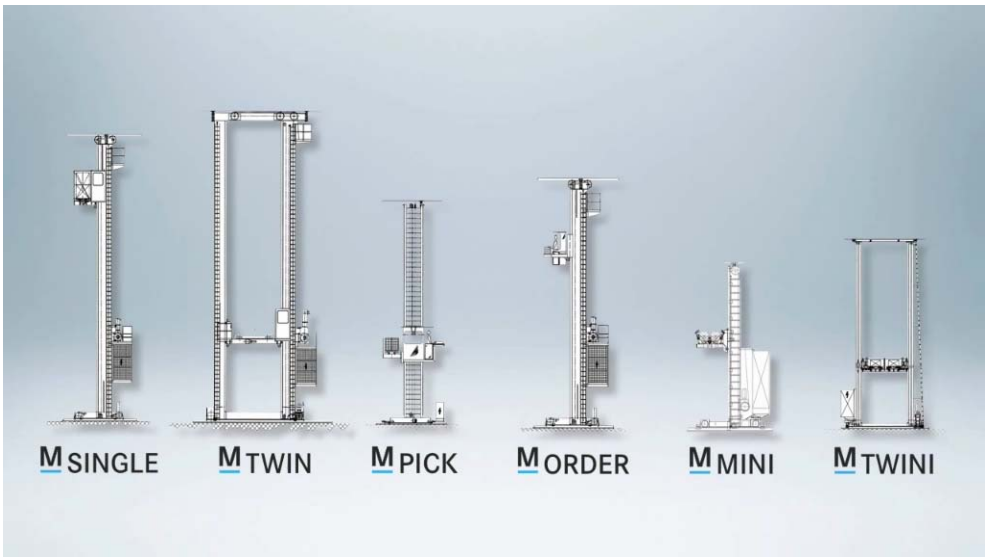
2.2. Konstrukciós kialakítás

A 2. ábrán az MLOG cég által tervezett és épített felrakógépek láthatók.

Az MLOG katalógusában a különböző típusok kialakulásának okai a következőkre vezethetők vissza:

- nem minden helyen alakult ki igazából magasraktárnak nevezhető tároló létesítmény, több helyen a raktárak belmagassága a 10 m-t sem éri el (középmagas, 6-10 m-es belmagasság),
- így a cég a felhasználói igényeket rugalmasan megközelítve, közepes belmagasságú raktárakba is kínál berendezést,
- továbbá 1, illetve 2 oszlopos felrakógép a fő profil.

Az oszlopszámok különbözősége az emelhető tömegre vezethető vissza, a 2 oszlopos nagyobb tömeget emelhet, a szerkezet nagyobb stabilitással rendelkezik.



***2. ábra** Az MLOG cég által gyártott felrakógépek*

3. Programtervezési lépések

Elsődleges feladatunk a bemenő paraméterek és követelmények meghatározása volt, mint például a sebességek és gyorsulások, a geometriai adatok, stb.

Ezt követően a témában íródott szabványok feldolgozása következett, itt fontos megemlítenünk, hogy a F.E.M 9.311 (FEM – „Európai Anyagmozgatási Egyesülés") szabvány kifejezetten a felrakógépek acélszerkezetének méretezésével foglalkozik, a további szabványokat az előre meghatározott ellenőrzések és vizsgálatok elvégzése érdekében használtuk fel.

Számítási eljárásunk tervezésének legfontosabb lépései:

- terhek és a belőlük származó igénybevételek meghatározása,
- ezekből származó feszültségek számítása a veszélyes keresztmetszeti pontokban, ill. ezek ellenőrzése,
- egyéb vizsgálatok (kihajlás, horpadás, kifáradás, alakváltozások) elvégzése,
- számítási eljárás helyes működésének ellenőrzése végeselem módszer segítségével.

4. Figyelembe veendő terhek a F.E.M. 9.311 alapján

- Főterhelés:
  - Sajáttömegek (oszlop, kerékszekrény, stb.)
  - Emelt terhek (hasznos teher, emelőkocsi, stb.)

  - Függőleges és vízszintes tehetetlenségi erők
- <u>További terhelés:</u>
  - Ferde futás miatt kialakuló erők
  - Terhek járdákon, lépcsőkön és korlátokon
- <u>Speciális terhelés:</u>
  - Ütköző erők
  - Teherpróba
  - Zuhanásgátló fogószerkezet működésbe lépése

5. Felhasznált képlet

Az alábbi, egyszerűsített képlet a főterhelésből származó feszültség számítási képletét mutatja be. A MathCAD már említett előnyét tükrözik, a képletszerűen bevihető változók.

$$\sigma_{_l} = \frac{-M'_{hz_l} \cdot \psi + M'_{hz_d} \cdot \varphi - M''_{hz_l} \cdot S_w - M''_{hz_d} \cdot S_w}{I_{zl}} \cdot e_{xA} + \frac{-N'_{y_l} \cdot \psi + N'_{y_d} \cdot \varphi}{A'_l} \qquad (1)$$

ahol:

$\sigma_{_l}$ – az egyes terhelési esetekben vizsgált feszültség érték;
ψ – az emelt terhek tényezője;
φ – a sajáttömegek tényezője;
S_w – a dinamikus tényező;
M_{hz_l} – az emelt terhek hatására keletkező hajlító nyomaték (ugyan így a sajáttömegekre);
N_{y_l} – az emelt terhek hatására keletkező normál igénybevétel (ugyan így a sajáttömegekre).

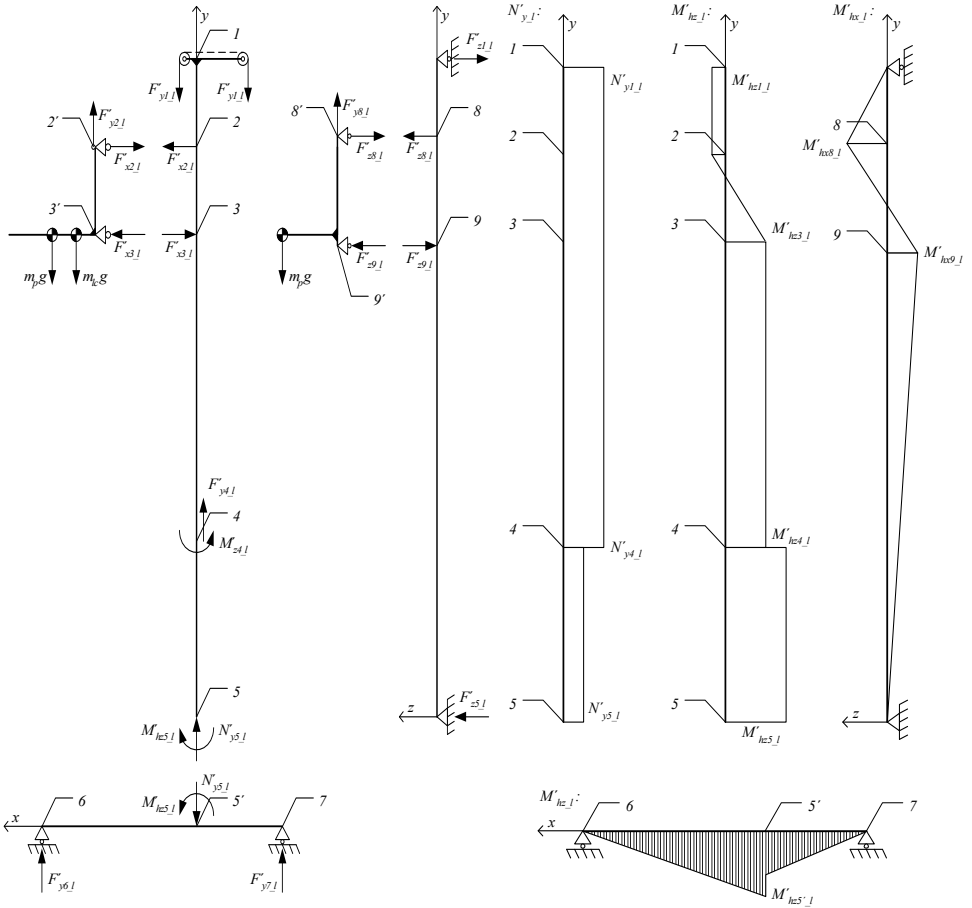
6. Igénybevételi ábrák

Első lépésben a szerkezetünk statikai modelljét kellett megterveznünk és elkészítenünk.

A terhelések meghatározása után felrajzoltuk a különböző esetekre az igénybevételi ábrákat Mindegyik terhelési estet (lásd.: 3.1-es fejezet) a szabványban közöltek szerint külön-külön biztonsági tényezőkkel kell figyelembe vennünk.

6.1. Erőhatások és igénybevételek az emelt terhek súlyának hatására

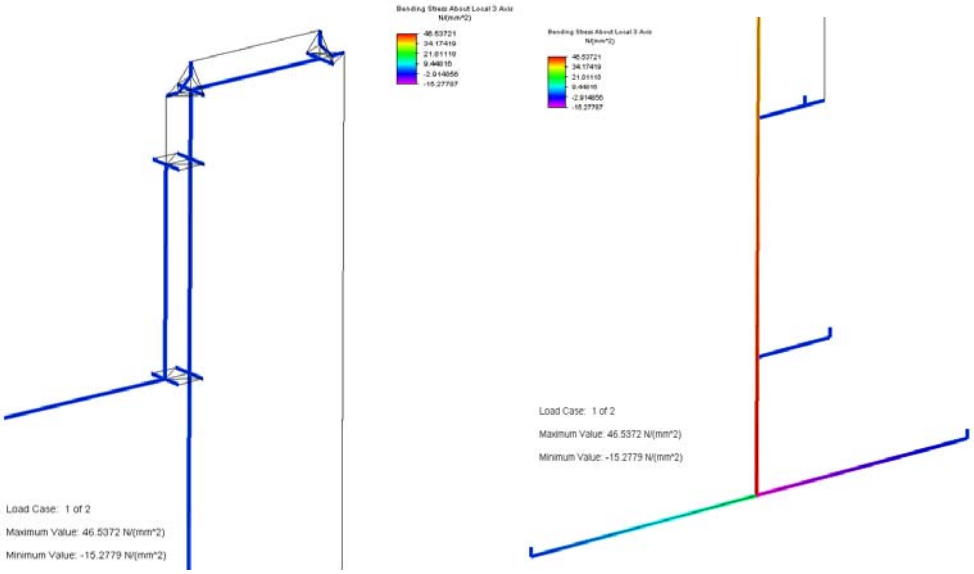
A 3. ábrán látható esetnél az emelt terhek súlyának hatását vizsgáltuk, ez a főterhelés részét képezi, megfigyelhető, hogy az oszlop alsó szekciója szenvedi a legnagyobb igénybevételt, a későbbi vizsgálatok tárgyát ez a keresztmetszet fogja képezni, például a feszültségek meghatározásánál.



3. ábra *Az erőhatások és igénybevételi ábrák az emelt terhek súlyának hatására*

7. Eredményeink ellenőrzése

A számítási eljárásunk eredményeinek helyességét végeselem módszer segítségével ellenőriztük.



4. ábra *Az oszlop felső és alsó szekciójában keletkező feszültség*

7.1. Eredményeink összehasonlítása a saját fejlesztésű szoftverrel

A számítógépes programunk által szolgáltatott eredmények és a végeselem-futtatások eredményeinek összehasonlítása alapján megállapítható, hogy ezek jó közelítéssel megegyeznek.

Tehát végeredményben kijelenthetjük, hogy az általunk meghatározott elhanyagolásokat is figyelembe véve a megvalósított méretező program kielégítő eredménnyel használható.

8. Összefoglalás

Munkánkban bemutattunk egy, a felrakógépek számítógéppel segített méretezésére szolgáló eljárást.

A létrehozott módszer segítségével lehetővé vált a tervezési paraméterek hatásának elemzése egy új szerkezet tervezése során, vagy egy már meglévő szerkezet ellenőrzésénél.

Eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy az eljárásunk segítségével tervezett szerkezet megfelelne a valóságos környezetben támasztott elvárásoknak.

9. Irodalomjegyzék

[1.] FEM 9.311 – *Rules for the Design of Storage and Retrieval Machines – Structures*

[2.] FEM 9.512 – *Rules for the Design of Storage and Retrieval Machines – Mechanisms*

[3.] FEM 9.341 – *Rules for the Design of Series Lifting Equipment - Local Girder Stresses*

[4.] FEM 9.511 – *Rules for the Design of Series Lifting Equipment- Classification of Mechanisms*

[5.] FEM 9.661 – *Rules for the Design of Series Lifting Equipment - Dimensions and Design of Rope Reeving Components*

[6.] FEM 9.683 – *Rules for the Design of Series Lifting Equipment - Selection of Lifting and Travel Motors*

[7.] FEM 1.001 – *Rules for the Design of Hoisting Appliances*

[8.] MSZ 15024/1 - *Építmények acélszerkezeteinek erőtani tervezése*

[9.] Dr. Tóth L. J.: *Gépelemek I. Kötések és Kötőelemek* / Tananyag Kiegészítő – Debrecen. 2006

[10.] Dr. Kása L. -, Dr. Meleghegyi Tibor -, Pécsi Ottó: *Emelőgépek Biztonságos Üzemeltetése* – Budapest. 2008

[11.] Dr. Felföldi L.: *Anyagmozgatás kézikönyv* – Budapest 1975

[12.] Dr. Prezendzki J.: *Logisztika* – Budapest 1995

[13.] Dr. Nagy G.: *Logisztika* – Debrecen 2001

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 213-220.

ERŐMŰI SZERKEZETI ELEMEK ÉLETTARTAM GAZDÁLKODÁSÁNAK TÁMOGATÁSA A TÖRÉSMECHANIKA ALKALMAZÁSÁVAL

Lukács János
egyetemi tanár
Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros,
janos.lukacs@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A kutató munka célja különböző anyagok fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállásának meghatározása volt, különböző környezeti feltételek mellett. A fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatokra ausztenites korrózióálló acél alapanyagból, illetve ötvözetlen acél és ausztenites hegesztő hozaganyag K-varratos hegesztett kötéséből kimunkált próbatesteken került sor. Az első esetben két, a második esetben pedig három névleges vizsgálati hőmérsékletet alkalmaztunk, a korróziós közegek különbözőek voltak. A fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállás jellemzésére a Paris-Erdogan összefüggést alkalmaztuk.

Kulcsszavak: *fáradásos repedésterjedés, korróziós közeg, növelt hőmérséklet, Paris-Erdogan összefüggés*

Abstract

The research work aimed to determine the fatigue crack propagation resistance of different materials under different environmental conditions. Fatigue crack growth test specimens were cut from austenitic stainless steel and from K-type welded joints made of unalloyed steel and austenitic filler material. Two and three different temperatures and different agents were applied during the examinations, respectively. Paris-Erdogan equation was used for describing and characterising the fatigue crack propagation resistance.

Keywords: *fatigue crack growth, corrosive environment, elevated temperature, Paris-Erdogan law*

1. Bevezetés

Az erőműi szerkezetek, szerkezeti elemek élettartam gazdálkodása napjainkban – mind műszaki, mind gazdasági oldalról – racionális igény. Az ilyen szerkezeti elemek összetett igénybevétele (mechanikai, termikus, környezeti) és hosszú üzemeltetési ideje a szerkezeti elem károsodásához vezet; a felvetődő kérdésekre, különösen a „hogyan tovább?” típusú kérdésekre, a törésmechanika segítségével kereshetünk és adhatunk válaszokat.

Az erőműi szerkezeti elemekben lévő anyagfolytonossági hiányok, mindenek előtt a repedések, keletkezésének és terjedésének leírása, illetve követése az

élettartam gazdálkodás egyik kiemelt feladata. A felvetődő kérdések megválaszolása megbízható anyagi mérőszámokat kíván, amelyek meghatározása ismétlődő igénybevétel, növelt – és esetleg változó – hőmérséklet esetén, korróziós közegben, nem egyszerűen kivitelezhető feladat.

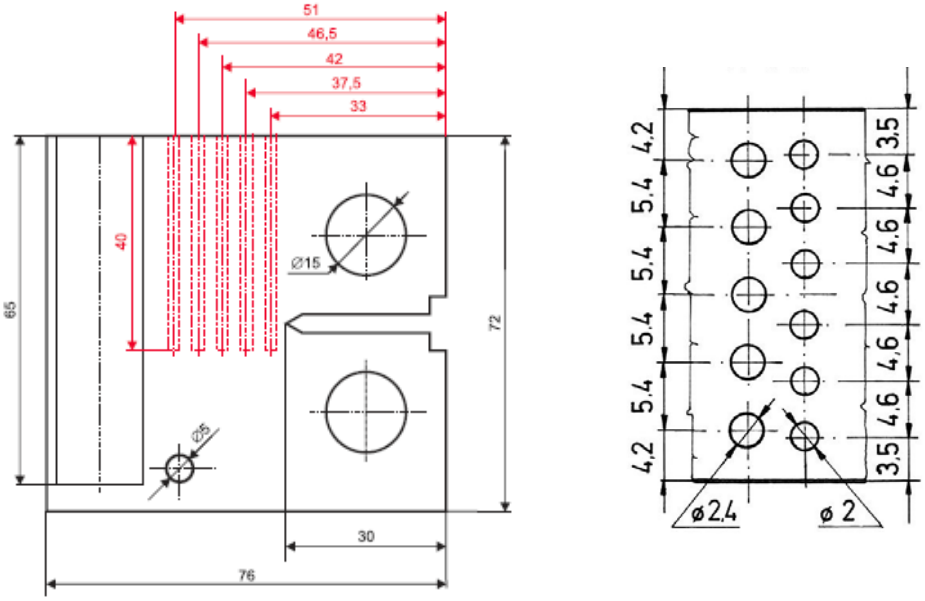
A közlemény célja a különböző anyagminőségekhez rendelt növelt hőmérsékleteken és korróziós közegekben elvégzett fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatok, továbbá azok eredményeinek bemutatása. A vizsgálatoknak több specialitása volt. Az egyik az, hogy a növelt hőmérsékleteket alapvetően a próbatestekbe integrált fűtőpatronokon keresztül biztosítottuk; a másik pedig az, hogy a korróziós közeg helyileg került injektálásra, amelyet a szokásos, tömör CT próbatestek helyett furatos CT próbatestek alkalmazásával oldottunk meg. Mindkét megoldás szolgálta a vizsgálatok elvégezhetőségét, ugyanakkor azok befolyásoló hatását, a vizsgálati eredmények meghatározása és értékelése során figyelembe kellett vennünk. A harmadik specialitás az volt, hogy az első csoportba tartozó próbatesteken – a stabil repedésterjedés, illetve repedéstompulás tanulmányozására – olyan vizsgálatokat is végeztünk, amelyek során az adott hőmérsékleten, a fárasztás közben, 3 órás, az ismétlődő igénybevétel maximumával egyező nagyságú statikus terhelést iktattunk közbe. Végezetül, a negyedik specialitás az volt, hogy a második csoportba tartozó próbatesteken – a hőmérséklet-változás befolyásoló hatásának tanulmányozására – olyan vizsgálatokat is végeztünk, amelyek során a hőmérsékletet, a két névleges hőmérséklet között, négyszög függvény szerint változtattuk.

2. Anyagminőségek, próbatestek, vizsgálati program

Az első csoportba tartozó próbatestek anyagminősége 08H18N10T ausztenites korrózióálló acél volt, ami megfelel az amerikai 321-es (ASTM), a német X6CrNiTi1810 (DIN), illetve a magyar KO36Ti (MSZ) típusnak, számjele pedig 1.4541. Itt a vizsgálat célja az alapanyag fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállásának meghatározása volt. A második csoportban fizikailag szimulált hegesztett kötés vizsgálata volt a cél, olyan kötésé, amely ötvözetlen acél és ausztenites korrózióálló acél között jön létre. A fáradásos repedés az ötvözetlen acél és az ausztenites párnaréteg között, az összeolvadási vonalon haladt, amelyet K-varratos kialakítással biztosítottunk. A próbadarabokhoz, illetve próbatestekhez használt ötvözetlen acél 22K anyagminőségű, az ausztenites párnaréteg és a K-varrat elkészítéséhez használt hegesztő hozaganyag pedig SzV-10H16N25AM6 anyagminőségű volt.

A vizsgálatokhoz CT típusú próbatesteket [1] használtunk. Az ilyen próbatestek szokásos kialakításától (tömör próbatestek) eltérően, a korróziós közegnek a repedéscsúcs környezetébe való juttatása céljából, olyan próbatesteket alkalmaztunk, amelyek a repedésterjedés várható irányára merőlegesen, több sorban, kis átmérőjű furatokat tartalmaztak (furatos próbatestek). A furatok átmérője 2 mm, illetve 2,4 mm volt és 5 sorban, összesen 28 db furat került – szikraforgácsolással –

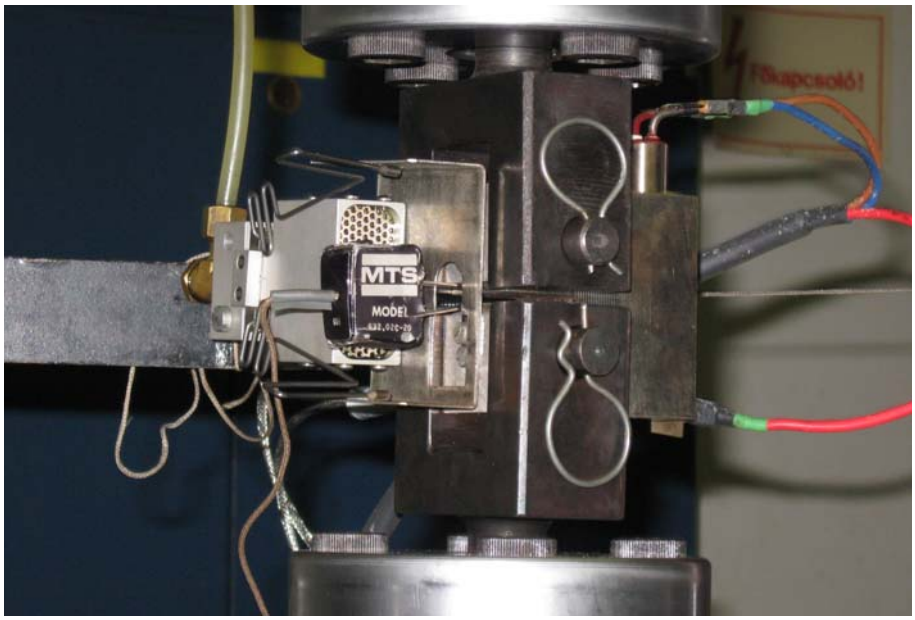
kimunkálásra. A próbatestek geometriáját és a furatok elhelyezkedését az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. *A vizsgálatokhoz használt furatos CT próbatestek geometriája.*

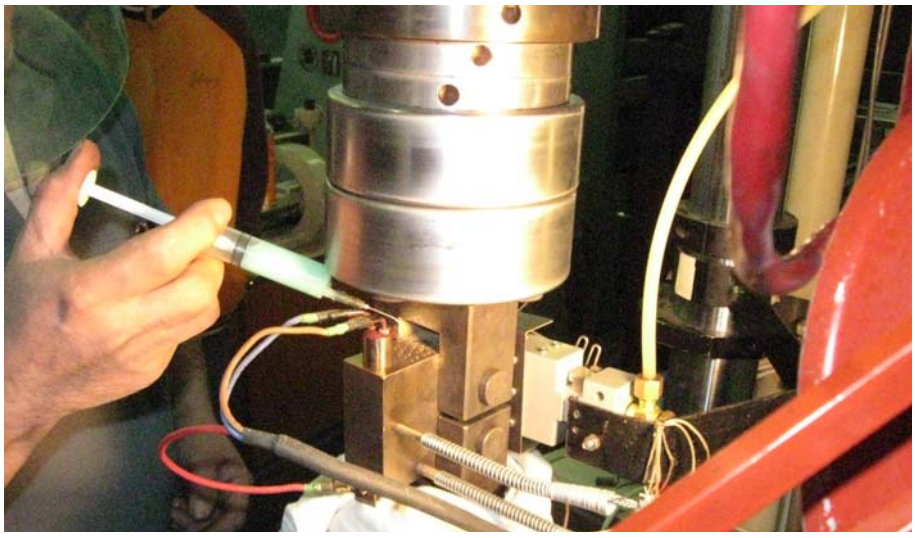
A vizsgálatokra különböző névleges hőmérsékleteken és különböző korróziós közegek injektálásával került sor. Az első csoport esetében a névleges hőmérsékletek 100 °C, illetve 300 °C voltak, a korróziós közeg összetétele pedig 30 g $CuSO_4$*5H_2O + 10 g NaCl + 3 g NaOH 1 liter vízben volt. A második csoport esetében a névleges hőmérsékletek 23 °C (szobahőmérséklet) és 296 °C, illetve 325 °C voltak, a korróziós közeg pedig 10 % bórsavat és 2 % NaCl-ot tartalmazott.

A Mechanikai Technológiai Tanszéken több anyagvizsgáló rendszer áll rendelkezésre törésmechanikai vizsgálatok elvégzéséhez. Tekintettel a prognosztizált terhelésekre és pontossági igényekre, a vizsgálatokhoz az MTS gyártmányú elektro-hidraulikus anyagvizsgáló rendszer alkalmaztuk. A vizsgálatvezérlési lehetőségek közül [2], [3] mindig az adott feladat szempontjából legrelevánsabbat választottuk, esetenként kombinálva is azokat, amelyet a rendelkezésünkre álló eszközök (szétnyílásmérők) méréshatárai is determináltak. A szétnyílásmérők védelme érdekében sűrített levegős hűtést alkalmaztunk, továbbá a próbatestek homlokfelülete elé egy hővédő elemet is felszereltünk, míg a fűtőpatronok védelme érdekében – kiegészítésül – fújt meleg levegős hevítésre is sor került. A fűtőpatron hőmérsékletének szabályozására és a névleges vizsgálati hőmérséklet mérésére külön-külön termoelemeket használtunk. Az 2. ábra bal oldalán megfigyelhető a szétnyílásmérő, valamint a védelmére alkalmazott sűrített levegős hűtés és az eszköz próbatesttől való „elszigetelése”, jobb oldalán pedig a fűtőpatron elhelyezkedése.



2. ábra. *A próbatest elülső oldala vizsgálat közben.*

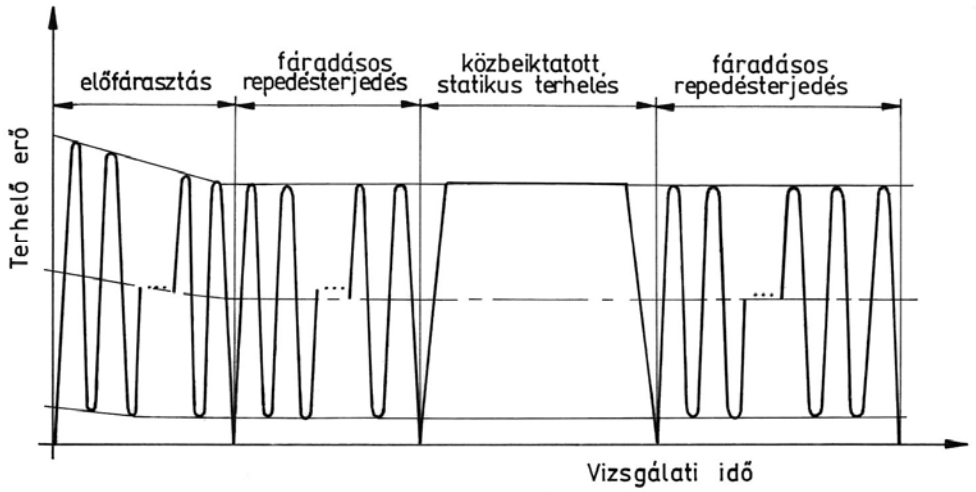
A 3. ábrán a vizsgálati közeg próbatesten kialakított furatokon át történő injektálását mutatjuk be, amelyet folyamatosan végeztünk. Tekintettel a törésmechanikai vizsgálatok azon sajátosságára, hogy azokra előfárasztott próbatesteken kerül sor, és az előfárasztás a vizsgálati szakasztól időben és hőmérsékletben egyaránt elválasztható, közeg injektálására csak a vizsgálati szakaszban került sor.



3. ábra. *A vizsgálati közeg injektálása a próbatesten kialakított furatokon keresztül.*

Az első csoportba tartozó próbatestek közül

- az FCG1_100 és az FCG6_100 jelű próbatestek vizsgálatára 100 °C-os névleges hőmérsékleten,
- az FCG4_300 jelű próbatest vizsgálatára 300 °C-os, az FCG5_290 és az FCG3_290 jelű próbatestek vizsgálatára 290 °C-os névleges hőmérsékleteken került sor;
- az FCG2_300_100 jelű próbatest vizsgálatát pedig 300 °C-os névlegesen hőmérsékleten kezdtük, majd – a fűtőpatron tönkremenetele miatt –100 °C-os névleges hőmérsékleten folytattuk, illetve fejeztük be.
- A stabil repedésterjedés, illetve repedéstompulás tanulmányozására az FCG7_100_3h és az FCG8_290_3h jelű próbatesteken került sor. A statikus terhelés közbeiktatásával fárasztott próbatestek „Terhelő erő" – „Vizsgálati idő" függvényét a 4. (elvi) ábra mutatja be. Az ábra érzékelteti, hogy az előfárasztás tartományában a vizsgálatvezérlő szoftver folyamatosan csökkenti a terhelő erő maximális és minimális értékét (R = állandó). A paramétereket úgy hangoltuk össze, hogy a repedésterjedés szakaszában alkalmazott terhelés amplitúdó legyen azonos az előfárasztás végéhez tartozó terhelés amplitúdóval, továbbá a közbeiktatott statikus terhelés nagysága egyezzen meg a repedésterjedés szakaszában alkalmazott maximális erővel.



4. ábra. *A statikus terhelés közbeiktatásával fárasztott próbatestek terhelési függvénye (elvi ábra).*

A második csoportba tartozó próbatestek közül

- az FCG1_23 jelű próbatest vizsgálatára szobahőmérsékleten,
- az FCG2_296 és az FCG7_296 jelű próbatestek vizsgálatára 296 °C-os névleges hőmérsékleten,

- az FCG3_325 és az FCG4_325 jelű próbatestek vizsgálatára 325 °C-os névleges hőmérsékleten került sor;
- a hőmérséklet-változás befolyásoló hatásának tanulmányozására pedig az FCG5_296_325 és az FCG6_296_325 jelű próbatesteket használtuk.

A fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatokat a [4] előírás alapján végeztük el, az alkalmazott vizsgálatvezérlési módnak (TestLink/TestWare [5], MicroProfiler [6]) mindig a feladat szempontjából optimális módot választottuk.

A terhelés aszimmetria tényező a teljes vizsgálati programban R = 0,1 értékű volt. Minden próbatest előfárasztására szobahőmérsékleten (23 °C) került sor, az alkalmazott vizsgálati frekvencia a próbatestek első csoportjában és az FCG1_23 jelű próbatest esetében f = 20 Hz, az összes többi próbatestnél pedig f = 15 Hz volt. A fáradásos repedésterjedés szakaszában – minden próbatest esetében – ugyanazt a vizsgálati frekvenciát alkalmaztuk, mint amit az előfárasztás során.

3. A vizsgálati eredmények és értékelésük

Az első csoportba tartozó próbatesteken elvégzett fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatok legfontosabb adatait és eredményeit az 1. táblázat foglalja össze. Az FCG7_100_3h és az FCG8_290_3h jelű próbatestek adatainak első sora a statikus terhelés közbeiktatása előtti, második sora pedig az az utáni adatokat és eredményeket tartalmazza.

1. táblázat. *Adatok és eredmények a próbatestek első csoportjában.*

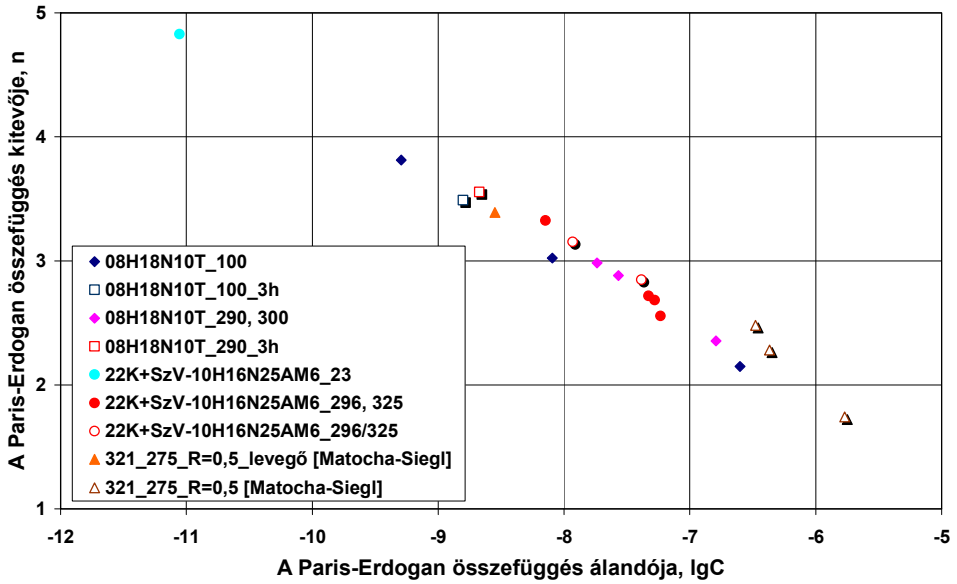
A próbatest jele	$T_{vizsgálati}$ [°C]	$N_{vizsgálati}$ [ciklus]	$a_{befejező}$ [mm]	$a_{befejező}/W$ [mm/mm]	$\Delta K_{befejező}$ [MPam$^{1/2}$]
FCG1_100	98-103	168889	35,00	0,586	44,28
FCG2_300_100	98-105	48807	38,01	0,633	52,32
FCG6_100	98-101	199394	38,01	0,634	53,63
FCG7_100_3h	98-101	107436	23,01	0,383	23,90
		72864	38,01	0,633	53,37
FCG4_300	297-302	58714	38,04	0,634	51,52
FCG2_300_100	297-302	34051	23,00	0,383	23,72
FCG5_290	288-291	56521	37,75	0,629	48,57
FCG3_290	288-291	60997	37,94	0,631	51,40
FCG8_290_3h	288-291	36678	23,00	0,383	23,91
		40826	38,02	0,634	53,18

A második csoportba tartozó próbatesteken végrehajtott mérések legfontosabb adatait és eredményeit a 2. táblázat foglalja össze. Az FCG5_296_325 és az FCG6_296_325 jelű próbatestek adatainak egyes sorai a névleges hőmérsékleti lépcsőknek megfelelő adatokat és eredményeket tartalmazzák.

2. táblázat. *Adatok és eredmények a próbatestek második csoportjában.*

A próbatest jele	$T_{vizsgálati}$ [°C]	$N_{vizsgálati}$ [ciklus]	$a_{befejező}$ [mm]	$a_{befejező}/W$ [mm/mm]	$\Delta K_{befejező}$ [MPam$^{1/2}$]
FCG1_23	23	251286	39,50	0,659	56,22
FCG2_296	296	63233	39,91	0,664	64,61
FCG7_296	296	54542	38,22	0,637	57,29
FCG3_325	325	46668	38,50	0,640	58,16
FCG4_325	325	46214	38,68	0,643	58,67
FCG5_296_325	296	26353	23,01	0,382	25,08
	325	11303	28,01	0,465	31,34
	296	8075	33,01	0,548	40,80
	325	2010	38,23	0,635	56,72
FCG6_296_325	296	17346	23,01	0,382	25,00
	325	8537	28,01	0,465	31,37
	296	6536	33,01	0,548	40,83
	325	1798	37,12	0,617	52,46

A fáradásos repedésterjedés kinetikai diagramjának meghatározására a „Repedésméret” – „Igénybevételi ciklusszám” görbékből, a hét ponton átmenő polinomos módszerrel [4] került sor. A kinetikai diagramokból, az összes adat felhasználásával („átlagolás”) és a legkisebb négyzetek módszerével, kiszámoltuk a Paris-Erdogan összefüggés [7] két paraméterét (C és n), amelyeket az 5. ábra foglal össze.



5. ábra. *A vizsgálatok eredményei: Paris-Erdogan összefüggés paraméterei.*

4. Összefoglalás

A próbatestbe integrált fűtőpatronnal kialakított, furatos CT próbatestek alkalmasak fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatok elvégzésére, növelt hőmérsékleten és korróziós közegben. A furatok befolyásoló hatásának teljesebb feltérképezése, az „átlagolás" alkalmazhatóságának igazolása, további elemzéseket (például VEM) és vizsgálatokat igényel.

A 08H18N10T ausztenites korrózióálló acél alapanyag fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállása a két vizsgálati hőmérsékleten eltérő. A fáradásos repedésterjedés folyamatába közbeiktatott statikus terhelés ideje alatt az alacsonyabb névleges hőmérsékleten nem következett be sem stabil repedésterjedés, sem repedéscsúcs tompulás, a magasabb névleges hőmérsékleten azonban igen.

A fizikailag szimulált K-varratos hegesztett kötés (22K ötvözetlen acél SzV-10H16N25AM6 hegesztő hozaganyag), amelyben a repedés az ötvözetlen acél és az ausztenites párnaréteg között haladt, fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállása a két vizsgálati hőmérsékleten nem eltérő. A hőmérséklet változása a repedésterjedéssel szembeni ellenállást érdemben nem befolyásolja.

Köszönetnyilvánítás

A kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával kezdődött meg, illetve folytatódik.

Irodalomjegyzék

[1] ASTM E 616: *Standard Terminology Relating to Fracture Testing*.

[2] Lukács, J., Lovas, J.: *Az MTS TestLink rendszerével vezérelt anyagvizsgálati mérések és azok kiértékelési módszerei*, Anyagvizsgálók Lapja, 1. évfolyam, 1 szám, 1991. p. 3-5.

[3] Major, Z.: *Az MTS TestStar rendszerével szerzett tapasztalatok*, Anyagvizsgálók Lapja, 3. évfolyam, 1. szám, 1993. p. 16-17.

[4] ASTM E 647: *Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates*.

[5] *759 TestWare, 759.40 Crack growth test*. Software Version 1.02A. MTS Document Number: 115725-02A, MTS Systems Corporation, Minneapolis, Minnesota, 1988.

[6] *MicroProfiler Modell 458.91*. MTS Systems GmbH, Berlin, 115689-01CD, Ferbruary 1989.

[7] Paris, P., Erdogan, F.: *A critical analysis of crack propagation laws. Journal of Basic Engineering*, Trans. of the ASME, December 1963. p. 528-534.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 221-228.

ÜVEGEK MARADÓ FESZÜLTSÉGÉNEK JELLEMZÉSE MŰSZEREZETT KARCVIZSGÁLATTAL

Marosné Berkes Mária[1], Koncsik Zsuzsanna[2]
[1]egyetemi docens, [2]egyetemi tanársegéd
Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 3515, Miskolc-Egyetemváros,
maria.maros@uni-miskolc.hu; metkzs@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A cikkben üvegek felületközeli rétegében kialakult gyártási maradó feszültségek kimutatására és jellemzésére alkalmas vizsgálati eljárás elvét és kísérleti megvalósítását mutatjuk be. A módszer alapelve, hogy karcvizsgálat során a károsodott tartomány nagysága arányos a felületközeli rétegekben lévő maradó feszültségek nagyságával így a karcnyomok számítógépes képelemzésével a maradó feszültségek jellemzésére szolgáló paraméterek meghatározhatók. A cikk ismerteti az eljárás elvét, módszerét továbbá eszközeit és bemutatja az eltérő feszültségállapotú üvegek megkülönböztetésére alkalmas paramétereket.

Kulcsszavak: *üveg, felületi réteg, maradó feszültség, karcvizsgálat, képelemzés*

Abstract

The paper introduces the principle and experimental realization of a test procedure applied for revealing and characterizing surface residual stresses in glass products. The basic principle of the method consists in, that during scratching the damaged area is proportional to the magnitude of the residual stresses developed in the surface layer of the material. Thus, determination of features suitable for characterizing the residual stress state is possible by computational image analysis of the scratch traces. The paper introduces the principle and methodology of the procedure, as well as presents the most suitable characteristics for differentiating between the different residual stress states of the glasses.

Keywords: *glass, surface layer, residual stresses, scratch test, image analysis*

1. Bevezetés

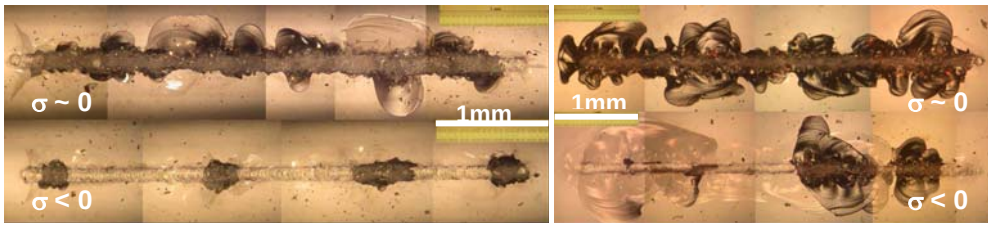
Üvegtermékek megbízhatóságának megítélése szempontjából fontos a felületi rétegekben kialakuló gyártási maradó feszültségek ismerete, mérésük a gyártási és minőségellenőrzési folyamatok szerves része. Munkánk célkitűzése, hogy az üvegek felületi rétegeiben kialakuló maradó feszültségi állapot jellemzésére olyan módszert fejlesszünk ki, amelyik alkalmas átlátszó és nem átlátszó üvegek, különböző üvegminőségű és eltérő geometriájú (sík, cső, stb.) termékek maradó feszültségi állapotának minőségi és mennyiségi elemzésére, továbbá egyszerű, olcsó és integrálható az üveggyártás minőségellenőrzési folyamatába.

Az legelső kísérletek egyszerű mechanikai vizsgálatokra – mikro-keménység mérés (HVM) és Vickers lenyomatos törési szívósság (K_{Ic}) vizsgálatok – épültek [1]. Ezt követően a különböző maradó feszültségi állapotú próbatestek eltérő törési viselkedését műszerezett karcvizsgálat segítségével elemeztük, amelynek tapasztalatairól az alábbiakban számolunk be.

2. A maradó feszültségi állapot jellemzése karcvizsgálattal

Karcvizsgálat során egy szabványos Rockwell gyémánt kúppal állandó, vagy növekvő terhelőerővel, előírt hosszúságú karcot készítünk a minta felületén. A felületi károsodás morfológiája sokféle információt nyújt az anyag viselkedésére, károsodásának jellemzőire vonatkozóan. A karcvizsgálatot elsősorban a bevonatolt anyagi rendszerek jellemzésére használjuk, például az adhéziós kötőerő, a csúszó súrlódás vagy a felületi kopás vizsgálatára. A karcnyomok megjelenési formáját számos külső és belső tényező befolyásolja [2].Az egyik fontos befolyásoló tényező a felületi rétegekben gyártáskor kialakuló maradó feszültségi állapot, így a módszer alkalmazásával ennek hatásáról is információt nyerhetünk [3].

Első lépésként különböző maradó feszültségi állapotú üvegfelületeken azonos körülmények között készített karcnyomokat hasonlítottunk össze. Az 1. ábra jelentős különbséget mutat a kétféle állapotú, azaz a közel feszültségmentes ($\sigma \sim 0$) és a nyomó ($\sigma < 0$) maradó feszültséget tartalmazó próbatestek között.



1. ábra. *Karcnyomok különböző minőségű és állapotú (balra átlátszó, jobbra átlátszatlan, ill. felül feszültségmentes, alul nyomó maradó feszültséges) üvegfelületeken*

A karcnyomok közti különbségek a számítógépes képelemzés módszerével számszerűen jellemezhetők [4]. A maradó feszültségek hatását először a károsodott területek nagyságával jellemeztük, a károsodott és az ép területek árnyalat különbségét hasznosító, vagyis intenzitás alapú szegmentálásra (IAS) épülő képelemzéssel [5]. Egy következő lépcsőben a képelemzés számítógépes kiértékelő módszerét továbbfejlesztve újabb károsodási paramétereket definiáltunk és határoztunk meg, továbbá a károsodott terület kiszámítására újabb módszert fejlesztettünk ki a karcnyomok kontúr görbéjének (KKG) meghatározásával [6]. A cikk a kétféle kiértékelő módszer alkalmazásának tapasztalatait és az eddig elért eredményeket összegzi röviden.

3. Kísérleti munka

3.1. Vizsgálati anyagok és körülmények

I. módszer: Intenzitás alapú szegmentálás (IAS)

Próbatestek: 12 mm átmérőjű, 50 mm hosszú és 1 mm-es falvastagságú, kis alkáli tartalmú, átlátszó csövek, 3-3 db feszültségmentes és a felületi rétegében nyomó maradó feszültséget tartalmazó minta, illetve nagyobb alkáli tartalmú, 30×40×3mm méretű, átlátszatlan síklapok, 1-1 db, hasonló feszültségállapotban. Felületminőség: csöveknél gyártás szerinti, lapoknál polírozott. Vizsgálati feltételek: terhelés: F=40 N, előtolási sebesség v_a=5 mm/min, karchosszúság: l = 5 mm. Mérések száma: mintánként 6 db karc.

II. módszer: Karc-kontúr görbe meghatározása (KKG)

Próbatestek: 12 mm átmérőjű, 80 mm hosszú és 1 mm-es falvastagságú, átlátszó, un. „lágy" üvegcsövek. Felületminőség: gyártás szerinti. Vizsgálati feltételek: terhelés: F=40 N, előtolási sebesség v_a=5 mm/min, karchosszúság: l = 6 mm.

A vizsgálati mintacsoportokat (lásd 1. táblázat) a feszültségállapot helyett a különféle gyártási sorozatú (eltérő anyag-összetételű, gyártási állapotú, mintavételi helyű) üvegek adják, ugyanis a feszültségek típusa nem minden próbatestnél volt ismert, nagyságáról pedig egyáltalán nem volt információnk.

1. táblázat *A KKG kísérletsorozat vizsgálati körülményei és eredményei*

Csoport	Anyag	Gyártási állapot	Feszültség állapot	Vizsgált db	Karcok száma
G1	M1	gyári végtermék	nyomó maradó	5	26
G2	M1	gyári végtermék	nyomó maradó	4	22
G3	M1	temperált	feszültségmentes	4	24
G4	M1	félkész termék	ismeretlen	5	28
G5	M1	temperált	feszültségmentes	5	26
G6	M2	temperált	feszültségmente	5	29
G7	M2	ismeretlen	ismeretlen	5	30

3.2. A vizsgálati módszerek sajátosságai, eredmények

Az IAS módszer

Az 1. ábrán látható karcnyomok területét, azaz a károsodás mértékét a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Intézetében kifejlesztett CPROB nevű számítógépes képelemző program [4] segítségével határoztuk meg. Az alkalmazott módszer lépései a következők voltak: a karcnyomok nagyfelbontású optikai mikroszkópi képének un. „szürkeskálás képpé alakítása", a károsodott és ép területek elkülönítése, szegmentálása a világosságkód alapján, a karcnyom szélességének (w_x) karchosszúság menti eloszlásának mérése (képkockánként), majd végül a karcolás

okozta sérülés mértékének jellemzése az alábbiak szerint definiált W károsodási paraméterrel:

$$W = \frac{1}{L}\int_0^l w_x dx \,. \tag{1}$$

A kiértékelés menetének részletes ismertetését korábbi munkáink [1, 5] tartalmazzák. A vizsgálatból levonható következtetések az alábbiak:

- A W károsodási paraméter alkalmas a károsodott karcterület számszerű jellemzésére, de a különböző feszültségállapotú csoportok közötti megbízható differenciálásra a mérések rendkívül nagy szórása miatt az adott vizsgálati metódus nem megfelelő. A variancia együtthatók magas értéke a módszer bizonytalanságán, és a vizsgált anyagok inhomogenitásán kívül, elsősorban a próba előkészítés – pl. hűtési sebesség szabályozása – problémáinak tulajdonítható.
- A 2. táblázat eredményei ugyanakkor a különböző maradó feszültségi állapotú minták esetén a W károsodási paraméter egyértelműen érzékelhető különbségére utalnak, miszerint a nyomó maradó feszültségek – összhangban 1. ábrával – csökkentik a karcolással szembeni érzékenységet.
- Az eljárás alkalmas átlátszatlan, továbbá hengeres minták elemzésére is.

2. táblázat. *A karcvizsgálatok IAS módszerrel feldolgozott eredményei*

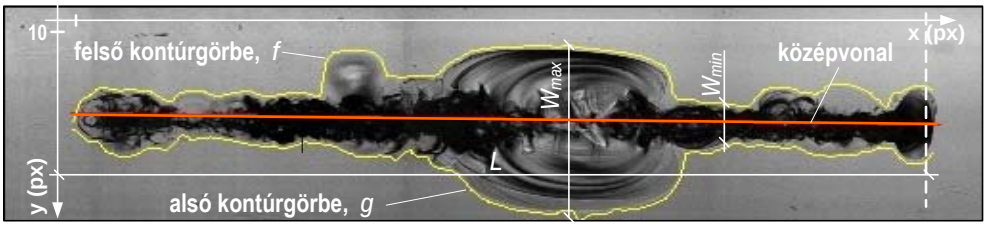
Üveg-minőség	**Minta geometria**	**Feszültség-állapot**	**$W_{átl.}$, pixel/mm**	$\frac{W_{átl,mentes}}{W_{átl,nyomó}}$	**Szórás**	**Var. e.h., %**
Átlátszó, kis alkáli tartalmú	cső	nyomó	47,34	4,05	31,43	66
		mentes	191,84		25,65	13
Nem átlátszó, nagy alkáli tart.	síklap	nyomó	273,92	1,49	146,16	53
		mentes	408,71		70,06	17

A továbbiakban statisztikai minták értékelésével kerestük a választ arra, hogy az 1. táblázatban megadott mintacsoportok osztályozhatók-e az eltérő feszültségállapot szerint a karcnyomok mikroszkópi felvételein kiértékelhető bármely paraméter alapján? Ha igen, akkor mely paraméterek a legalkalmasabbak a szétválasztásra?

A KKG módszer

A második eljárás újdonságát és jobb megbízhatóságát az alábbi négy elem adja:

(1) A Debreceni Egyetem Informatikai Kara által újonnan kifejlesztett képfeldolgozási algoritmus segítségével a károsodott és ép területek szétválasztását újszerű elven, a karcnyom kontúrjának (2. ábra) megkeresésével, nagyobb pontossággal végezhetjük [6, 7]. A módszer elvét és informatikai megoldásának részleteit a [8 és 9] munkák közlik.



2. ábra. *A karcnyom a KKG módszerrel meghatározott kontúrgörbével*

(2) A képfeldolgozás bizonytalansága a zajszűrés tökéletesítésével, és a karckép sajátosságait figyelembe vevő egyedi algoritmusokkal jelentősen csökkent.

(3) A korábbi W károsodási paramétertől eltérő újabb paramétereket is definiáltunk (lásd 3. táblázat). Ezek egy része a károsodás mértékével arányos, ilyen pl. a karcnyom hosszegységre vonatkoztatott fajlagos területe *(T/L),* vagy a karc legnagyobb és legkisebb szélessége (W_{max}, ill. W_{min}). A paraméterek másik része az eltérő anyagminőségekre érzékeny, ilyen pl. a kitörések kagylószerű jellegére utaló R_{max} és R_{min} görbületek, vagy a kontúrgörbe „csipkézettségi" mutatója (Δy_a).

3. táblázat. *A KKG módszerrel meghatározott károsodási és statisztikai mutatók*

No	Információ	Jelölés	Értelmezés
1.	A károsodás mértéke, (az anyag belső feszültségállapota)	T	A karcnyom (kontúrgörbén belüli) területe
2.		L	A karcgörbe középvonalának hossza
3.		T/L	A karcnyom hosszegységre eső, fajlagos területe
4.		W_{min}	A karcnyom legkisebb szélessége
5.		W_{max}	A karcnyom legnagyobb szélessége
6.		R_{min}	A kontúrgörbe belső érintőköreinek legkisebb sugara
7.		R_{max}	A kontúrgörbe belső érintőköreinek legnagyobb sugara
8.	A karc morfológiája, (anyagminőség, károsodási mód)	P_f	A felső kontúrgörbe, *f(x)* lokális csúcsainak száma
9.		P_g	Az alsó kontúrgörbe *g(x)*lokális csúcsainak száma
10.		Δy_a	Csipkézettség: $\frac{1}{n}\sum_{x=1}^{n-1}\left(\lvert f(x)-f(x-1)\rvert+\lvert g(x)-g(x-1)\rvert\right)$
11.		Δy_m	$\Delta y_m = max\left[\begin{matrix}\max\limits_{0<x<n-1}\left(\lvert f(x-1)-f(x)\rvert+\lvert f(x)-f(x+1)\rvert\right),\\ \max\limits_{0<x<n-1}\left(\lvert g(x-1)-g(x)\rvert+\lvert g(x)-g(x+1)\rvert\right)\end{matrix}\right]$
12.		max_x	Két lokális W_{max} közötti legnagyobb x irányú távolság
13.	Statisztikai jellemzők (pontosság, megbízhatóság)	H_f	A felső kontúrgörbe érintőköreinek közelítési hibája
14.		H_a	Az alsó kontúrgörbe érintőköreinek közelítési hibája
15.		H/T	$H/T = 1/T(H_a + H_f)$
16.		H/L	$H/L = 1/L(H_a + H_f)$
17.		H_3	A karcnyom és a közelítő fedőkörök területkülönbsége

(4) A több minta átlagának egyidejű összehasonlítására egy-szempontú varianciaanalízist, ANOVA elemzést végeztünk [8], amely a független mintás t-próba általánosítása. A statisztikai elemzések eredményei az alábbiakban összegezhetők:

- Az egyes (G1-G7) csoportokra nézve 95%-os megbízhatósági, azaz $\alpha = 0{,}05$ szignifikancia szinten a *T, T/L,* W_{max} *és* Δy_a mennyiségek függetlenek, tehát alkalmasak az osztályozhatóság statisztikai elemzésére.
- Ezen paramétereknél találhatók az 1. táblázat csoportjaiból képzett olyan homogén halmazok (ld. 4. 5. és 6. táblázatok) amelyek középértékei szignifikánsan eltérnek, tehát valamely szempontból megkülönböztethetők.

4. táblázat. *Homogén halmazok a T paraméter szerint, (α = 0,05)*

Csop.	Fesz. állapot	Anyag	Halmaz			
			1	2	3	4
G7	ismeretlen	M2	14104,53			
G2	nyomó	M1	14339,27			
G1	nyomó	M1	15430,19	15430,19		
G4	ismeretlen	M1	15445,36	15445,36		
G3	fesz. mentes	M1		16082,21		
G5	fesz. mentes	M1			17952,04	
G6	fesz. mentes	M2				19685,83
Duncan Significancia			0,065	0,357	1,000	1,000

5. táblázat. *Homogén halmazok a* W_{max} *paraméter szerint, (α = 0,05)*

Csop.	Fesz. állapot	Anyag	Halmaz		
			1	2	3
G2	nyomó	M1	53,14		
G7	ismeretlen	M2	53,83	53,83	
G4	ismeretlen	M1	59,79	59,79	
G1	nyomó	M1	60,27	60,27	
G3	fesz. mentes	M1	60,46	60,46	
G5	fesz. mentes	M1		61,12	
G6	fesz. mentes	M2			67,90
Duncan Significancia			0,055	0,056	1,000

6. táblázat*. Homogén halmazok a* Δy_a *paraméter szerint, (α = 0,05)*

Csop	Fesz. állapot	Anyag	Halmaz				
			1	2	3	4	5
G4	ismeretlen	M1	1,2689				
G3	fesz. mentes	M1	1,2829	1,2829			
G2	nyomó	M1		1,3468	1,3468		
G7	ismeretlen	M2			1,3810	1,3810	
G1	nyomó	M1			1,3885	1,3885	
G5	fesz. mentes	M1				1,4531	
G6	fesz. mentes	M2					1,5883
Duncan Significancia			0,706	0,086	0,293	0,067	1,000

A T, W_{max} és Δy_a szerint elkülöníthető homogén halmazokat összevetve az üvegek feszültségi állapotával és anyagminőségével az alábbi megállapítások tehetők:

- A várakozásoknak megfelelően a T paraméter a legmegfelelőbb arra, hogy a mintákat a maradó feszültségek nagysága szerint osztályozzuk. A 4. táblázatban egyértelműen elkülönülnek a nyomófeszültséges és feszültségmentes minták halmazai, mivel az 1 és 2 halmazok átfedése nem nevezhető számottevőnek.
- A vizsgálati csoportok W_{max} paraméter szerinti halmazokba sorolása hasonló módon elkülöníti a különböző feszültségtípusokat, de a mindössze három halmaz nem képes kellően differenciálni a két állapot között az 1 és 2 halmazok nagy átfedése miatt.
- A Δy_a paraméternél nem válnak szét a különböző maradó feszültségű csoportok. Ez összhangban van azzal, hogy a „csipkézettség" nem a károsodás mértékét tükrözi, hanem inkább az üvegek típusától függő károsodási morfológiára utal elsősorban.

4. Összefoglalás

Üvegfelületek maradó feszültségeinek jellemzésére kidolgoztunk egy olyan mérési és kiértékelő eljárást, amelynek elvi alapja, hogy a karcvizsgálat során létrejövő károsodás mértéke függ a maradó feszültségek típusától és nagyságától. A károsodás mértékének, illetve a karc morfológiájának jellemzésére különféle paramétereket definiáltunk és határoztunk meg sikeresen.

Mérési eredmények statisztika értékelésével igazoltuk, hogy a T károsodott terület nagysága a legalkalmasabb arra, hogy csoportosítsuk az üvegtermékeket a maradó feszültség típusa, és szintje szerint is. A Δy_a csipkézettségi mutató segítségével pedig az eltérő viselkedésű – karcmorfológiájú – anyagok között is különbséget tudunk tenni.

A módszer a fenti feladatokra elméletileg kidolgozott. A technikai eszközök és a továbbfejlesztett KKG kiértékelő program alkalmas a különféle minőségű, geometriájú, átlátszó és átlátszatlan üvegtermékek ipari körülmények között is megvalósítható vizsgálatára. Ennek feltétele az eljárás megismétlése és validálása ismert típusú és nagyságú maradó feszültséget tartalmazó üvegtermékek sorozatmérésével. A karcnyomok fényképezésének automatizálásával az eljárás megbízhatósága és gyorsasága tovább növelhető.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország fejlesztési terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

6. Irodalomjegyzék

[1] J. Kállay, B.M. Maros, P. Barkóczy, N. Kaulics: *Üvegek gyártási maradó feszültségének vizsgálata*, in Proc. of microCAD`2006 Int. Comp. Sci. Conf./Mat. Proc. Techn/, Miskolc, Hungary, pp. 61-68.

[2} Steinmann, P.A., Tardy, Y., Hintermann W.E.: *Adhesion testing by the Scratch Test Method: the Influence of Intrinsic and Extrinsic Parameters on the Critical Load.* Thin Solid Films, 154 (1987) p. 333-349

[3] Marosné Berkes M., Kocsisné Baán, M.: *Nemfémes anyagok vizsgálatának egyes kérdései*, Anyagok Világa, ISSN: 1586-0140, III. évf. 1. szám 2002. szept. p. 23. http://www.materialworld.uni-miskolc.hu

[4] Gácsi Z. (szerk.): *Sztereológia és képelemzés*, Well-Press Kiadó, Miskolc (2001)

[5] Maros, B. M., Kállay, J., Barkóczy P.: *Izzólámpák üvegalkatrészeinek karcvizsgálatának kiértékelése számítógépi képelemzéssel*, in Proc of. 6th Conference of Hungarian Association for Image Processing and Pattern Recognition, Jan. 25-27, 2007, Debrecen, Hungary, pp. 79-85.

[6] Szeghalmy Sz., Barkóczy P., Maros, B. M. Fazekas, A. Póliska Cs.: *A new technique for characterization of residual stresses in glass surfaces: scratch test completed with image analysis,* Materials Science Forum, Vol. 589, (2008), pp. 275-280

[7] Maros, B. M., Fazekas A., Barkóczy, P. Szeghalmy, Sz., Koncsik, Zs.: *Qualifying glass surfaces by scratch test with integrated image processing*, Proc. of Fracture of Advanced Ceramics, 2008, Stara Lesna, Sept. 7-10, Slovakia, Key Engineering MaterialsVol. 413. online at http://www.scientific.net, Trans Tech Publications, Switzerland, 2009. pp. 267-274.

[8] Szeghalmy, Sz.: *Automatikus üvegvizsgálat*, TDK, dolgozat, (Témavezető: Fazekas, A.) DE, Informatikai Kar, 2008, november, p. 26.

[9] Szeghalmy, Sz., Koncsik, Zs., Maros, B. M., Fazekas, A., Barkóczy, P.: *Üvegfelületek elemzése képelemző módszerrel kiegészített karcvizsgálattal,* KÉPAF 2009. Jan. 28-30. Budapest, Konf. Kiadvány CD-n, p. 9.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 229-234.

FOTOELEKTROMOS ENERGIATERMELŐ RENDSZER ÜZEMELTETÉSÉNEK TAPASZTALATAI

Hagymássy Zoltán[1], Gindert-Kele Ágnes[2]
[1]*egyetemi docens, e-mail: hagymassy@agr.unideb.hu*
[2] *egyetemi adjunktus, e-mail: battane@agr.unideb.hu*
Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Agrár-műszaki Tanszék
4032 Debrecen Böszörményi út 138.

Összefoglalás

A Debreceni Egyetem Agrár-műszaki Tanszékén megépítésre került egy 8,64 kW teljesítményű, 110 m^2 hasznos felülettel rendelkező foto-villamoserőmű. Az erőműhez kacsolódik egy meteorológiai állomás, amely egy PT 100 típusú kombinált hőmérséklet- és légnedvesség mérőből, CM 11 pyranométerből, kanalas szélsebesség- és szélirányмérő berendezésből áll. A mért üzemi és meteorológiai adatok rögzítését, tárolását az SMA által gyártott Sunny Boy Control végzi. A foto villamos erőműbe 3 különböző fajta napelem lett beépítve. Siemens ST 40w monokristályos technológiával gyártott, Kyocera KC 40w polikristályos és Dunasolar DS 40w amorf technológiájú. A panelek által termelt egyenáramot napelem típusonként 3db Sunny boy SB 2500 típusú inverter alakítja át váltóárammá, amely helyben van hasznosítva.

Kulcsszavak: *napenergia, foto elektromos (PV) napelem*

Abstract

A photo-electric power plant was built in University of Debrecen, Department of Agricultural Machinery. The total installed capacity of solar panels is P= 8,64 Kw, and the total surface of solar panels are A=110 m^2. The power plant connected to a weather station, which contents a PT 100 type temperature and humidity combined measuring instrument, a CM 11 pyranometer, and a wind speed measuring instrument. The measured operating and meteorological dates are collected by Sunny Boy Control, produced by the SMA. The tested types of solar panels: Siemens ST 40W (72 pc) mono crystalline type, Kyocera KC 120 W (24 pc) polycrystalline type, Dunasolar DS 40W (24 pc) amorphous type. The produced direct electrical current (DC) are altered to alternate current (AC) by 3 piece Sunny boy SB 2500 inverters, the electrical energy is utilised at the local area.

Keywords: *solar energy, photovoltaic (PV) panel*

1. Bevezetés

1.1 Előzmények, a kutatási téma aktualitása

Az Észak Alföld, közelebbről Debrecen térségében. Magyarországon a napsütéses órák száma: 1900-2200 óra/év, a sugárzás átlagos intenzitása. Kb. 1200 KWh/m^2. A fosszilis energiahordozók (kőolaj, földgáz) árának eddig nem tapasztalt emelkedése mindenképpen indokolja a napenergia mezőgazdasági hasznosításának az eddigieknél sokkal kiterjedtebb alkalmazását.

1.2 A fotovillamos elven működő napelemek

A napelemek, vagy foto villamos elemek félvezető anyagból készülnek. A félvezető anyag többféle lehet, de a leggyakrabban a szilíciumot alkalmazzák. A félvezető anyag tulajdonságai kedvezőek ahhoz, hogy a napsugárzással érkező fotonok elektronokat szabadítsanak fel [4].

A napelemek alapvető felépítése a félvezető elemekhez hasonló. A működés alapja a p-n átmenet. A szokásos diffúziós félvezető technológiai műveletekkel p típusú (pozitív töltésű többségi töltéshordozókat, lyukakat tartalmazó) és n típusú (negatív töltésű többségi töltéshordozókat, elektronokat tartalmazó) réteget alakítanak ki a tiszta félvezető anyag szennyezésével.

A sorozatban gyártott napelemek általában szilícium alapúak, léteznek monokristályos, polikristályos és amorf technológiával gyártott panelek.

1. A monokristályos napelemek egy kristálytömbből készülnek. Az egykristályos szilíciumból készült napelemek rendszerint hosszú élettartalmúak, jó hatásfokkal rendelkeznek. Jelenleg 150 mm-es egykristályok elterjedtek ipari méretekben. Hatásfokuk a 15-17%-ot is elérheti.
2. A polikristályos napelemeket speciális, irányított lehűlési gradiens öntési eljárással nyerhető tisztított szilíciumból. A technológia 500 mm nagyságú kristályok gyártását is lehetővé teszi. Az elemek gyakorlatban mért hatásfoka 13-15 %.
3. Az amorf szilíciumból készült napelemek előállítása vékonyréteg technológiával történik. A gyártási technológia az anyagtakarékosság miatt olcsóbb, a hatásfokuk viszont csak 4-6 % [4].

A napelemek számos előnye mellett megemlíthető, hogy beruházási költségük igen magas és az energiatermelés és az energiaszükséglet általában eltérő időben jelentkezik.

2. Anyag és módszer

2.1 A vizsgálatok feltételei a Debreceni Egyetemen

A Debreceni Egyetem Agrár-műszaki Tanszékén megépítésre került egy 8,64 kW teljesítményű, 110 m^2 hasznos felülettel rendelkező foto villamos erőmű. Az erőműhez kacsolódik egy meteorológiai állomás, amely egy PT 100 típusú kombinált hőmérséklet- és légnedvesség mérőből, CM 11 pyranométerből, kanalas szélsebesség- és szélirányмérő berendezésből áll. A mért üzemi és meteorológiai adatok rögzítését, tárolását az SMA által gyártott Sunny Boy Control végzi. Az adatrögzítő nyolc analóg és nyolc digitális bemenettel valamint nyolc digitális kimenettel rendelkezik. A nyolc analóg bemenetből egyet a léghőmérséklet mérésére egyet a modulhőmérséklet mérésére használunk. Az MS Excel táblázatban 15 percenként rögzítésre kerülnek üzemi és meteorológiai jellemzők. Egy napon ez átlagosan 150 – 160 mért adatot jelent [1] [3].

1. ábra. *A napelemek elhelyezése a tetőszerkezeten Kyocera KC 120 w, Siemens ST 40w, Dunasolar DS 40w*

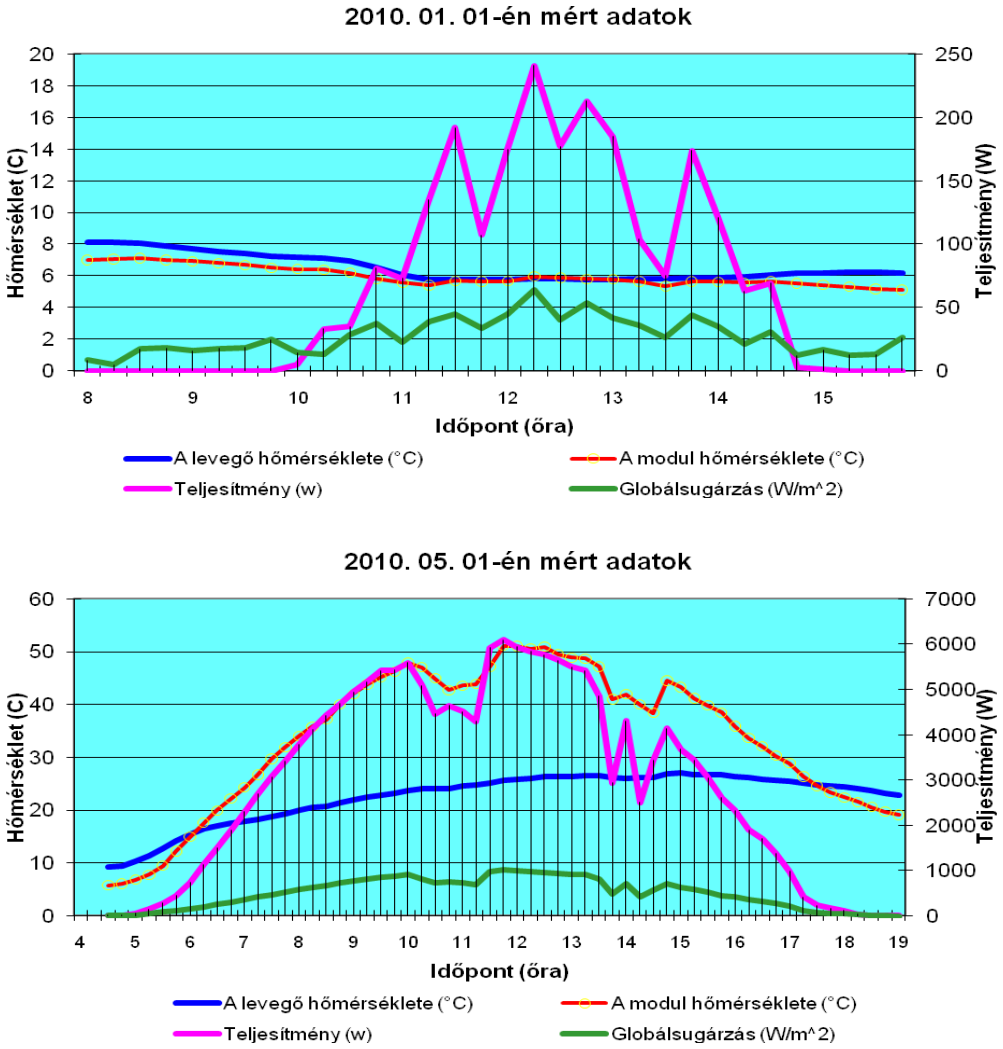
2.2 A vizsgált napelemek típusai

A vizsgált napelem paneleket úgy válogattuk össze, hogy mindhárom szilícium alapú technológiával gyártott csoportot képviseljenek. A 72 db Siemens ST 40w panel monokristályos technológiával készült, a 24 db Kyocera KC 120w panel polikristályos technológiával lett legyártva, míg a 72 db Dunasolar DS 40w panel amorf technológia alkalmazásával készült (1. ábra).

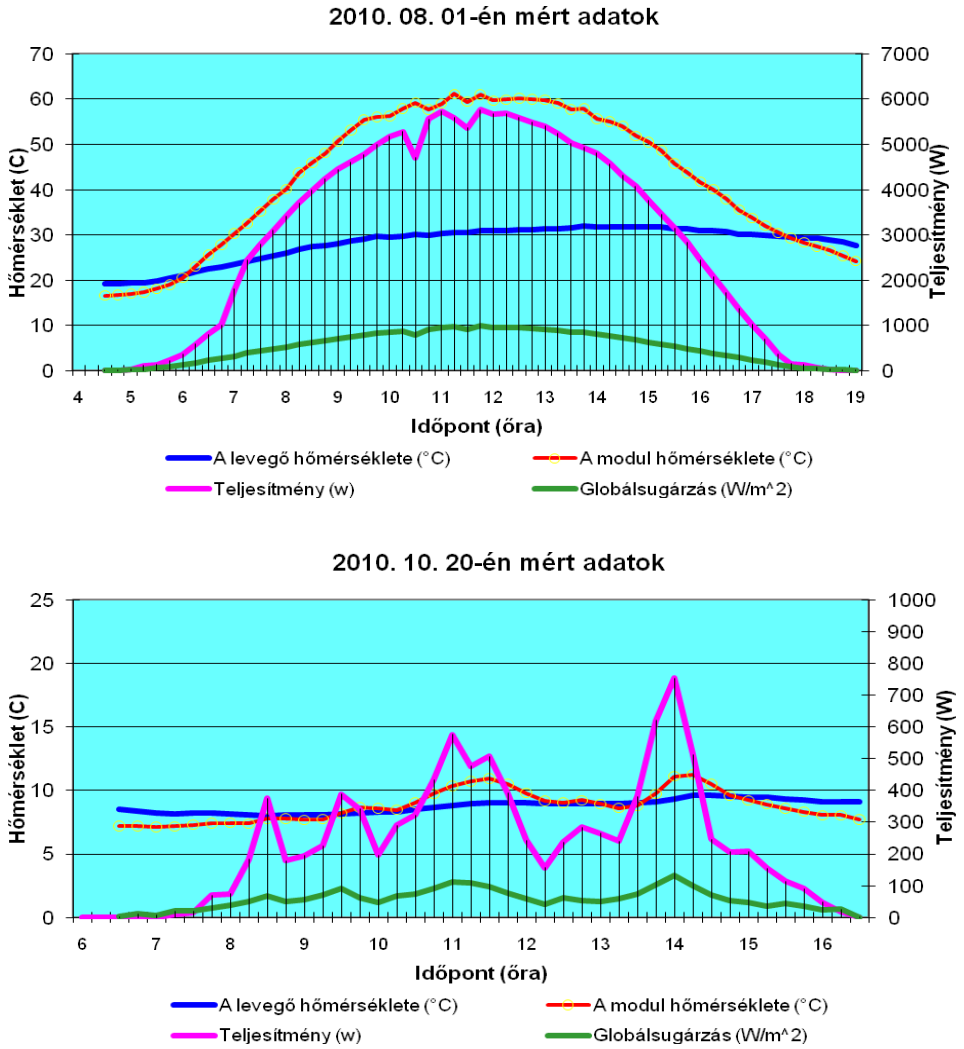
3. Eredmények és értékelésük

3.1. A beépített modulok hőmérséklete és teljesítménye a globálsugárzás függvényében évszakonként

Debrecen térségére jellemző téli, tavaszi, nyári, őszi napokon a besugárzási, hőmérsékleti és teljesítmény adatok egy-egy jellemző napon a 2-3. ábrán láthatók.



2. ábra. *Téli és tavaszi nap besugárzási és hőmérsékleti jellemzői*



3. ábra. *Nyári és őszi nap besugárzási és hőmérsékleti jellemzői*

Megállapítható, hogy a globálsugárzás, a pillanatnyi teljesítmény és a termelt villamos energia között szoros az összefüggés.

1.2 A beépített elemek üzemeltetésének tapasztalatai

Méréseink szerint a fotovillamos erőmű évente átlagosan 5000 - 6000 kWh elektromos energiát termelt, amelyet visszatápláltunk a hálózatba. A téli hónapokban a termelt energia mennyisége átlagosan 200-300 kWh, míg nyári hónapokban 600-

720 kWh. Tavasszal és ősszel a termelt villamos energia mennyisége 250-500 kWh értékek között mozgott havonta [2].

Az üzemeltetés tapasztalatai [3]: Az üzembe helyezés után az első meghibásodás a Siemens és a Kyocera modulokhoz tartozó áramátalakítókban jelentkezett, melyet vizsgálataink szerint, a hálózatból az inverterbe jutott túlfeszültség okozott. Ennek elkerülésére, beépítésre került egy túlfeszültség védő.

- **Kyocera KC 120 w:** Jó sugárzás elnyelő képesség, esztétikus
- **Siemens ST 40w:** Könnyű szerelhetőség, kis tömeg jellemzi. Környezeti hatásoknak jól ellenáll.
- **Dunasolar DS 40w:** Sérülékeny, bonyolult szerelhetőség 2 elem megrepedt (gyártási hiba nem szerelési). Teljesítménye elmaradt a megadottól [2].

A fotovillamos energiatermelés szóba jöhető területei a mezőgazdaságban: a villamos hálózattól távolfekvő helyek (juhhodályok áramellátása, csemetekert öntözése, mikro szórófejes öntözőszivattyú hajtása, mérőállomások áramellátása.

4. Összefoglalás

Vizsgáltuk a térségre jellemző besugárzási adatok függvényében mért fizikai jellemzőket. Több éves mérési eredmények alapján megállapítottuk az átlagosan termelt villamos energia mennyiségét és eloszlását. Szoros összefüggést találtunk a globálsugárzás és a pillanatnyi teljesítmény között. Tájékoztatást adunk a napelemes energiatermelő rendszerek kialakításának, üzemeltetésének tapasztalatairól. Méréseink hasznosíthatóak az oktatásban, a kutatásban a megújuló energiaformák terjesztésében, népszerűsítésében

5. Irodalomjegyzék

[1] Hagymássy Z., Foto-villamos erőmű megvalósítása a Debreceni Egyetem Műszaki Tanszékén. XII. Országos energiatakarékossági konferencia Sopron-Wels (Ausztria). 2007.

[2] Hagymássy Zoltán - Gindert-Kele Ágnes. 2010. Energiatermelő napelemek összehasonlító vizsgálata MTA DAB Műszaki tudomány az Észak Alföldi Régióban. 2010. 101-105.

[3] Hagymássy Zoltán, Fórián Sándor, 2009. Fotovillamos energiatermelő panelek üzemeltetésének tapasztalatai. Debreceni Műszaki Közlemények 2009/1. 83-88.

[4] Pálfy M., Fotovillamos rendszerek. Napenergia a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. Szerk. Farkas I. 2003

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 235-242.

VASBETONSZERKEZETEK DIAGNOSZTIKÁJA

Boda István
BsC hallgató
Debreceni Egyetem, Műszaki kar, Építőmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
stani89@freemail.hu

Pankhardt Kinga
főiskolai docens
Debreceni Egyetem, Műszaki kar, Építőmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
kpankhardt@yahoo.com

Kovács József
műszaki oktató
Debreceni Egyetem, Műszaki kar, Építőmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
j.kovacss@gmail.com

Almássy Piroska
szakértő
almassy.piroska@technowato.hu

Összefoglalás

Építész hallgatóként fontosnak tartom a meglévő műtárgyak, épületek állapotvizsgálatát. Hiszen a meglévő építmények felújítása építészmérnökként feladatunk lehet. A dolgozatomban a Debreceni Vízmű Rt. szennyvíztelepének DORRII előülepítő medence hengerfalának állapotvizsgálatát végeztem el. Az Eurocode2 és MSZ szabványok követelményei szerint az egykor tervezett betonminőség ma már nem is használható szerkezeti betonokhoz továbbá a terveken előírt betonfedés sem védte meg a betonacélokat a korróziótól.

Kulcsszavak: *korrózió, állapotvizsgálat, betonminőség*

Abstract

As an architect engineer student, I think it is important to reconsider the state of the buildings and engineering works during their lifetime. It can be the architect's role to contribute to the renovation of an existing building. During my study I investigated sewage farm of Debrecen, operated by Debrecen's Waterwork Company, where I investigated the wall of DORRII settling pan. Based on my studies and in situ tests the following conclusions can be drawn: the concrete planned earlier and inspected again with the use of the Eurocode2 and the MSZ standard must not be used nowadays as a structural concrete and furthermore the concrete structure is no more protected against corrosion.

Keywords: *corrosion, reconsider the state, concrete quality*

1. Bevezetés

A fokozottan agresszív környezeti hatásoknak kitett épületek, műtárgyak esetén a korrózió veszély nagyobb. A vasbetonszerkezetekhez felhasznált beton, ezen belül elsősorban a cementkövet, korróziós folyamatok rombolják, az idő az idő előrehaladásával egyre erősödő degradációt idézve elő. A 30-40 éve nem voltak szigorú tervezési szabályozások illetve a használt anyagminőségek sem összemérhetők a manapság használtakkal. Az 1980-ban hatályba lépő MSZ 4719 [1], MSZ 4720 [2] alapján alkalmazott betonminőségek az EUROCODE2 szerint legtöbbször besorolhatatlanok szerkezeti betonként.

2. Vasbetonszerkezetek vizsgálatának tényezői

Vasbetonszerkezetek állapotvizsgálatakor tisztában kell lennünk az adott szerkezet minőségével, a rá ható környezeti feltételekkel, vizsgálati lehetőségeinkkel illetve a hozzáférhető műszaki adattokkal. Ismernünk kell a jelenlegi és a szerkezet tervezésekor életben lévő szabályozásokat. Mindezek tudatában tudunk teljes értékű megállapításokat tenni egy-egy műtárgy állapotáról.

2.1 Beton tartóssága

A beton pórusossága nagymértékben összefügg a beton tartósságával. A pórusokban a víz telítődhet, megfagyhat, ami a beton károsodásához vezet, illetve nagyobb pórustartalom esetén kisebb szilárdságot érhetünk el. Megkülönböztetünk gélpórusokat – cementgélben lévő, kapillárispórusokat – keverővíz eltávozása által alakulnak ki, illetve légpórusokat – beton szövetszerkezeti hiányosságok. [1]

A cementkő pórusszerkezete a víz-cement tényezőtől, utókezelés mértékétől, valamint a cementfajtától függ. Ez együtt a cementkő permeabilitásával fejezhető ki.

A karbonátosodás mélysége nagymértékben függ a ***víz-cement tényezőtől,*** ami a porozitást juttatja kifejezésre. Nischer [3] kísérletei szerint a karbonátosodás mélysége egyébként azonos feltételekkel - 0,5 víz-cement tényező esetén kb. fele, 0,4 víz-cement tényező esetén kb. negyede a 0,7 víz-cement tényezővel kapott átlagértéknek.

A beton időbeni stabilitását nagyrészt annak köszönheti, hogy a cement szilárdulása során keletkező $Ca(OH)_2$ (mész) 12 - 14 pH-jú lúgos környezetet hoz létre. Korrózió azáltal is végbemehet, hogy az egyes tényezők hatására ez a betonlúgosság 9pH érték alá csökken.[4], [5]

2.2 Betonacél korróziójának feltételei

Az acélbetét korróziójának két feltétele van: (1) korrózióra hajlamos anyag, (2) megfelelő környezet.

A betonacél tisztán mechanikai követelményeknek megfelelő tömegacél, hiányzik belőle a metallurgikus tisztaság, valamint hiányoznak belőle az acélt elektrokémiailag nemesebbé tevő ötvözök is. A *betonacél* tehát *hajlamos a korrózióra.*

Három környezeti feltételnek kell teljesülnie, hogy a korrózió létrejöjjön:

a) Alapvető feltétel, hogy *a* **beton elveszítse erős bázikus védőhatását** a betonacél környezetében. Ez általában karbonátosodás által megy végbe. De bekövetkezhet hosszú idejű vízátszivárgás által is, amely kioldja a $Ca(OH)_2$-ot.

A cementkő karbonátosodása hatására a beton pH-ja körülbelül 12,6-ról 8-9-re csökken. Ha a karbonátosodás zónája elérte a vasalást, akkor az acél felületén a nagy pH miatt kialakult passzív réteg felbomlik és a beton nem nyújtja többé azt a korrózióvédelmet, amit tőle elvárunk.

b) A második környezeti feltétel a **beton elektromos vezetőképessége** (ill. kis elektromos ellenállása) A beton fajlagos elektromos ellenállása lényegében a beton víztartalmától és ionkoncentrációjától függ.

c) A harmadik környezeti feltétel az **oxigénnek az acélbetéthez jutása**, amely függ betonfedés vastagságától, tömörségétől és víztartalmától. Amíg betonfedés 20 mm-ről 50 mm-re nő, addig az oxigéndiffúzió kb. egytizedére csökken.

Összefoglalva a 3 feltételt:

- CO_2 megszünteti az acél passzivitását karbonátosodás által;
- vízben oldott ionok, így általában a víz, a betont elektromosan vezetőképessé teszik és részt vesznek a rozsdaképződésben;
- oxigéndiffúzió szükséges az acél korróziójához, a rozsdaképződéshez.

A depasszíválás tehát csak alapfeltétele a korróziónak, de a folyamat csak a víz és az oxigén odajutásával indul meg.

Legnagyobb a korrózió veszélye, ha száraz és nedves közeg váltakozva lép fel. Ekkor két környezeti feltétel váltakozik – kis elektromos ellenállás, oxigén acélbetéthez jutása.[6]

2.3 Diagnosztikai lehetőségek

Ahhoz, hogy a korrózió mértékét illetve annak szerkezetkárosító hatását felmérhessük, a szerkezeteket diagnosztikai vizsgálatoknak vetjük alá.

Legegyszerűbb és kézenfekvőbb eszköz a szemrevételezéses vizsgálat, leginkább a nagymértékű korrózió okozta látványos állapotromlásokat tudjuk megállapítani.

Pontos eredményeket kaphatunk például kémiai vizsgálatok során. Ebből meg tudjuk állapítani:

- a tervezett betonreceptúrától való eltérést

- a szennyezőanyagok mennyiségét illetve milyenségét (akár a környezeti osztályba sorolás megfelelőségét is tudjuk ellenőrizni)
- elektromos vezetőképesség helyszíni mérése Canin géppel
- pH érték megállapításával tudunk következtetni a karbonátosodás mértékére illetve átszivárgó anyagok kilúgozási intenzitására

Szilárdság megállapítására alkalmazhatunk roncsolásos (pl.: fúrt magminta) és roncsolásmentes (Schmidt – kalapács, ultrahang) vizsgálatokat.

Vizsgálataink során volt alkalmam alkalmazni a Schmidt – kalapácsos (1. ábra) roncsolásmentes szilárdságbecslő vizsgálatot végeztünk. Bár e mérési módszer eredményeit befolyásolja a vizsgált szerkezet kora (karbonátosodás mértéke), így csak durva becslésre használhatók az eredmények. Mivel roncsolásos (pl.: fúrt magminta vételére) vizsgálatra nem volt lehetőség, - működő műtárgy esetén – így biztonsággal becsültük meg a tájékoztató szilárdságtani értékeket [7], [8].

1. ábra. *N-típusú Schmidt – kalapács*

2. ábra. *Ferroscan*

3. Esettanulmány

Esettanulmányunkat a Debreceni Szennyvíztelep II. számú DORR medencéjén (3. ábra) végeztük el. Vizsgálatainkat az előülepítő medence terveinek és műszaki leírásának a felkutatásával kezdtük.

A műtárgy fontosabb műszaki adatai:

Falvastagság: 25 cm
Betontakarás: 22 mm
Betonminőség: B 200/150 – 24/KK
Felületképzés: vízzáró kiegyenlítő simítás

3. ábra. *DORRII-es előülepítő medence*

3.1. Vizsgálatok

Helyszíni vizsgálatainkat *szemrevételezéssel* kezdtük. Az előülepítő medence körbejárása során a következőket tapasztaltuk (4. ábra):

- porózus, fészkes betonrészek;
- levált betontakarást a medence konzolos járófelületének alsó részén illetve a hengerfal belső felületének felső 60-70 cm-én;
- mészkivirágzások, cseppkőképződések az oldalfalon illetve a konzol alsó felületén
- rozsdafoltok az oldalfalon.

4. ábra. Porózus *beton, levált betontakarás, mészkő*

Szilárdságbecslési vizsgálatunk eszköze az N-típusú *Schmidt – kalapács* volt (ld. 1. ábra). 6-6 mérési helyen olvastam le visszapattanási értékeket a hengerfal külső-, illetve a fal belső, felső betontakarás nélküli 60-70 cm-es részéről. Mérési helyenként 12 visszapattanási értéket jegyeztünk fel, ezekből a szélső értékeket elhagyva 10 adatot használtunk fel a kiértékeléshez.

A betonfelület mérhető 90%-án 30 betonacél felett olvastunk le a betontakarás nagyságát *Ferroscan-nel* (ld. 2. ábra).

Az előülepítő falának külső felületéről lehasított betondarabokon a Technowato cég végeztetett *laboratóriumi kémiai vizsgálatokat*, melyek eredményeit a rendelkezésemre bocsátotta.

A: világosszürke, nagy szilárdságú és tömörségű, melynek pH értéke 7,5

B: sötétebb szürke, kisebb szilárdságú (jól aprítható), erősen pórusos, melynek pH értéke 6,2.

3.2. Az eredmények kiértékelése

Szemrevételezéses vizsgálat értékeléseként elmondható:

- A porózus, fészkes beton a nem megfelelő bedolgozásra és kicsi permeabilitásra vezethető vissza.
- Rozsdafoltok illetve a levált betondarabok a nem kellően tömör és vízzárú betonra utalnak. A betonrészek leválása az acélbetét rozsdásodásának a következménye, mely során a rozsdásodó acél 6-8-szoros térfogat növekedésen megy keresztül.
- A betonfedés nélküli acélbetétek a rossz kivitelezésnek tudható be, például zsaluzási a pontatlanságnak
- A második és harmadik környezeti feltétel (a kis elektromos ellenállás, nedves közeg által és az oxigén betonacélhoz jutása) váltakozva van jelen. A porózus betonban a váltakozó nedvesség miatt nem is maradt betontakarás ezeken a szakaszokon.
- A mészfoltok, a mészkivirágzás és a cseppkövek a nem kellően tömör és vízzáró betonra, a hibás vagy hiányzó szigetelésre vezethető vissza.

A szilárdságbecslő vizsgálat értékelése során a hengerfal külső felületén mért átlagszilárdság 13,70 N/mm^2, a belső felület átlagszilárdsága 6,20 N/mm^2.

A betonacélok helyének és átmérőjének vizsgálat eredményeként elmondható, hogy a hengerfal vasalásának átmérője és elhelyezése a vasalási tervvel megegyeztek - Ø16/120. 30db mérésből 2 eredmény nem érte el az előírt 22 mm tervezett betontakarást.

A kémiai vizsgálat eredményeként elmondható, hogy mindkét betonminta teljesen karbonátosodott (vagy szulfátosodott), elfogyott a cement kötőanyagok lúgos kémhatását biztosító szabad mész $Ca(OH)_2$

3.3. Eurocode2 szerinti besorolás

Továbbiakban a mai követelmények szerint besoroltuk a műtárgyunkat Eurocode2 [9] alapján.

A szennyvíz ammónium tartalma 60 és 100 mg/l közötti, mely szerint XA3-as környezeti osztályba sorolható (1. és 2. táblázat).

1.táblázat *Kémiai korrózió környezeti osztály – Eurocode2 részlet*

6. Kémiai korrózió		
Jelölés	**A környezeti hatás leírása**	**Tájékoztató példák a környezeti osztályok előfordulására**
XA3	Nagymértékben agresszív kémiai környezet (külön táblázat szerint)	Természetes talajok és talajvíz

2.táblázat *Környezeti hatás besorolása – Eurocode2 alapján*

Kémiai jellemzők	**XA3**
SZENNYVÍZ	
NH_4^+ (mg/l)	>60 és ≥100

3.táblázat. *Nem tengervízből származó kloridok által okozott korrózió Eurocode2 részlet*

3. Nem a tengervízből származó kloridok által okozott korrózió		
Jelölés	**A környezeti hatás leírása**	**Tájékoztató példák a környezeti osztályok előfordulására**
XD3	Váltakozva nedves és száraz	Kloridot tartalmazó permetnek kitett hídelemek. Járdák és útburkolatok. Autóparkolók födémei.

Környezeti, kitéti osztályok meghatározása után összegeztük a betonszerkezetünk tervezési paramétereit az előírások alapján. Eszerint a minimális betonszilárdságnak C35/45-nek, a minimális cementtartalomnak 360 kg/m^3-nek, maximális víz-cement tényezőnek 45%-nak illetve a minimális betontakarásnak 45 mm-nek kell lennie Eurocode2 szerint. XA3 környezeti osztály minimális betontakarásáról az Eurocode2 nem rendelkezik, viszont a Magyar szabvány [9] 45mm-t ír elő.

Az építéskor használt betonminőség megfelel a későbbi 1982-es Magyar Szabvány szerinti C12/15-ös nyomószilárdsági osztálynak, ami az Eurocode2 által alkalmazott szerkezeti betonminőségek egyikének sem feleltethető meg.

4. Összefoglalás

Az Eurocode2 környezeti osztályainak besorolása alapján az előülepítőt XD3 (Nem a tengervízből származó kloridok által okozott korrózió – váltakozva nedves és száraz), XA3(Kémiai korrózió - Nagymértékben agresszív kémiai környezet) környezeti osztályokba lehet besorolni.

A környezeti osztályok ismeretében a betonminőséget is meghatároztuk ami C35/45.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy az eredetileg tervezett B200-as minőségű beton nem felel meg a mai Eurocode2 szerinti előírásoknak, mivel szerkezeti betonként már nem alkalmazható. Ebből következik, hogy az eredeti terveken szereplő betonminőség nem alkalmas a jelenlegi elvárások szerint.

Megállapíthatjuk, hogy az 1979-ben meghatározott 22mm betontakarás sem éri el a szerkezet környezeti osztálya szerint megkövetelt 45mm betontakarás felét sem.

5. Irodalomjegyzék

[1] MSZ 4719 Betonok, 1982, Ujhelyi

[2] MSZ 4720 A beton minőségének ellenőrzése. 1979, Ujhelyi

[3] Balázs György – Dr. Tóth Enikő: Beton- és vasbetonszerkezetek diagnosztikája I. 1997

[4] Nehme S. G. (2002): „A beton porozitásának hatása a tartósságra" V. nemzetközi vasbetonszerkezet javítási konferencia, Budapest 2002. szeptember 4-5, pp. 5-14.

[5] Nehme S. G. (2005), „A porozitás hatása a beton tulajdonságaira", *BETON XIII. évf. 10. szám pp.3-7.* http://www.betonujsag.hu/download/szamok/200510.pdf

[6] Balázs György – Erdélyi Attila – Kovács Károly: A betonacél korróziója károsító anyagok betonba hatolása nélkül. Építőanyag, 1991, 3, 82-87.

[7] Pankhardt Kinga: Diagnosztika és eszközei 1 c. előadás 2010

[8] Borján József: Roncsolásmentes betonvizsgálatok 1981

[9] MSZ EN 1990 Eurocode: A tartószerkezeti tervezés alapjai (2003. augusztus 1.-én közzétett angol nyelvű változatának 2004. év május 1.-én megjelent magyar nyelvű változata).

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 243-250.

DINAMIKUS TEHERREL TERHELT ACÉL GERENDA MEGERŐSÍTÉSE UTÓFESZÍTÉS ALKALMAZÁSÁVAL

Radnay László
Tanársegéd
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Építőmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
radnaylaszlo@gmail.com

Iványi Miklós
Professzor Emeritus
Pécsi Egyetem, Pollack Mihály Műszaki Kar, Szilárdságtan és Tartószerkezetek Tanszék
7624 Pécs, Boszorkány u. 2.
drivanyi@pmmk.pte.hu

Összefoglalás

Acélszerkezetek utófeszítésének hatásait vizsgálva megállapítható, hogy a nyomóerő bevezetése a lehajlás mérséklése és az igénybevételek átrendezése mellett csökkenti a szerkezet sajátkörfrekvenciáját. Harmonikus gerjesztő erővel terhelt gerendák esetében ez kisebb rezonanciatényezőt eredményez, abban az esetben, ha a gerjesztő erő körfrekvenciája nagyobb, mint a szerkezet sajátkörfrekvenciája. A rezonanciatényező csökkenésével csökken a szerkezet maximális elmozdulása, -sebessége és -gyorsulása, valamint a keletkező dinamikus teher. A rezgés sebességének korlátozására egészségügyi-, és technológiai okok miatt lehet szükség. A dinamikus erő csökkenése pedig a szerkezeti elem igénybevételeit csökkenti. Jelen cikkben egyszabadságfokú rendszeren vizsgáljuk meg a jelenséget.

Kulcsszavak: *feszített acélszerkezet, rezonanciatényező, dinamikus teher*

Abstract

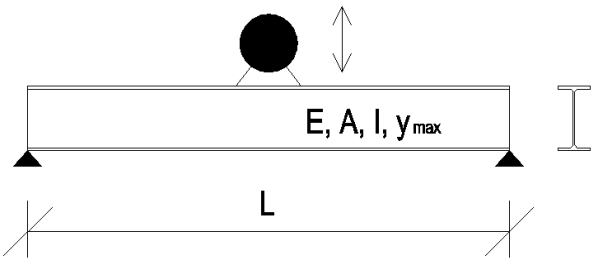
Post-tensioning has significant influence on both static and dynamic behaviour of the steel beams. Structural performance can be positively affected by the compressing force acting on the cross-section resulting stress redistribution, reduction in deflection and also lower natural frequency. The reduced natural frequency of the beam loaded by harmonic excitation force yield to lower resonance factor when the angular frequency of the excitation force is higher than the natural frequency of the beam. Lower dynamic loads can be determined due to lower resonance factor which resulting also lower maximum displacement, velocity and acceleration of structure. Because of the health protection or other technological reasons limitation of the vibration effect may be required. By reducing dynamic loads, the stresses of the structural elements can also be reduced.

Keywords: *post tensioned steel structure, resonance factor, dynamic load*

1. Dinamikus teherrel terhelt acél gerenda

1.1 Gerenda vizsgálata

Vizsgáljuk meg egy meglévő acélgerendás födémet, amelyre funkcióváltás miatt egy gépet szeretnének helyezni. Az egyszerűség kedvéért az 1. ábrán látható elrendezést vizsgáljuk. A szerkezetből kiragadunk egy kéttámaszú csuklós "I" szelvényű gerendát. A gerenda rugalmassági modulusa, keresztmetszete, és a támaszköz ismert.



1. ábra. *Vizsgálati elrendezés*

A fesztáv felénél helyezkedik el a dinamikus terhelést létrehozó forgó részekkel rendelkező gép. Feltételezzük, hogy a rendszer csak függőleges irányban képes elmozdulni és, hogy a gerjesztő hatást kifejtő gép egy ponton terhel a gerendára. Ismert a gép önsúlya és ismerjük a létrehozott gerjesztő erőt, amit a (1) képlet ír le.

$$q(t) = q \cdot \sin(\omega \cdot t)\,, \tag{1}$$

ahol:

q	a külpontos szerkezeti elem forgásából keletkező erő maximális értéke;
ω	a forgás szögsebessége;
t	az idő.

Ahhoz, hogy egyszabadságfokú rezgésként vizsgálhassuk a feladatot, meg kell határoznunk a gerenda redukált tömegét, egy helyettesítő tömeget, aminek a kinetikai energiája megegyezik egyszabadságfokú rendszernél az eredeti modell kinetikai energiájával, valamint a rugóállandót, amit a közepén terhelt kéttámaszú tartó lehajlásából származtathatunk, amelyet a (2) összefüggéssel határozhatunk meg:

$$k = \frac{48 \cdot E \cdot I_y}{L^3}, \tag{2}$$

ahol:

E a rugalmassági modulus;
I_y a gerenda inercianyomatéka a vízszintes tengelyre;
L a gerenda hossza.

A fentiek ismeretében meg lehet határozni a szerkezet sajátkörfrekvenciáját

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m_1 + m_2}}, \tag{3}$$

ahol:

m_1 a tartó redukált tömege;
m_2 a gerjesztő gép tömege.

A sajátkörfrekvencia és a gerjesztés frekvenciájának ismeretében számítható a rezonanciatényező. (4) A rezonanciatényező segítségével meghatározzuk a maximális elmozdulást (5), a maximális rezgéssebességet (6), majd a maximális gyorsulást (7).

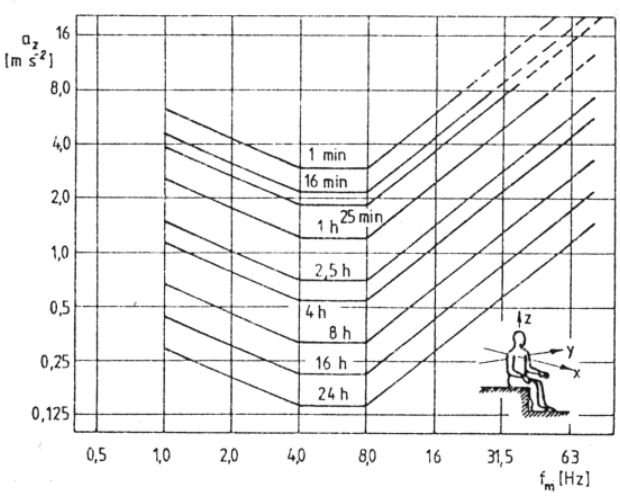
$$\mu = \frac{1}{\left| 1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right|}, \tag{4}$$

$$x_{\max} = \mu \cdot \frac{q}{k}, \tag{5}$$

$$v_{\max} = \omega \cdot x_{\max}, \tag{6}$$

$$a_{\max} = \omega \cdot v_{\max}, \tag{7}$$

Amennyiben a kapott maximális rezgéssebesség/gyorsulás meghaladja az egészségügyi vagy technológiai okból előírt maximális sebességet/gyorsulást, akkor azt csökkenteni kell. A 2. ábrán az emberi szervezetre a test függőleges tengelyével egybeeső maximális gyorsulások láthatók az ISO2631 szerint.



2. ábra. *Függőleges gyorsulási határértékek*

2. A rezgéssebesség csökkentésének lehetőségei

A továbbiakban korlátozzuk vizsgálatainkat a rezgéssebesség csökkentésére. (6) és (7) alapján látható, hogy a rezgéssebesség csökkenése a gyorsulás és az elmozdulás csökkenésével jár együtt.

2.1. A szerkezeti csillapítás figyelembevétele

Az eddigiekben a mindig jelenlévő szerkezetei csillapítást figyelmen kívül hagytuk. Ez az elhanyagolás a ténylegestől nagyobb értékű rezonanciatényezőt eredményezett, így a biztonság javára közelítő eredményt adott a maximális elmozdulás-, sebesség- és gyorsulás értékekre.

2.2. A tartószerkezet merevségének módosítása

A maximális rezgéssebességet közvetlenül kifejezve a következő két esetet kapjuk:

$\omega < \omega_0$ esetén:

$$v_{\max} = \frac{\omega \cdot q}{k - \omega^2 \cdot m} \quad ,$$

$\omega > \omega_0$ esetén:

$$v_{\max} = \frac{\omega \cdot q}{\omega^2 \cdot m - k} , \qquad (8)$$

A tartószerkezet merevségének növelése csak abban az esetben csökkenti a rezgéssebességet, ha a gerjesztő erő körfrekvenciája kisebb a saját-körfrekvenciájánál.

2.3. Kiegészítő szerkezeti elemek alkalmazása

Kiegészítő tömegek, alátámasztó rugók és rezgéscsillapító berendezések beépítésével hatékonyan befolyásolható a rezgés. A rezgéssebesség mérséklésének szokásos módszere ez, hátránya, hogy drága és nő a szerkezet statikus terhe.

3. A rezgéssebesség csökkentése utófeszítés alkalmazásával

3.1. A feszítőerő hatása a dinamikai viselkedésre

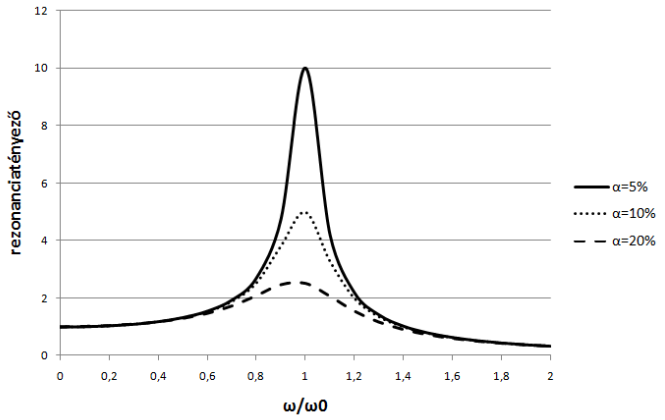
A nyomóerővel terhelt rúd sajátkörfrekvenciáját a nyomóerő hatására keletkező másodlagos nyomatékok hatása miatt az eredeti rúdelem sajátkörfrekvenciájának redukálásával kaphatjuk meg. A csökkentett érték (9) alapján számítható.

$$\omega_{0\,\mathrm{mod}} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{N}{S_{kr}}}\,, \tag{9}$$

ahol:

N	–	a feszítőerőből származó nyomóerő;
S_{kr}	–	a rúd kritikus ereje.

A 3. ábrán a rezonanciatényező értékei lettek feltüntetve a sajátkörfrekvencia és a gerjesztő frekvencia függvényében, három különböző szerkezeti csillapítás esetére.



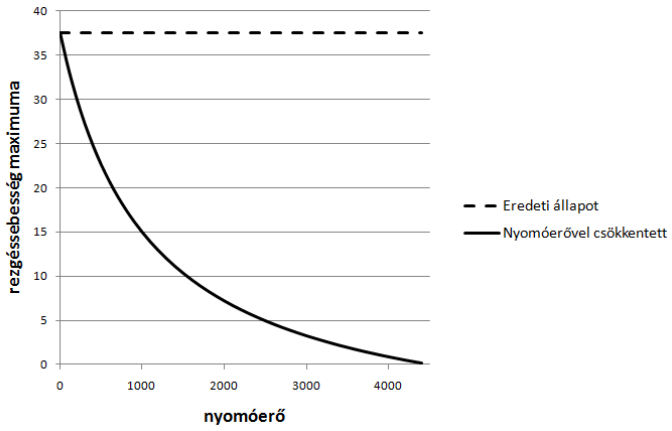
3. ábra. *Rezonanciatényező a frekvenciaarány függvényében*

Látható, hogy a sajátkörfrekvencia csökkenése abban az esetben csökkenti a rezonanciatényezőt, ha a gerjesztő frekvencia nagyobb a szerkezet sajátkörfrekvenciájánál. Jelentős csökkenést a rezonancia közelében érünk el.

Vizsgáljunk meg egy 3 m fesztávú IPE200 szelvényű gerendát. A gerenda és a burkolat redukált tömegét 1.2 t –nak választva vizsgáljuk meg a rezgéssebességet a (10) függvénnyel leírható gerjesztő erőt kifejtő 0.2 t tömegű gép hatására!

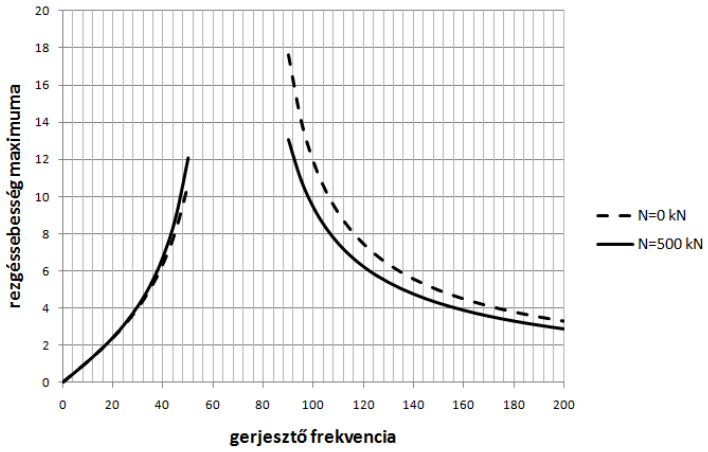
$$q(t) = 0{,}8kN \cdot \sin(80\frac{rad}{s} \cdot t)\,, \tag{10}$$

A rezgéssebesség maximális értéke 37 mm/s –ra adódott. A 4. ábrán a tartót terhelő tengelyirányú nyomóerő csökkentő hatása látható. A görbe 0 kN nyomóerőnél 37 mm/s rezgéssebesség maximumtól indul és 4475 kN nyomóerőnél éri el a 0 mm/s rezgéssebességet. Ez a nyomóerő a rúd kritikus ereje. Ennél az erőnél stabilitásvesztés következik be, vagyis a tartó nem tér vissza eredeti helyzetébe, azaz nem rezeg. Gyakorlati szempontból természetesen csak a görbe első (legmeredekebb) szakasza az érdekes. 4 db. Φ15,7 átmérőjű pászma megfeszítésével 1000 kN körüli nyomófeszültséget tudunk létrehozni, de ebben az esetben már biztosan gondoskodni kell a tartószerkezet oldalirányú kihajlásának megakadályozásáról is.



4. ábra. *Rezgéssebesség maximuma a terhelő nyomóerő függvényében*

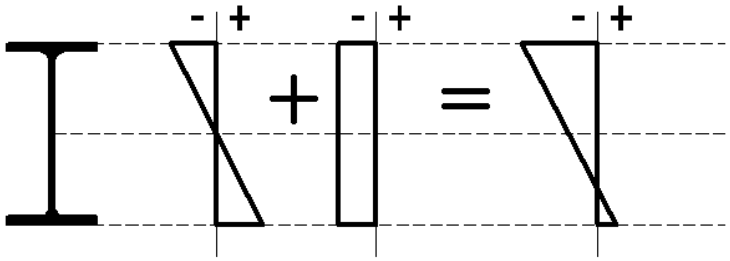
Az 5. ábrán gerjesztő frekvencia hatását láthatjuk a rezgéssebesség maximális értékére nyomóerő nélkül és 500 kN nyomóerő hatására. A gerenda sajátkörfrekvenciája 72 rad/s. Ennek környékén nincsenek ábrázolva a rezgéssebesség értékei, mert a szerkezeti csillapítást figyelmen kívül hagyva azok végtelenhez tartanak. A grafikon eredményei megerősítik a rezonanciatényező vizsgálatánál feltételezetteket.



5. ábra. *Rezgéssebesség maximuma a gerjesztő frekvencia függvényében*

3.2. A feszített acélszerkezet feszültségeloszlása

A feszítés előtt hajlított gerenda, utána nyomott-hajlított gerenda feszültségeloszlását kell vizsgálnunk. A nyomott-hajlított gerenda feszültségeloszlását a hajlításból kapott feszültségeloszlás és a nyomásból eredő feszültségek összegzésével kapjuk, ahogyan ez a 6. ábrán látható. Jelenlegi modellünket vizsgálva a gerenda középső keresztmetszete lesz a mértékadó.



6. ábra. *Központosan feszített hajlított gerenda feszültségeloszlása*

Az ábrán látható, hogy a bevezetett nyomóerő hatására a gerenda alján csökkent a feszültség a feszítés előtti állapothoz képest, míg az eredetileg is nyomott részen tovább nőtt a feszültség. Kedvezőbb eredményt kapunk, ha külpontos feszítést alkalmazunk.

A feszítőerő külpontos alkalmazása mellett további, részletesebb vizsgálat szükséges a következő változások miatt:

- A (9) képlet statikus jellegű központos nyomásra vonatkozik. A feszítőerő külpontos bevezetése esetén a normálfeszültség a rezgés folyamán nem lesz állandó nagyságú sem időben, sem pedig a gerenda magassága mentén.

- A külpontos feszítés mellett a vizsgált dinamikus teher hatására a pászma rögzítési pontjainak távolsága nem lesz állandó, ami miatt a pászma feszültsége ingadozni fog. Ez egy nagy frekvenciájú, kis feszültségingadozás. A maximális feszültséget úgy kell megválasztani, hogy azt a pászma kvázi végtelen fárasztási cikluson keresztül viselni tudja.

- Minél nagyobb külpontosságot alkalmazunk a feszítés során, annál jobban növeljük a szerkezet rugóállandóját, ami a sajátkörfrekvenciától nagyobb gerjesztő frekvencia esetén kedvezőtlen hatással van a rezonanciatényező értékére.

4. Összefoglalás

Statikus terhekkel terhelt acélszerkezetek utófeszítésének hatásait vizsgálva megállapítható, hogy külpontos nyomóerő bevezetése kedvezően alakítja át a keresztmetszet feszültségeloszlását, ezáltal növeli a teherbírást. Csökkenti a nyomatéki értékeket a tartó mentén, ezzel összefüggésben csökken a tartószerkezeti elem maximális lehajlása. Általánosan elmondható, hogy a szerkezet megerősítését gazdaságosan, kevés helyszíni munkával, az önsúly jelentős növelése nélkül lehet megoldani.

Dinamikus teher esetén további előnyeit tapasztalhatjuk az utófeszítésnek más megerősítési módokhoz képest abban az esetben, ha harmonikus gerjesztő erővel terhelt gerendák esetében a gerjesztő erő körfrekvenciája nagyobb a sajátkörfrekvenciánál:

- A bevezetett statikus normálerő csökkenti a szerkezet sajátkörfrekvenciáját. Ez a szerkezet maximális elmozdulását, -sebességét és -gyorsulását, valamint a keletkező dinamikus terhet is csökkenti.
- A merevség kis növekedése mellett csökkenthető a szerkezeti elem lehajlása és teherbírása, ami a (8) alapján szintén kedvező a rezgéssebességek szempontjából.

5. Irodalomjegyzék

[1] CTRE Bridge Engineering Center Iowa State University *Evaluation of post-tension strengthened steel girder bridge using FRP bars*

[2] Daly F.A. , Witarnawan I.W. *A method for increasing the capacity of short and medium span bridges*

[3] Györgyi, J. *Dinamika*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002.

[4] Györgyi, J. *Szerkezetek dinamikája*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2006.

[5] MSZ EN 1993-1-1 Eurocode 3: *Acélszerkezetek tervezése*, 2009.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 251-258.

CSÓNAKHINTA AZ EGYIPTOMI PIRAMISOK ÉPÍTÉSTECHNOLÓGIÁJA

CSANÁDY Gábor DLA
főiskolai tanár
Debreceni Egyetem Műszaki Kar Építészmérnöki tanszék, Debrecen, Ótemető utca 2-4.
csanady@mk.unideb.hu

Összefoglalás:
A piramisok építése mindig izgatta az emberiséget, hogyan épülhetett ekkora nagy épület oly egyszerű technikai adottságok mellett. A közismert rámpás elképzelés különféle variációi és Szabó Gergő egyszerű emelőrúd elmélete mellett Sörös István új elképzelést ismertetett, amely a vízépítés eszközeivel, hajókkal, zsilipekkel véli megtalálni a megoldást. Az előadásban ismertetendő hipotézis ennél sokkal kézenfekvőbb és egyszerűbb is, miközben épít az elődök eredményeire is, pl. Roumen V. Mladjov és Ian R. Mljadov gördülő kövek elméletére, Fliders Petrie ásatási eredményeire.

Kulcsszavak:
Egyiptom, piramis, hajó, építéstechnológia, csónakhinta,

Abstract:
The construction of pyramids has always intrigued the humanity, how such a large building could be built in such a simple technical realities. Next to the theory of different variations of well-known ramp and Gergő Szabó simple lift rod, István Sörös presented a new theory, which with hydraulic engineering tools, ships, locks belive that he found the solution. The hypothesis described in this presentation makes it more natural and much simpler, while also building on the achievements of our predecessors, for example on theory of Roumen V. Mladjov and Ian R. Mljadov about rolling stones, on excavation results of Fliders Petrie.

Keywords:
Egypt, pyramid, building technology, boat-swing

1. Bevezetés

Arany László szerint: „Lassan megszámlálhatatlan tömegűvé duzzad a piramisok építési módját magyarázni próbáló elméletek száma. A legkülönbözőbb és olykor a legvadabb elképzeléseket olvashatjuk. Viszont minden magyarázat annyit ér, amennyit a gyakorlatban sikerül igazolni belőle, ilyen pedig egyetlen egy sincs.” (Arany 2007)

Ezzel együtt a piramis építése semmi speciálisat nem jelent, hacsak a mérete szerint nem, de az ókorban nem csak piramisokat építettek, hanem a piramis csupán egyike volt az építési feladatoknak, amelynek az építésére napi rutinként használható technológiára volt szükség. Egy (egyiptomi) templom építése nem jelent lényegesen eltérő feladatot, hiszen ott is standard nagyméretű köveket kellett szállítani és helyére juttatni. Teljesen egyet lehet érteni Székely Csabával, amikor azt kérdezi: „Miért épp a piramis építése rejtély? Azt megelőzően is építettek monumentális, ma is álló épületeket, ahol szintén a kőtömböket emelni kellett, akár több emelet magasságba." (Székely 2010).

Mivel a tanulmány méretét túlfeszítené az összes elmélet ismertetése, így ettől el kell tekintenünk. Ugyanakkor a jelen hipotézis nem értékelhető az ismert és elterjedt elméletek rövid ismertetése nélkül, így ezeket rövidítve, csak a lényegre szorítkozva ismertetjük, kitérve az értékelésére is. Meg kell jegyezni, hogy a téma nem csak komoly egyiptológusok, hanem a laikusok körében is népszerű, így vannak ismert és elfogadott, bevett elméletek, és vannak olyanok, amelyek tudományos szempontból nem vehetők komolyan, inkább csak szellemtornának tekinthetők.

2. Az ismertebb elméletek

2.1 Anyagok

Miből épült a piramis. A hagyományos építési mód az ókorban egy időtlen épület számára csakis a kő, vagy a vályog lehetett, utóbbi természetesen csak szárazabb területeken. A piramis kő építőanyaga a közeli (déli irányban kb. 300 m) bányából származó puha mészkő, amely jól hasítható és aránylag könnyen alakítható. Ez a kő adja a piramis anyagának 98%-át. A külső keményebb mészkő Turából, az építés helyszínétől 13 km-re lévő bányából származik, a belső termek gránit burkolata Asszuánból (934 km) származik. (Szabó Gergő 2008). A gipszet Fajjumból, a rezet Sínaiból hozták.

Az építés szempontjából a kövek szállítása jelenti a teljesítményt, ezért azzal foglalkozom részletesen. Természetesen fát is kellett használjanak az építkezéshez, amit alighanem Libanon hegyéről hoztak, ha cédrus volt és közelebbről is hozhatták, ha olajfa. A 2.1.1 alatt ismertetett elmélet további anyagokat igényel.

2.1.1 Joseph Davidovits öntött kő elmélete

Davidovits szerint a tömbök helyszíni öntéssel készülhettek egy mészkő alapú recept segítségével. Davidovits (1988, 2002, 2008). A Geopolymer Chemistry & Applications Institute alapítója a philadelphiai Drexel Egyetem anyagkutatásait is figyelembe véve kovaföldből , dolomitból és mészből előállított egy öntött kőtömböt igazolva elméletének megvalósíthatóságát.

Az elmélet gyengéje, hogy nem ismertek sem ebből az időből sem későbbről egészen a rómaiakig hasonló technikájú építkezések, miközben számos épület, építmény épült.

2.2 A bányászat

A mészkő kitermelése nem tűnik különösebben problémásnak, és ennek az az oka, hogy a technológia csak igen lassan változott meg, alig néhányszáz éve fejlődött számottevően és a modern gépek megjelenéséig szinte változatlannak mondható.

Az arra alkalmas eret megfaragják gránit vagy dolerit vésővel. A mélyedésekbe faékeket vernek, azokat meglocsolják és az így kezdett folyamatot az előző ékek lazítása nélkül ismétlik, aminek következtében a kő lereped a szikláról. A szállítás és emelés ugyanúgy történik, mint a munkafolyamat későbbi fázisaiban.

„Az asszuáni gránitfejtőkben dolerit pörölyöket alkalmaztak a kőtömbök elválasztásának fáradságos munkájához. Az eredetileg körte alakú kövek egyre inkább elkerekedtek, ahogyan a kőfaragó ismételten elforgatta őket, hogy új vágóélt használjon, miután az előző elkopott. A mintegy 4-7 kg tömegű köveket két kézzel kellett tartani.” (Szabó Gergő 2008)

2.3 A szállítás

A szállítás az egyik fő kérdéskör, ami a probléma lényegét jelenti. A szállítandó anyag persze a mérete miatt jelentett gondot, illetve a szállítandó anyagmennyiség miatt. Mekkora köveket is kellett szállítani?

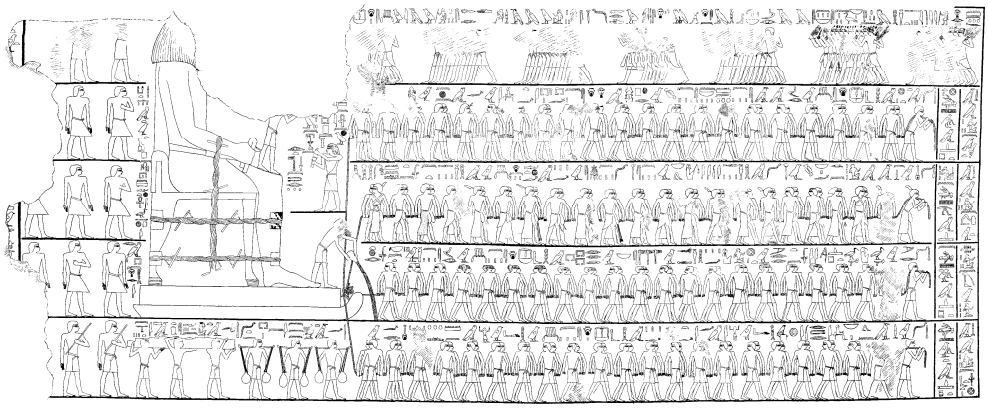
Egyrészről voltak a speciálisan egyedi méretű elemek. Ezek szállítása ugyan különlegesen nehéz, viszont sok erőt lehetséges összpontosítani rá.

1. ábra. *A piramisok építőkövei a Kairói múzeumban*

Az emberekhez viszonyítva a Kairói múzeumban őrzött köveket, azok mérete kb. 1 m x 3 m-nek látszik. Ha az egyiptomi királykönyökben fejezem ki, kerek értékekben az 2*6 könyök, vagy egyszer három dupla-királykönyök. Tekintve, hogy a hat könyök éppen egy nád, azaz kerek érték, valamint, hogy a dupla-királykönyök is kerek érték, az egy dupla-királykönyök szer egy nád érték használata nagyon természetesnek tűnik, még akkor is, ha tudható, hogy nem egészen egységes a kőhasználat az egyes piramisok tekintetében. Ezen méretek méterben 1,05 m ill. 3,15 m-es értéket adnak ki (1 egyiptomi könyök 52,5 cm. Az utolsó milliméterekben van csupán vita).

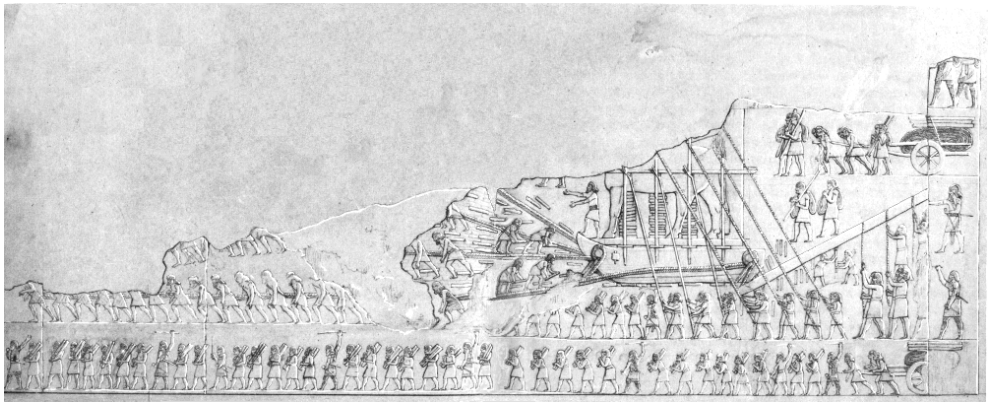
2.3.1 Vontatás fagerenda pályán

A szállítás legismertebb és legelfogadottabb módja, hogy a köveket vontatták. A vontatáshoz fa pályát építettek gyalult fából, amit iszappal borítottak. A felszín keményítéséhez pedig gipszet vagy agyagot használtak. Ezt a pályát vizes iszappal borították és azon csúszott a szán, amivel a köveket szállították. A pályát folyamatosan locsolták a nedvesen tartás érdekében és a szánokat emberek húzták.



2. ábra. *Nagyméretű szobor szállítása faszánon a XII. dinasztia idejéből*

A nagyméretű szobor szállítására nem csak az egyiptomi Dzsehutihotep el-Bersehi (Djehuty-hotep at Deir El Bersheh) sírjában maradt fenn ábrázolás, hanem Szancherib ninivei palotájából is. Dzsehutihotep ábrázolásán a szán elé töltenek valamit, talán éppen nedvesítik a pályát. 172 ember húzza a szobrot, amit 70 tonnásra becsülnek. Itt a pálya maga nem látszik, ugyanakkor valaminek lennie kell, hiszen besüllyedne a szobor. Szancherib ábrázolásán a pálya is látszik, ami nem folyamatos elemekből, inkább valamifajta talpfából áll. A szállítás egy hajószerű eszköz segítségével történik.



3. ábra. Nagy*méretű szobor szállítása Ninive Kr.e 700 körül*

A nagyobb távolságra való szállítás hajókon történhetett. Ez az Asszuáni gránitbánya tekintetében egészen nyilvánvaló, hiszen a csaknem ezer km-es szállítást így folyón lefelé lehetett megtenni. Ennek még akkor is így kellett történnie, ha csak az újbirodalomból való ábrázoláson maradt csak fenn erre vonatkozó ábrázolás. A Hasepszut királynő XVIII. dinasztia obeliszkjét szállító hajó terhe a becslések szerint 300 tonnás és a leírás szerint 6000 ember 7 hónapi munkája kellett az elszállításhoz.

2.3.2 Vontatás gördülő farönk pályán

Ez az egyik legismertebb elképzelés, de az utóbbi időben újabb elemekkel korszerűsödött. A lényeges elem itt az, hogy fa rönköket helyeznek a kőtömb alá és azokon gördül előre. Itt a nehézséget az okozza, hogy a fa gerendák összetorlódnak, kisodródnak oldalt, ami rámpán különösen nehezen kezelhető. A másik gond az, hogy érzékeny az altalajra, azaz a gerendák forgácsolódnak, belesüllyednek a homokba.

Franz Löhner (2006) egy fapályán görgő rendszert ismertet. Székely Csaba (2010) ezt gördülő rudaknak hívja. Mindkettőnek meghatározó eleme a fapálya, és a kövek alatti faszerkezet, amely a kővel együtt mozog, így kisebb a gördülő-ellenállás, pontosabbak a méretek és kisebb a lemorzsolódás.

Ellene vethető, hogy sík talajon ugyan hatékony lehet, de rámpán nem igazán használható. Az erre vonatkozó elképzeléseket az emelőknél ismertetem.

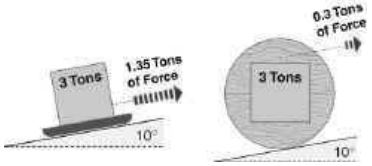
2.3.3 Mesterséges csatornán, hajóval szállítva

Sörös István (2001) elmélete abból a két tényből indul ki, hogy a vízgazdálkodás fejlett volt Egyiptomban az öntözések kapcsán, másrészről nagyon pontos vízszintezések mutathatók ki megmaradt falak esetében. A hajót szárazon rakodták ki és be és szállításhoz zsilipekkel megemelték a vízszintet. Lényeges elem, hogy a hajó alá gondolja rögzíteni a kőtömböt.

Bonyolultsága mellett ellene vethető, hogy nem igazán hatékony és ez különösen kisebb távolságra (300 méter) igaz. Ennek megfelelően egyes nagyméretű, nagy távolságból szállítandó köveknél jöhetett számításba. Figyelembe kell venni, hogy a befektetés nem csekély a csatornarendszer építés tekintetében, továbbá, hogy egyedi megoldásban gondolkodik, holott folyamatosan folytak egyéb nagy építkezések is, akár csak a templomokra gondolva, ahol hasonló kihívásokkal találkozhattak az építők.

2.3.4 Gördülő kövek

Roumen V. Mladjov és Ian R. Mladjov (közli Freeman 2008 és Szabó 2008) szerint a kőtömbökre szereltek fa elemeket, amelyek így tengelyét adták egy kétkerekű kocsinak; ezeket kötél segítségével könnyen lehet gördíteni.



4. ábra. *Az egyszerű gépként működő kerék sokkal kisebb erővel mozgatható*

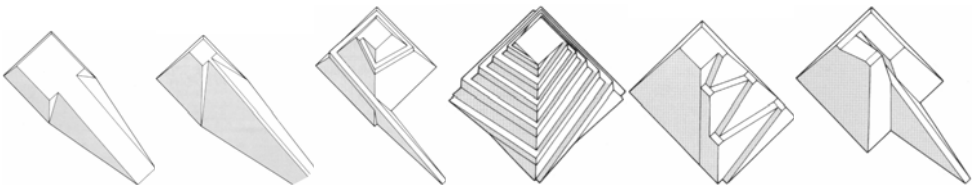
Szabó ellenérve, amely szerint a rendszerhez szükség van a rámpás rendszerre, cáfolható. Azonban abban igazat kell adnunk, hogy a kötél kezelése bonyolulttá teszi a megoldást. Az az ellenvetés, hogy különböző méretűek a kövek az első ábra alapján nagy gondot nem jelentett, egyszerűen több féle méretet kellett gyártani a kerékből.

2.4 Az emelés

Az emelés technológiája a legkritikusabb pontja a kérdéskörnek.

2.4.1 Rámpák alkalmazása

Az épülethez kb. 10 fokos rámpát építenek szárított agyagtéglából, mészkőből, gipszből, kemény agyagpalából un. taflából. Van olyan elképzelés is, hogy faelemeket használtak. A rámpa alakja elég sokféle lehet a felmerülő elméletekben.



5. ábra. *Az egyszerű rámpa, spirál rámpa, és belső rámpa variációk. az egyik oldalra merőlegesen épül fel*

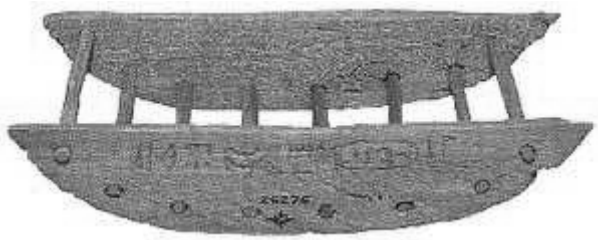
Főbb alaptípusai: az egyszerű rámpa az egyik oldalra merőlegesen épül fel. Spirális rámpák: az építményre tapadó elemekből épül fel a rámpa. Belső rámpa: az építményen belül van a rámpa nagy része. Természetesen ezek elemei tetszőlegesen variálhatóak.

2.4.2 Kétkarú emelők alkalmazása

Már Hérodotosznál felmerül egy egyszerű, gémeskútszerű daru használata, amilyen a máig használt saduf. Székely Csaba emelősorban gondolkozik, ami nehézkes módszer, de megfelelő méretezéssel elképzelhető.

3. Új hipotézis: „Bölcsőkön" gördülő kövek

Flinders Petrie bölcsőknek nevezte azokat az elemeket, amelyek az Újbirodalom idejéből fennmaradtak.



6. ábra. *Petrie bölcső*

Ha ezeket az elemeket összevetjük a gördülő kő elmélettel, könnyen elképzelhető eszközhöz jutunk: négy bölcsőt kell csak rákötni a kőre, hogy az gördülni tudjon. Természetesen mindkét végére.

Hogy gördíteni lehessen a köveket, szilárd burkolatú út kell: kővel ki kell rakni! Ne feledjük, hogy ugyanazon kövek, amiből épült a piramis útépítőkőnek is alkalmas, és ha elsőnek letesszük, a végén felszedjük, egyetlen többletkőre sincs szükség, csak a le és felrakás egyszeri munkája a többlet. Hat elem egymás mellé tételével kijön a Hérodotosz szerinti útszélesség, aminek azonban a fele is luxusnak tűnik.

Ezen a pályán a köveket (bölcsőnként két ember elől, kettő hátul) nyolc ember könnyed gyors ütemben volt képes szállítani, függetlenül a többi brigádtól.

4. Új hipotézis: hajóhintás emelés

Sörös elmélete, amely a hajókon való szállítást és a hajó billegő mozgásának kihasználásával való emeléssel számít, szárazon is meg lehet tenni: vagyis a hajó szárazon is könnyedén tud billegni. Az ismert fahajó típusok között volt olyan

méretű, amelyet egy tucat ember el tudott vinni, és amelyik egyszersmind arra is alkalmas volt, hogy a hajó egyik végéből a másikba sétálván a hajó erre vagy arra billenjen. Ha a hajótest 1-1,5 m-es magasságú billegésre képes volt, az pont elég volt arra, hogy egy kősor-szinttel, azaz egy duplakirály könyökkel (1,05 m) feljebb emelje a terhet, a következő követ. Mivel ehhez nem kellett a bölcsőt sem levenni a kőről, az lendületesen gördülhetett a következő szinten tovább, vagy emelkedhetett a következő szintig.

Két előnye van ennek az elképzelésnek: olyan elemekkel dolgozik, amelyek jelenléte bizton igazolható az adott környezetben, másrészt szerfelett hatékony és nem kíván semmivel sem nagyobb technikai, vagy szervezési szintet, mint ami bizonyítottan jelen volt Egyiptomban.

5. Irodalomjegyzék

[1] Feinstein P.: *Surface temperatures on Wood panels Heavy Duty High Performance Coating, Journal for non-realistic materials*, Vol. 1, Stockholm, Sweden, 1993. pp.715-723.

[2] Székely Csaba: *Valóban rejtély a piramis építésének módja?,* http://csszekely.blog.hu/2010/06/27/piramisok_epiteserol 2010-08-25

[3] Arany László: *Osiris sírja Egyiptomban és a gízai piramisok* http://www.inco.hu/inco12/tudatk/cikk1h.htm 2010-08-25

[4] Szabó Gergő: *A Gízai Nagy Piramis* http://tttweb.hu ill. http://konyv-e.hu/ekonyvek.html 2010-08-25

[5] Davidovits, Joseph: *The Pyramids: An Enigma Solved, Hippocrene*, New York. 1988.

[6] Davidovits, Joseph: *Ils ont bâti les pyramides édition Jean-Cyrille Godefroy*, Paris, 2002. ISBN 2-86553-157-0.

[7] Davidovits, Joseph: *They built the Pyramids*, ed. Geopolymer Institute (Institut Géopolymère), Saint-Quentin, 2008. ISBN: 2-9514820-2-7.

[8] Sörös István: *Vízben álló piramisok, lebegő kövek*. Mandorfi BT., Felsőörs, 2001. ISBN 9630081059

[9] Varona, Carlos Eduardo Rodríguez: *Hypothesis of Construction of the Pyramids Of the Valley of Giza* http://www.world-mysteries.com/GW_GP_CER.htm 2010-08-26

[10] Franz Löhner: *Building the Great Pyramid* http://www.cheops-pyramide.ch/khufu-pyramid/ramp-models.html 2010-08-26

[11] Freeman, Joel: *The Puzzle of the Pyramids* http://www.freemaninstitute.com/Gallery/pyramids.htm 2010-08-26

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 259-266.

PASSZÍVHÁZ FŰTÉSI ENERGIAIGÉNYÉNEK FEDEZÉSE SUGÁRZÁSI HŐNYERESÉGGEL

Kozmáné Szirtesi Krisztina
Műszaki oktató
Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Építészmérnöki Tanszék, 4029 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
kszk@eng.unideb.hu

Összefoglalás

A szoláris hőnyereség mindig hatással van egy épület fűtési energiaigényére. Magyarországon a jelenleg hatályos 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet szerint ez az energiamennyiség egyszerűsítéssel, azaz a biztonság javára tévedve is számítható. Extrém alacsony energiaigényű épületeknél a szoláris nyereség azonban a fűtési energiaigény jelentős hányadát fedezi, ezért fontos ennek pontos kiszámítása. A tervezési folyamat során jó, ha ismerjük az adott üvegezett szerkezet tájolással összefüggő energiagyűjtő képességét. Ennek meghatározására tesz kísérletet ez a cikk, részben egy tervezési példát bemutatva, részben egy adott konkrét nyílászáró energiahozamát elemezve a tájolás függvényében.

Kulcsszavak: *passzívház, szoláris nyereség, PHPP*

Abstract

The solar heat gain always reduces the space heating demand of a building. In Hungary under the 7/2006. (V. 24.) Ministerial Decree this quantity can be determined by reduction. In case of extreme low energy buildings most of the heating demand is covered by the passive solar gain, therefore the exact calculation of this amount is significant. During the planning processes it is useful to know the energy gathering capacity of the glazed structures depending on the quarters. In this paper the determination of this characteristic is demonstrated. A particular case of a passive house and specific glazed structures are analysed depending on the quarters.

Keywords: *passive house, solar heat gain, PHPP*

1. Bevezetés

Köztudomású, hogy az emberiség energiaigényének mintegy 40%-a fordítódik az épületek létesítésére és fenntartására. Az energiaigény jó részét a fosszilis energiahordozók fedezik. A nehezebb kitermelhetőség és a növekvő igény viszont olyan mértékű áremelkedéshez vezet, mely már most is szinte megfizethetetlenné teszi az energiát egyes fogyasztók számára. Ráadásul, figyelembe véve a 2008-ban kirobbant világméretű válság elhúzódó hatásait, az emelkedő energiaárak mellett a társadalom szinte valamennyi szintjén csökkenő bevételekkel kell számolni.

Tehát ha valami módon elérhetjük, hogy az energiaigény és ezzel együtt az energiaköltségek látványos módon mérséklődjenek, azzal nemcsak a környezeti válság megoldásáért teszünk, hanem a saját életminőségünk javításáért is.

Az Európai Unió tagállamainak épületenergetikai szabályozása a 91/2002 EK direktíván alapul, melynek célja az épületek energiahatékonyságának növelése és egyúttal a széndioxid-kibocsátás csökkentése. 2010-ben a direktíva átdolgozásra került, és a tagállamok vállalták, hogy 2020 decembere után minden új lakóépület (2018 decembere után pedig már minden új állami fenntartású épület) „közel nulla energiás" lesz. Ez a követelmény azt jelenti, hogy minimalizálni kell az energiafogyasztást, és ezt a keveset is minél nagyobb arányban kell megújuló energiahordozókkal fedezni. A fenti követelményeket megvalósító épületekre többféle meghatározás, definíció és tanúsítási rendszer létezik. Jelen tanulmányban egy debreceni passzívház (ikerház) példáján keresztül szeretném bemutatni a megvalósítás lehetőségét, és a megújuló energiaforrások legegyszerűbb felhasználási módját.

2. A passzívház fogalma

A passzívház definíciója Wolfgang Feist szerint: „egy olyan épület, melyben a termikus komfortérzet (ISO 7730) egyedül azon friss levegő-térfogatáram utánfűtésével vagy utánhűtésével biztosítható, mely a kielégítő levegőminőség eléréséhez (DIN 1946) szükséges - további egyéb levegő felhasználása nélkül." Ennek eléréséhez a következő követelményeknek kell teljesülnie: a fajlagos éves fűtési hőigény nem lehet nagyobb, mint 15 kWh/m^{2}a, a fajlagos primer energiaszükséglet pedig nem haladhatja meg a 120 kWh/m^{2}a értéket. Mindezek teljesíthetősége érdekében a határolószerkezetek hőátbocsátási tényezőinek maximális értéke is meg lett határozva, illetve a légcsere fűtési idényben csak ellenőrzött módon, gépi, hővisszanyerővel ellátott szellőzőrendszerrel történhet. Hogy az ellenőrizetlen légcsere minimális legyen, a Blower-door teszttel mért, 50 kPa alul- illetve túlnyomáson meghatározott légcsereszám megengedhető értéke max.: $n_{50} \leq 0{,}6\ h^{-1}$. [1] Mivel a fűtési energiaigény igen csekély, és az egyszerűsítésekből és elhanyagolásokból eredő bizonytalanságok ebben a léptékben nagy pontatlanságot okozhatnak, a passzívházak energetikai számításához a PHPP (Passivhaus Projektierungs Paket) programot használjuk. Ez a program a fűtési energiaszükséglet meghatározásához figyelembe veszi az épületszerkezetek hőtechnikai jellemzői mellett az épület pontos tájolását, a nyílászárók geometriából adódó illetve árnyékolószerkezetek által biztosított árnyékolását, a szellőzés biztosításának módját valamint a földrajzi helyre vonatkozó átlagos meteorológiai adatokat is.

3. A tervezett épület elemzése

3.1 Az épület és a szerkezetek leírása

A debreceni Huszti-kert Lakópark beruházói egy Debrecen északkeleti határán lévő területen 86 építési telket alakítottak ki azzal a céllal, hogy ott kizárólag passzívházakból illetve a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet szerinti A+ energetikai besorolású lakóépületekből álló épületegyüttes létesüljön. Több épület van tervezés

alatt, illetve készül egy, már engedéllyel rendelkező mintaház, melyre cél a passzívház minőségtanúsítvány elérése. Ebben a tanulmányban azonban egy ikerház tervezésének tanulságait szeretném bemutatni, mert a benapozással kapcsolatos lehetőségek és problémák itt látványos eltéréseket mutattak a két lakás esetében.

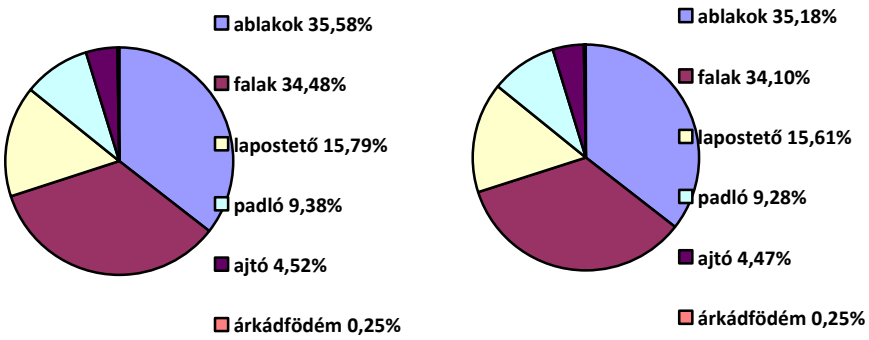
Az épület beruházója a SA-RO Invest Kft., felelős tervezője Majer Attila, én szakmai tanácsadóként és a PHPP számítások elkészítésében működtem közre.

Az épület kétlakásos ikerház, közel azonos alapterülettel és alaprajzzal. Alápincézetlen, földszint + egyemeletes, lapostetős. Az emeleti szint alapterülete kisebb, a földszint feletti beépítetlen részeken pihenőteraszok lesznek kialakítva. A gépkocsitárolók a termikus burkon (a fűtött teret határoló, hőhídmentes, felületfolytonos hőszigetelés és a nyílászárók alkotta burok) kívül helyezkednek el.

Az épület Porotherm 30 NF falazattal készül. A külső hőszigetelés 20 cm EPS80 grafitadalékos hőszigetelő lemez (λ = 0,032 W/mK). A terasztetők és az emelet fölötti tető egyenes rétegrendű melegtető, szintén EPS80 grafitos hőszigeteléssel (33 cm). Az épület alá monolit vasbeton lemezalap kerül, mely alatt 24 cm nagy teherbírású XPS hőszigetelés lesz. Mivel az alapozási sík csupán -0,40 m, az épület körül ún. fagyszoknya lesz kialakítva, azaz a homlokzati hőszigetelés síkjában egy fagyhatár alá levitt 20 cm vastagságú XPS lemez fut körbe.

3.2 Hőveszteségek

Az előírtnál jóval hatékonyabb hőszigetelő képességű határolószerkezetekkel dolgoztunk, de ez szükséges is, mivel az épület eléggé tagolt, azaz a felület/térfogat arány az elvártnál kissé nagyobb. A passzívházak esetén ennek a 0,7-et nem szerencsés meghaladnia, azaz a kompakt épülettömegre kell törekedni. Ez a hányados itt 0,744 lett, ezért jobb hőátbocsátási képességű szerkezeteket kellett alkalmazni.



1. ábra. *A sugárzási hőveszteségek aránya az északi és a déli lakás esetén*

Az 1. ábrán a két épület egyes határoló szerkezetein kijutó hőmennyiség szerkezettípusonkénti arányát hasonlíthatjuk össze; az egyszerűbb áttekinthetőség kedvéért a különböző falszerkezet- és tetőfödémtípusokat összevonva, az üvegezett

nyílászárókat (erkélyajtó) is ablakként, bejárati ajtót pedig mint üvegezés nélküli nyílászárót külön kezelve. A teljes sugárzási hőveszteség a két épületrésznél nagyjából megegyezik: az északinál 5392 kWh/a, a délinél 5443 kWh/a. A déli épületrésznél ez az eltérés a kicsit nagyobb ablakfelület rovására írható.

Láthatjuk, hogy a két épületrész ebből a szempontból gyakorlatilag azonosnak tekinthető. Mivel az ablakfelületek és a falfelületek megoszlása mindkét esetben kb. 20% - 80%, miközben a hőveszteségük közel azonos, logikusnak tűnhet, hogy az ablakfelületek csökkentésével és egyúttal a falszerkezetek növelésével mérsékelni lehetne a sugárzási hőveszteséget, azaz csökkenthető lenne a fűtési energiaigény. A szoláris sugárzásból adódó hőnyereség elemzése azonban ezt meg fogja cáfolni. Már a tervezés során feltűnt ugyanis, hogy az északi ablakfelületek csökkentése nem eredményezett kisebb fűtési hőigényt.

Hőveszteség nemcsak a határoló épületszerkezeteken, hanem a fűtési idényben végbemenő légcserével is keletkezik. Mivel ennek mennyisége jelentős lehet, csak hővisszanyerővel ellátott mesterséges szellőzéssel lehet ezt a veszteséget minimalizálni. A hővisszanyerő hatásfoka jelentősen befolyásolja a hőveszteséget. 92%-os hatásfokú hőcserélőt és 160 m^3/h légcserét feltételezve a szellőzési hőveszteség mindkét épületrészben 930 kWh/a.

3.3 A hőnyereségek és a tájolás kapcsolata

A telkek jó részének tájolása sajnos nem lett igazán ideális. Ez nem jelenti azt, hogy a feladat nem oldható meg, azonban jóval gondosabb tervezést igényel. Az ikerház érintkező falainak tengelye az érintett telken ÉK-DNy irányú. Tehát az északi fekvésű lakásnak egy DNy-i (kedvező), valamint egy ÉNy-i és egy ÉK-i (kedvezőtlen) homlokzata van, míg a déli egy DNy-i és egy DK-i (kedvező) illetve egy ÉK-i (kedvezőtlen) homlokzattal rendelkezik. A kedvező (DK-i és DNy-i) homlokzati felületek aránya az épületrész összes homlokzatfelületéhez képest az északi egység esetén 28,17 %, míg a déli lakás esetében 66,89 %. A kedvező illetve a kedvezőtlen tájolás a beeső napsugárzás mennyiségében nyilvánul meg.

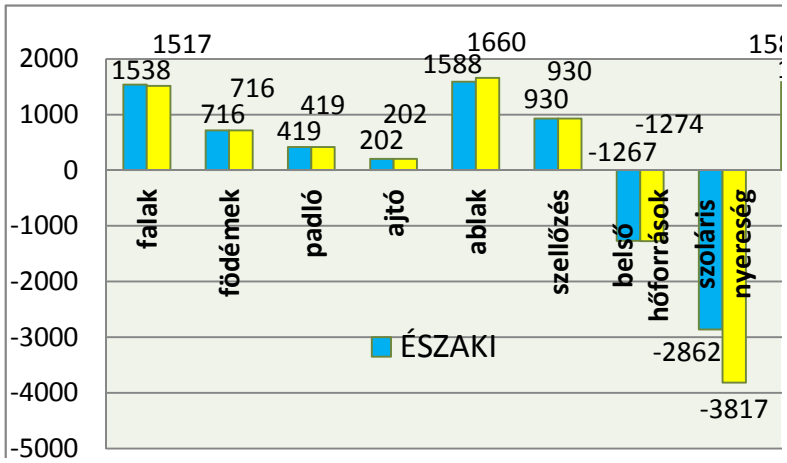
Az épületszerkezetek sugárzási hőveszteségét nemcsak a fűtéssel fedezzük. A PHPP program (a valósággal összhangban) lehetőséget ad a hőnyereségek beszámítására. Ezek két részből tevődnek össze:

- Belső hőforrások, azaz a személyek és a készülékek által leadott hő. Ez egy épületfunkciótól függő átlagérték, standard használati feltételek esetén meghatározva. Lakóépület esetén ez 2,1 W/m^2, amely egy viszonylag alacsony mennyiség, összehasonlítva a 7/2006. (V. 24.) TNM rendeletben meghatározott tervezési adattal, mely 5 W/m^2-ben lett meghatározva lakóépületekre. [2]

- Szoláris hőnyereség, mely függ az üvegezett szerkezet tájolásától, keret/üvegezés arányától, az árnyékolási helyzettől és az üvegezés összenergiaátbocsátási tényezőjétől (g). Az üvegrétegek számának emelkedése és a lágyfémbevonat alkalmazása azonban rontja ezt a tényezőt, tehát általánosságban minél jobb hőszigetelésű az ablakunk, annál kevesebb lesz a hőnyereség. Mindkét

nyereség egy ún. hasznosítási fokkal, a program által számított szorzótényezővel csökkentve kerül beszámításra.

A sugárzási hőveszteségeket tehát részben ellensúlyozzák a belső hőforrások és a szoláris nyereség, a fennmaradó veszteséget kell csupán fűtéssel fedezni. A következő diagramon (4. ábra) láthatjuk a két épületrész hőveszteségeinek és hőnyereségének összehasonlítását (az adatok a PHPP számításból véve, kWh/a):



2. ábra. *A hőveszteségek, hőnyereségek és a fűtési hőigény összehasonlítása*

Látható, hogy a fűtési energiaigény a belső hőforrásokkal azonos nagyságrendű, nagyon csekély! Ehhez képest a szoláris nyereség 2-3-szoros mennyiségű.

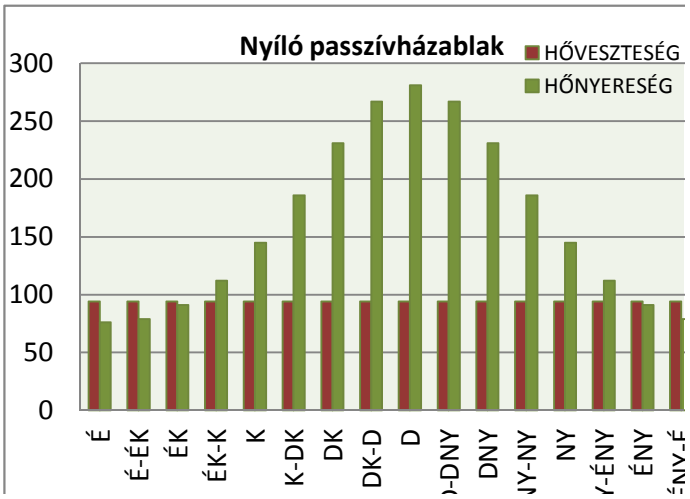
Az éves eljárással számított fűtési energiaigény a két épületrész esetén a PHPP számítással a következőképpen alakul: É-i: 12,9 kWh/m^{2}a, D-i: 8,6 kWh/m^{2}a, azaz a jobb tájolás a fűtési energiaigény szempontjából ennek az épületnek az esetében pontosan 1/3 arányú energiamegtakarítást eredményez.

4. Ablakok hőnyereségének összevetése különböző tájolásnál

Felmerült a kérdés, hogy mely tájolás esetén nyereséges, és melynél veszteséges az ablak energetikai mérlege. Ennek meghatározásához a PHPP programot használtam, a debreceni éghajlati átlagadatokkal. [1] Felvettem egy „egységnyi” ablakot, melynek névleges mérete 150/150 cm. A homlokzatokat árnyékolásmentesnek tételeztem fel, egyedül az ablakkáva árnyékolását adtam meg, egységesen minden ablakra. Első esetben egy nyíló (vagy bukó) passzívházablakkal számoltam, mely gyártmánytípus a tervezett épületbe kerül beépítésre, a következő adatokkal:

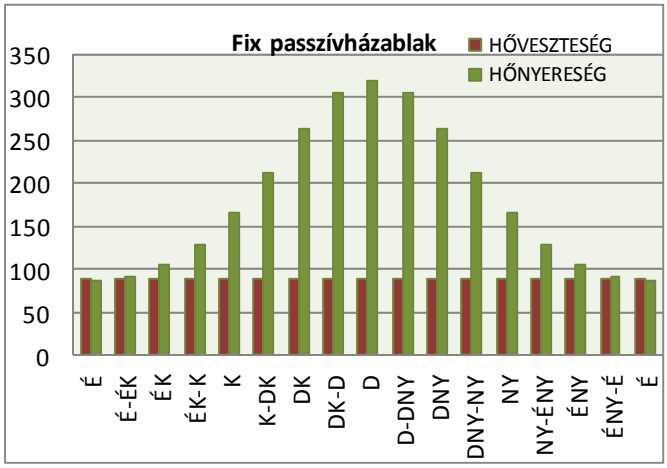
- keretszerkezet: REHAU GENEO szerkezet, ahol a keret hőátbocsátási tényezője U_f = 0,780 W/m^{2}K, a keret (tok+szárny együttes) szélessége: 11,1 cm
- üvegezés: 3 rétegű, low-E bevonat, nemesgáztöltés, hőátbocsátási tényező: U_g = 0,390 W/m^{2}K, összesített sugárzásátbocsátó képesség: g = 0,490, hőhíd-

veszteség az üvegezés távtartójánál (műanyag): $\Psi_{üveg}$ = 0,030 W/mK
- beépítés: hőhídmentes (ablak falsíkon kívül, a hőszigetelés rátakar), ahol a vonalmenti hőhídveszteség a beépítésnél: $\Psi_{beép}$ = 0,000 W/mK.



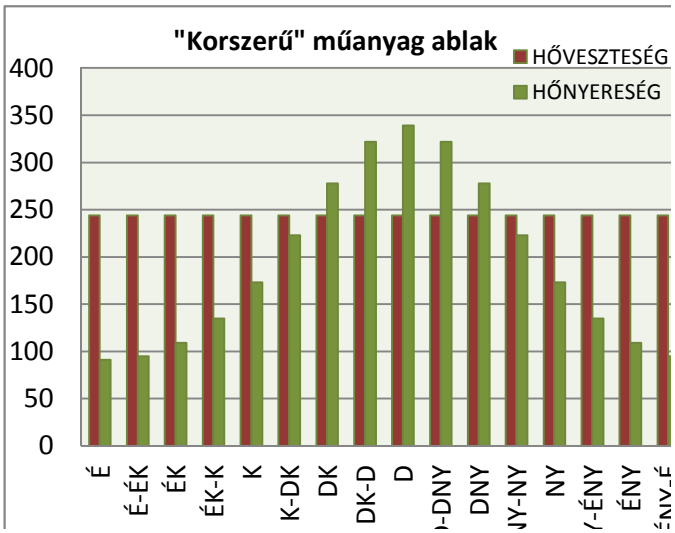
3. ábra: *Nyíló passzívházablak éves hőveszteségének és hőnyereségének összehasonlítása a tájolás függvényében*

Az egyes egységnyi ablakok energiamérlege a 3. ábra szerint alakult. Látható, hogy az ÉK és ÉNy tájolások között (azaz mintegy 270 fokos szögtartományban) tekinthetők nyereségesnek az ablakok.



4. ábra: *Fix passzívház-ablak éves hőveszteségének és hőnyereségének összehasonlítása a tájolás függvényében*

Mivel az energiamérleg jobb a fix ablakokra (nagyobb üvegfelület több beeső fényt jelent, illetve a keret U értéke a passzívház-ablakoknál jellemzően roszabb, mint az üvegezésé), a számítást elvégeztem ugyanerre a szerkezetre fix ablakok esetén is. Az adatok ugyanazok, az eltérés a keretszélességben van, amely csupán 7,0 cm. A 4. ábrán látható, hogy a hőveszteség jelentéktelen mértékben lett kisebb, a nagyobb üvegfelület miatt azonban a hőnyereség javult, tehát az egyensúlyi állapot olyannyira eltolódott a kedvezőtlenebb égtáj felé, hogy az ablakok gyakorlatilag szinte 360°-os szögtartományban energiagyűjtőnek tekinthetők, de legalábbis nem veszteségesek É-ÉK és ÉNy-É égtájak között sem. Tehát bizonyos paraméterek és feltételek (árnyékolás!) esetén akár É-i irányban sem lesz veszteséges az ablak. Mindazonáltal láthatjuk, hogy az ÉK-ÉNy irányú nyílászárókat itt is csökkentenünk érdemes a jobb tájolásúak javára, ha az épület geometriája engedi.



5. ábra: *„Korszerű" nyíló műanyag ablak éves hőveszteségének és hőnyereségének összehasonlítása a tájolás függvényében*

Azért, hogy az eredmények összevethetők legyenek a mai átlagos szerkezetekkel, kiválasztottam egy szokványos ablaktípust, és elvégeztem a számításokat arra is. Az ablak átlagos hőátbocsátási tényezője 1,46 W/m^{2}K lett, ami a Magyarországon érvényes jelenlegi követelményértéknek (1,6 W/m^{2}K) megfelel.

- az ablak nyíló, a keretszerkezet szokványos műanyag szerkezet, ahol a keret hőátbocsátási tényezője U_f = 1,60 W/m^{2}K, a keret szélessége: 14,0 cm,
- üvegezés: 2 rétegű, low-E bevonat, nemesgáztöltés, U_g=1,10 W/m^{2}K, g = 0,650, hőhídveszteség az üvegezés távtartójánál (alumínium): $\Psi_{üveg}$ = 0,040 W/mK
- beépítés: nem hőhídmentes (a hőszigetelés a tokra nem takar rá), ahol a vonalmenti hőhídveszteség a beépítésnél: $\Psi_{beép}$ = 0,030 W/mK.

A kapott eredmény (5. ábra) jelentősen eltér az eddigiektől: csupán egy kb.

115°-os szögtartományban nyereséges az ablak, a veszteségek mértéke pedig igen jelentős, hiába a kissé nagyobb beeső energia.

5. Eredmények, összefoglalás

A fenti esettanulmány példáján láthatjuk, hogy akár 1/3-ával is csökkenthető a fűtési energiaköltség a kedvezőbb tájolás esetén. Természetesen minden épület külön vizsgálandó, és az energiaszükségletet nagyon sok tényező befolyásolja - az épület geometriája, a határoló szerkezetek hőátbocsátási képessége, a hőhidasság, a szellőz(tet)és módja, a nyílászárók és a környezet (árnyékolás, kitettség, klíma stb.). Egy passzívház esetén azonban minden apró részletnek jelentős befolyása van a végeredményre. A PHPP számítás lehetőséget ad mindennek a beszámítására és arra, hogy az adatok többszöri átfuttatásával optimalizáljuk az épületünket.

Nagyon fontos, hogy egy passzívház esetén a nyílászárók méretét, helyzetét, szerkezetét, beépítését olyan módon határozzuk meg, hogy az energiaszükséglet minél nagyobb hányadát fedezni tudjuk szoláris energiával. Ez ugyanis a megújuló energiaforrások (jelen esetben napenergia) legolcsóbb hasznosítási módja - hiszen a nyílászárókat mindenképpen beépítenénk, de egyáltalán nem mindegy, hogyan. Megfelelő szerkezetválasztással kedvezőtlen tájolás esetén is nyereséges lehet az ablakok energiamérlege, és kedvező épülettömeggel valamint megfelelő határoló szerkezetekkel ilyen esetben is építhető passzívház, bár kétségkívül törekedni kell arra, hogy minél nagyobb legyen a kedvező helyzetű üvegezett felületek aránya.

Könnyebb a dolgunk, ha az általunk alkalmazni kívánt nyílászáróknak ismerjük azokat a tulajdonságait, hogy mely tájolás esetén számíthatunk nyereségre, és mennyire. Ezek az értékek erősen függnek a nyílászáró adataitól (névleges méret, keretszélesség, U_f, U_g, g, $\Psi_{üveg}$, $\Psi_{beép}$). A nyereség kiszámolása a PHPP segítségével lehetséges, de a fenti diagramok megalkotása, hogy az értékek egyszerűen átláthatók legyenek, hosszadalmas kézi munkát igényel. Szerencsés lenne, ha egy-egy ablakszerkezet kiválasztásakor a PHPP program meg tudná adni azt a grafikont, amely könnyen átláthatóan ábrázolja az adott nyílászáró tájolással összefüggő energiamérlegét, vagy esetleg a gyártói adatlapokon, prospektusokon szerepelne az ezt bemutató ábra, mely a tervezés segítése mellett a különböző nyílászárók összehasonlítását is biztosítaná - esetleg a jövőben valamiféle kategóriába sorolást is lehetővé téve.

6. Irodalomjegyzék

[1] Feist, W. et al.: *Passzívház tervezési csomag 2007*, Passzívház Mérnöki Tanácsadó Osztrák-Magyar Kft., Gödöllő, 2008. pp. 14-15, pp. 61-76.

[2] Baumann, M. et al.: *Az új épületenergetikai szabályozás*, Bausoft, Pécsvárad, 2003. pp. 61-63.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 267-274.

FÉL-MEREV OSZLOPTALPAK TERVEZÉSE AZ EUROCODE 3 SZABVÁNY SZERINT

Viczián Csaba
Tanársegéd
Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Építőmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
viczian.csaba@gmail.com

Összefoglalás

Merevségük alapján az Eurocode 3 szabvány előírásai szerint az oszloptalpak három csoportba sorolhatók: csuklós, fél-merev és merev csomópont. A négy csavarral kialakított oszloptalpak esetén a szabvány előírásait követve az oszloptalpak teherbírása és merevsége egyértelműen meghatározható. Merevségük szerint ezek a csomópontok általában a fél-merev kategóriába tartoznak. Ez a cikk rövid összefoglalása a négy csavarral kialakított oszloptalpak tervezésére vonatkozó előírásoknak és számítási eljárásnak.

Kulcsszavak: *oszloptalp, teherbírás, elfordulási merevség, fél-merev.*

Abstract

According to the Eurocode 3 standard the column bases are considered „pinned", „semi-continuous" or „rigid" connection. The design resistance and rotational stiffness of column bases with four anchor bolts should be calculated applying the method by standard. These column bases usually can be considered semi-continuous connections. This paper summarizes the design rules and calculation procedure of semi-continuous column bases.

Keywords: *column base, design resistance, rotational stiffness, semi-continuous.*

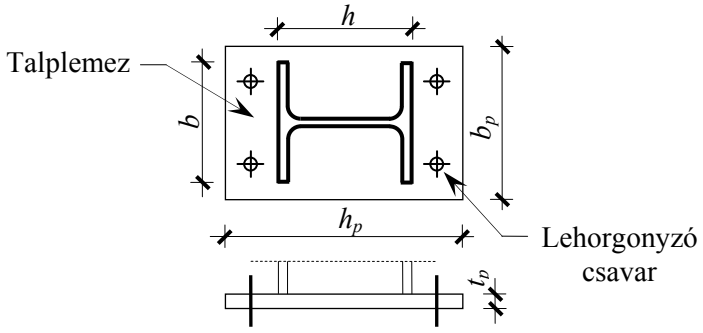
1. Bevezetés

Homloklemezzel kialakított oszloptalpak modellezésére és kialakítására vonatkozóan a mérnöki gyakorlatban alapvetően két féle megoldási mód létezett: csuklós és merev talpcsomópont. Csuklós kapcsolatnak a két csavarral, merev kapcsolatnak a négy csavarral kialakított oszloptalpakat tekintették. A kialakult „szerkesztési szabályok" betartása mellett a talpcsomópont merevségi viszonyaira vonatkozó számítás nem volt előírás. Az Eurocode 3 szabvány a korábbi mérnöki gyakorlattól eltérően előírja a talpcsomópontok merevségi viszonyainak vizsgálatát is. Merevségük alapján az oszloptalpak három osztályba sorolhatók: csuklós, fél-merev és merev talpcsomópont. A szabvány konkrét számítási eljárást tartalmaz - az ún. „komponens módszert" - a talpcsomópontok teherbírásának és merevségének meghatározására vonatkozóan [1]. Előszámítások eredményei alapján a négy csavarral

kialakított oszloptalpak (1. ábra) merevségük alapján szinte kizárólag a fél-merev kategóriába sorolhatók.

Fél-merev talpcsomópontokkal tervezett keretszerkezetek globális erőtani számítását bonyolítja, hogy a csomópontok elfordulásait figyelembe kell venni. Az oszloptalpak merevségi viszonyai visszahatnak a talpcsomópont teherbírására, valamint ez által a teljes keretszerkezet erőjátékát is befolyásolják.

Cikkünkben összefoglaljuk a merevségük alapján fél-merevnek minősülő négy csavarral kialakított oszloptalpak tervezésére vonatkozó általános előírásokat, ismertetjük a számítási eljárás lépéseit. Javaslatot teszünk a fél-merev talpkapcsolatokat tartalmazó keretszerkezetek tervezési folyamatának elvégzésére.



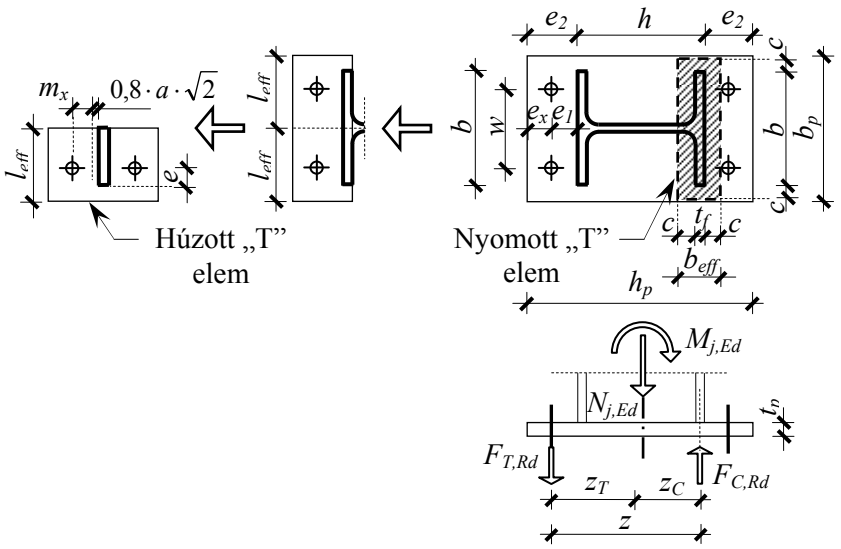
1. ábra. *Négy csavarral kialakított oszloptalp.*

2. Oszloptalpak teherbírásának meghatározása

Az oszloptalpak teherbírásának meghatározására vonatkozóan az EN 1993-1-8 szabvány közelítő számítási eljárást tartalmaz, amelyet komponens módszernek neveznek. A komponens módszer lényege, hogy a homloklemezes kapcsolatokat az alkotó komponensek együtteseként kezeli. Oszloptalpak esetén a komponensek az alábbiak: a nyomott zóna, amely tartalmazza az alaptest pecsétnyomásnak kitett részét és a talplemez nyomott részét; a húzott zóna, amely a húzott lehorgonyzó csavarokból és a hajlított talplemezből áll. Talplemez esetén az oszlop nyomott övlemeze alatt elhelyezkedő nyomott T-elem, valamint az oszlop húzott övlemezéből és a hozzá csatlakozó talplemezből álló húzott T-elem effektív méreteit a szabvány előírásai alapján lehet meghatározni.

A nyomott T-elem effektív méreteit (2. ábra) úgy kapjuk, hogy az oszlop nyomott övlemezét minden irányban egy, a szabvány szerint meghatározott értékkel (c) növeljük, amennyiben a talplemez felvett méretei ezt lehetővé teszik:

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{y,p}}{3 \cdot f_{j,d} \cdot \gamma_{M0}}} \tag{1}$$



2. ábra. *Oszloptalp komponensek.*

Az alap nyomószilárdságának tervezési értékét (f_{jd}) az EN 1992-1-1 szabvány előírásai szerint pecsétnyomásként számolhatjuk, feltételezve, hogy az alaptest méretei lehetővé teszik a nyomott T-elem által meghatározott felületen egyenletesen megoszló erő megfelelő szétterjedését az alaptestben [3]. A koncentrált erőként értelmezett teherbírás ennek megfelelően:

$$F_{R,du} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = 3{,}0 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} = 3{,}0 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff,c} \cdot l_{eff,c} \tag{2}$$

Az alap nyomószilárdságának tervezési értéke pecsétnyomásként számolva a koncentrált erőként értelmezett teherbírás alapján:

$$f_{j,d} = \frac{\beta_j \cdot F_{R,du}}{b_{eff,c} \cdot l_{eff,c}} \tag{3}$$

A (7) és (8) egyenlet alapján az alap nyomószilárdságának tervezési értéke pecsétnyomásként számolva kifejezhető a beton nyomószilárdságának tervezési értéke függvényében:

$$f_{j,d} = 2 \cdot f_{cd} \tag{4}$$

A nyomott T-elem effektív méretének ismeretében meghatározható a talp-

csomópont nyomási ellenállása az alábbiak szerint:

$$F_{C,Rd} = f_{j,d} \cdot l_{eff,c} \cdot b_{eff,c} \tag{5}$$

A talpcsomópont nyomási ellenállása központos nyomás esetén valamennyi nyomott T-elem - az oszlop két övlemeze és a gerinclemeze alatti T-elem - ellenállásának összegeként adható meg. Keretszerkezetek esetében, mivel a normálerő mellett jelentős nyomatékkal is számolunk, a talpcsomópontok nyomási ellenállása jól közelíthető az oszlop nyomott öve alatti T-elem nyomási ellenállásával.

A húzott T-elem effektív méretei (2. ábra) hasonló elven határozható meg, mint az általános homloklemezes kapcsolatok esetén:

$$l_{eff,t} = min\begin{Bmatrix} 4 \cdot m_x + 1{,}25 \cdot e_x \\ e + 2 \cdot m_x + 0{,}625 \cdot e_x \\ 0{,}5 \cdot b_p \\ 0{,}5 \cdot w + 2 \cdot m_x + 0{,}625 \cdot e_x \\ 2 \cdot \pi \cdot m_x \\ \pi \cdot m_x + w \\ \pi \cdot m_x + 2 \cdot e \end{Bmatrix} \tag{6}$$

Általános esetben a húzott T-elem effektív hossza a talplemez szélesség fele ($l_{eff,t}=0{,}5 \cdot b_p$) [4]. A helyettesítő T-elem húzási ellenállása hasonlóan számítható, mint az általános homloklemezes kapcsolatok esetében, annyi különbséggel, hogy nem feltételezhetjük az emelőerő létrejöttét a talplemez és a beton alaptest között. Ennek megfelelően a húzási ellenállás a hajlított talplemez és a lehorgonyzó csavarok teherbírása alapján határozható meg az alábbiak szerint:

$$F_{T,Rd} = \begin{Bmatrix} \dfrac{l_{eff,t} \cdot {t_p}^2 \cdot f_{y,p}}{2 \cdot m_x \cdot \gamma_{M0}} \\ \sum 0{,}9 \cdot \dfrac{A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} \end{Bmatrix} \tag{7}$$

A nyomott és húzott helyettesítő T-elemek ellenállásának ismeretében meghatározható a talpcsomópont hajlítási ellenállása:

$$M_{j,Rd} = \begin{Bmatrix} \dfrac{F_{T,Rd} \cdot z}{1 - |z_C| / e_j} \\ \dfrac{F_{C,Rd} \cdot z}{1 + |z_T| / e_j} \end{Bmatrix} \tag{8}$$

A külpontosság mértéke szabvány szerint az alábbiak szerint definiálható:

$$e_j = \frac{M_{j,Ed}}{N_{j,Ed}} = \frac{M_{j,Rd}}{N_{j,Rd}} \tag{9}$$

3. Oszloptalpak elfordulási merevségének meghatározása

Talpcsomópontok esetén az elfordulási merevség kezdeti értékét ($S_{j,ini}$) a csomóponti komponensek merevségeinek összege adja. A komponensek a következők: az alaptestet alkotó beton, a hajlított talplemez és a lehorgonyzó csavarok. Az egyes komponensek merevségi tényezői a következők szerint definiálhatók [5]:

- Az alaptestet alkotó beton összenyomódása:

$$k_{13} = \frac{E_C \cdot \sqrt{l_{eff,c} \cdot b_{eff,c}}}{1{,}275 \cdot E} \tag{10}$$

- Hajlított talplemez alakváltozása:

$$k_{15} = \frac{0{,}425 \cdot l_{eff,t} \cdot {t_p}^3}{{m_x}^3} \tag{11}$$

- A lehorgonyzó csavarok megnyúlása:

$$k_{16} = 2{,}0 \frac{A_s}{L_b} \tag{12}$$

Az egyes komponensek merevségi tényezői ismeretében meghatározható a húzott- és nyomott oldali merevségi tényező:

$$k_T = \frac{k_{15} \cdot k_{16}}{k_{15} + k_{16}}, \quad k_C = k_{13} \tag{13}$$

A merevségi tényezők alapján a csomópont elfordulási merevségének kezdeti értéke:

$$S_{j,ini} = \frac{E \cdot z^2}{\sum \frac{1}{k_i}} \cdot \frac{e_j}{e_j + e_k} \tag{14}$$

ahol:

$$e_k = \frac{z_C \cdot k_C - z_T \cdot k_T}{z_C + z_T} \tag{15}$$

4. Fél-merev talpcsomópontok tervezésének folyamata

Egy oszloptalpon fellépő igénybevétel (nyomaték) értéke attól függ, hogy mekkora a csomópont merevsége. Azaz adott nyomaték hatására mekkora elfordulás jön létre. Tehát nem tudjuk egy lépésben meghatározni a talp szükséges méreteit, mert az attól is függ, hogy a merevség hogyan módosítja az igénybevételt.

Adott tervezési feladat esetén abból a feltételezésből célszerű kiindulni, hogy a talpcsomópont merev. Merev talpcsomópont feltételezése mellett meghatározhatók a szerkezet igénybevételei, beleértve az oszloptalpra ható igénybevételeket is. Az oszloptalpra ható igénybevételek - normálerő, nyomaték – alapján a cikk 2. fejezetében leírt számítási eljárás segítségével felvehető egy megfelelő oszloptalp kialakítás, melynek hajlítási ellenállása közel azonos az oszloptalpra ható nyomaték tervezési értékével, illetve csak kis mértékben haladja meg azt ($M_{j,Rd} \geq M_{j,Ed}$). A felvett talpcsomópontnak meghatározható a kezdeti merevsége a cikk 3. fejezetében leírt algoritmus segítségével. Ez a merevség jóval kisebb lesz a kiindulásként feltételezett merevségnél, ennek megfelelően a globális erőtani számítást meg kell ismételni a tényleges merevség figyelembe vételével. Az erőtani számítás elvégzése során a talpcsomópont elfordulási merevsége az alábbi összefüggéssel közelíthető:

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{3} \tag{16}$$

Az ismételt globális erőtani számítás eredményeit alapul véve újra elvégezhető a talplemez méretfelvétele, valamint a merevségének meghatározása. Ezt az iterációs eljárást addig kell folytatni, amíg a különbség - tervezési szempontból - elhanyagolhatóvá válik.

Az 1. táblázat összefoglalja egy konkrét keretszerkezet vizsgálata esetén a talpcsomópont tervezési folyamatának iterációs lépései során kapott eredményeket. A portál keret befoglaló geometriai méretei: fesztáv 18,0 m, keretváll magasság 5,8 m, tető hajlásszög 17°. A keretoszlop szelvényét közelítő számítással HEA-300 szelvényméretre vettük fel.

A szabvány konkrét határértéket ad arra vonatkozóan, hogy nem merevített kereteknél mely esetben tekinthetjük merevsége alapján a talpcsomópontot merevnek:

$$S_{j,ini} \geq 30 \cdot \frac{E \cdot I_c}{L_c} \tag{17}$$

A megadott határérték alapján ellenőrizhetjük a talpcsomópont fél-merev jellegét:

$$S_{j,ini} = 67896\,\text{kNm/rad} < 30 \cdot \frac{E \cdot I_c}{L_c} = 30 \cdot \frac{2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 1{,}826 \cdot 10^8}{5{,}8 \cdot 10^3} \cdot \frac{1}{10^6} = 198341\,\text{kNm/rad} \tag{18}$$

1. táblázat. *Az iterációs számítási eljárás eredményei*

Iterációs lépés száma	$M_{j,Ed}$ [kNm]	Talplemez mérete (sz/h/v) [mm]	Csavar	$M_{j,Rd}$ [kNm]	S_j [kNm/rad]
1	202,59	320x500x34	M30-8.8	211,75	22632
2	118,28	320x460x22	M24-8.8	126,89	17663
3	105,91	320x460x22	M22-8.8	111,23	16951
4	103,83	320x460x22	M22-8.8	111,71	17004
5	103,99	-	-	-	-

Az iterációs számítási eljárás eredményei szerint a talpcsomópontra ható nyomaték végső értéke a kezdeti érték 51%-ára, a merevség végső értéke pedig a kezdeti érték 75%-ára csökkent. Különböző fesztávolságú és vállmagasságú portál keretek esetén végzett számítások eredményei alapján a talpcsomópontra ható nyomaték végső értéke a kezdeti érték 47-64%-ára, a merevség végső értéke pedig a kezdeti érték 66-84%-ára adódott.

5. Összefoglalás

A négy lehorgonyzó csavarral kialakított oszloptalpak nyomatéki teherbírását és merevségét - melyek meghatározására az EN 1993-1-8 szabvány konkrét számítási eljárást tartalmaz - az alkalmazott anyagminőségeken kívül a csavarok átmérője, valamint a talplemez vastagsága és túlnyúlása határozza meg. Merevségük alapján ezek az oszloptalpak a fél-merev kategóriába sorolhatók, ennek megfelelően olyan szerkezetek erőtani vizsgálatánál, melyekben négy csavarral kialakított oszloptalpak vannak, a talpcsomópontok elfordulását figyelembe kell venni.

Az oszloptalpak méretezése egy iterációs számítási eljárás alkalmazásával végezhető el, melynek első lépéseként merev talpcsomópontot feltételezünk, és az így kapott igénybevételek alapján vesszük fel az oszloptalp méreteit, valamint hatá-

rozzuk meg a talpcsomópont merevségét, majd a tényleges elfordulási merevség figyelembevételével ismételjük meg a számítást mindaddig, amíg az eltérés elhanyagolhatóvá válik.

6. Irodalomjegyzék

[1] EUROCODE 3: *Design of steel structures* – Part 1-8: Design of joints. Brussels 2005.

[2] Fernezelyi S., *Homloklemezes kapcsolatok tervezése*, Építés- Építészettudomány 37. kötet, 3-4. szám 2009. szeptember, 265-310. o.

[3] EUROCODE 2: *Design of concrete structures* – Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels 2004. pp. 105-106.

[4] Fernezelyi S., *Simplified method for design of bolted connections based on Eurocode 3*, Proceedings of 5th Conference on Steel and Composite Structures, Vol. 1, Graz, 2008., pp. 573-578.

[5] Wald F., Sokol Z., Steenhuis M., Jaspart J., *Component method for steel column bases*, HERON Vol. 53, 2008., pp. 3-20.

Jelölések

A_s – lehorgonyzó csavar húzási keresztmetszete,
$b_{eff,c}$ – nyomott T-elem effektív szélessége,
b_p – talplemez szélessége,
e – csavar távolsága az övlemez végétől (lásd. 2. ábra),
E – acél rugalmassági modulusa, E=210000 N/mm^2,
E_c – alaptestet alkotó beton rugalmassági modulusa,
e_j – külpontosság mértéke,
e_x – csavar távolsága a talplemez szélétől,
f_{cd} – beton nyomószilárdságának tervezési értéke,
$f_{j,d}$ – alap nyomószilárdságának tervezési értéke (pecsétnyomásként számolva),
f_{ub} – csavar szakítószilárdságának tervezési értéke,
$f_{y,p}$ – talplemez folyáshatárának tervezési értéke,
I_c – oszlop inercianyomatéka,
L_b – lehorgonyzó csavar nyúlási hossza, $L_b \approx 10 - 11 \cdot d$,
L_c – oszlop magassága,
$l_{eff,c}$ – nyomott T-elem effektív hosszúsága,
$l_{eff,t}$ – húzott T-elem effektív hossza,
m_x – csavar távolsága az oszlop övlemezétől (lásd. 2. ábra),
t_p – talplemez vastagsága,
w – két csavar távolsága,
z – húzó- és nyomóerőből álló erőpár erőkarja (lásd. 2. ábra),
z_C, z_T – húzó- és nyomóerő távolsága az oszlop hossztengelyétől (lásd. 2. ábra),
β_j – módosító tényező, értéke: 2/3,
γ_{M0} – szilárdsági vizsgálatokhoz tartozó biztonsági tényező, értéke: 1,00,
γ_{M2} – csavarok képlékeny töréséhez tartozó biztonsági tényező, értéke: 1,25.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 275-282.

PRÓBAMÉRÉSEK TEREPI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT KÖNNYŰ EJTŐSÚLYOS DINAMIKUS TERHELŐTÁRCSÁVAL

Makó Ágnes
PhD hallgató, I. évfolyam
Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási intézet,
Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék
3515 Miskolc-Egyetemváros
makoagnes@gmail.com

Összefoglalás

A Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kara által beszerzett ZORN, ZFG 3000 GPS típusú, könnyű ejtősúlyos dinamikus terhelőtárcsás terepi mérőberendezés a talajkutatások egyik fontos eszköze. Az eszközt a gyakorlati használatban különböző földművek (gátak, út- és épületalapok) tömörödöttségi állapotainak vizsgálatára szolgál. Ez a dinamikus ejtősúlyos teherbírásmérő berendezés fokozatosan terjed nem csak a világon, hanem hazánkban is ezért fontosnak tartjuk az eszköz minél pontosabb megismerését.

Kulcsszavak: *Alakváltozás, rugalmassági modulus, dinamikus terhelőtárcsa, teherbírásmérő, talaj*

Abstract

The University of Miskolc, Faculty of Earth Science, obtained by Zorn, ZFG 3000 GPS-type, Light Falling Weight Deflectometer is an important tool of the soil researches. These tools are used for examination of the compaction state of various earthworks (embankments, roads and building base). We use the dynamic falling weight equipment gradually spread not only in the world, but also in Hungary.

Keywords: *Deformation, resilient modulus, dynamic loading measurement, soil*

1. A talaj teherbírása és alakváltozása

A talaj, mint anyag, terhelés hatására a többi szilárd építőanyagtól egészen eltérő módon viselkedik: kezdetben a szilárdsági tulajdonságai nőnek, terhelés hatására tömörödik, konszolidálódik, s ez fokozza a teherbírást. Ez azonban csak egy bizonyos határig van így, s a terhelés növelésével a feszültségek egyre jobban meghaladják a maximálisan kialakítható szilárdsági tényezőket és a talaj tönkremegy [1].

Az elemi derékszögű hasáb két, szemben levő lapján, melynek oldalai párhuzamosak a koordinátatengellyel, a σ_x egyenletesen megoszló feszültség működik. Izotróp anyag esetén a fajlagos alakváltozás [2]:

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} \tag{1}$$

A (1) képletben szereplő E értéket rugalmassági modulusnak neveztük, mely azt az elméleti feszültséget jelenti, melynek hatására egységnyi fajlagos alakváltozás következik be.

A síkbeli rugalmassági modulus – egy *r* sugarú hengeres talajminta esetén – egytengelyű nyomókísérletből az alábbi egyszerű összefüggéssel számítható:

$$E = (1-\nu^2) \cdot \frac{1}{2 \cdot r} \cdot \frac{F}{z} \tag{2}$$

Ahol:

– ν	–	Poisson-tényező (-),
– r	–	a hengeres minta sugara (mm),
– F	–	terhelőerő (N),
– z	–	alakváltozás (mm).

Állandó terhelőfeszültség mellett ($\sigma = F/r^2\pi$) az alábbi egyszerű összefüggés adódik.

$$E = (1-\nu^2) \cdot \frac{r \cdot \pi}{2} \cdot \frac{\sigma}{z} \tag{3}$$

A klasszikus talajmechanika a rugalmassági modulus helyett inkább a kompressziós (összenyomódási) modulust használja.

Az összenyomódási modulus (E_S) számítható a rugalmassági modulusból is a Poisson-tényező segítségével.

$$E_s = \frac{\left(1-\nu^2\right)}{1-2\nu} \cdot \frac{r \cdot \pi}{2} \cdot \frac{\sigma}{z} = \frac{\left(1-\nu\right)}{\left(1+\nu\right)\left(1-2\nu\right)} \cdot E \tag{4}$$

A talaj σ-ε görbéje nem lineáris, és a gyakorlatban nem határozzuk meg a teljes görbét. E helyett azt diszkrét mérési pontok segítségével vesszük fel. Így a teherbírási modulus számításakor egy tulajdonképpeni húr-modulust vezetünk, melyet az alakváltozási, vagy teherbírási modulus (E_A) jellemez [3].

$$E_a = \left(1-\nu^2\right) \cdot \frac{r \cdot \pi}{2} \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta z} \tag{5}$$

2. Könnyű ejtősúlyos dinamikus terhelőtárcsával végzett próba–mérések

A Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kara által beszerzett ZORN, ZFG 3000 GPS típusú, könnyű ejtősúlyos dinamikus terhelőtárcsás terepi mérőberendezés a talajkutatások egyik fontos eszköze. Az eszközt a gyakorlati használatban különböző földművek (gátak, út- és épületalapok) tömörödöttségi állapotainak vizsgálatára szolgál.

2.1 A ZORN, ZFG 3000 GPS könnyű ejtősúlyos dinamikus terhelőtárcsa bemutatása

Műszaki leírás

Az eszköz GPS vevővel van ellátva a terepi mérések adatainak koordinátához rendelésének megkönnyítése érdekében. A mérőberendezés főbb tulajdonságai:

- ejtősúly tömege: m = 10 kg
- ejtési magasság: h = 720 mm
- terhelőtárcsa átmérője: d = 300 mm

Az eszköz által rögzített adatok

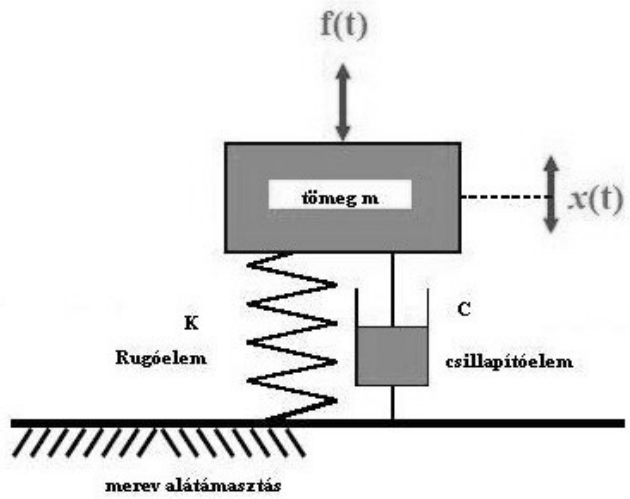
- s	–	behajlás	[mm]
- v	–	sebesség	[mm/s]
- s/v	–	behajlás / sebesség	[ms]
- E_{vd}	–	dinamikus alakváltozási tényező	[MN/m^2]

Mérés elméleti áttekintése

Lényeges különbség a statikus és a dinamikus mérés között, hogy a statikus mérés során a tárcsára közvetlenül adjuk a terhelést, míg a dinamikus teherbírásmérés során az m tömegű súly ejtése során a helyzeti energia közvetítőelemeken keresztül alakul át dinamikus, rövid ideig tartó terheléssé [4].

A teherátadás elméleti modellje szerint az ejtésből származó F_{max} terhelést egy Kelvin-Voight-féle, *K* tényezőjű rugóból és egy *c* tényezőjű csillapítóelemből álló rendszer közvetíti a tárcsára majd azon keresztül a talajra (**1. ábra**).

Ennek a komplex csillapításnak a megfelelő beállítása szükséges ahhoz, hogy a talajra kb. 18-20 ms időtartamban hasson a terhelés. Korábbi vizsgálatok szerint ez az az időtartam, amely alatt egy 60 km/h-val haladó nehézgépjármű kereke elhalad és terhelést ébreszt a földműben és a pályaszerkezetben [3].



1. ábra *A teherátadás elméleti modellje*

2.2 Terepi mérések

A méréseket a Miskolci Egyetem környékén kollegáim – Fejes Zoltán, Kántor Tamás és Lux Marcell – három különböző helyen végeztük.

Az **1.** számmal jelölt terület egy régi, salakos teniszpálya a Kémiai Kutatóintézet mögött. A teniszpálya salakja az előzetes feltevések szerint tömörítve volt, ezért itt a laborvizsgálatok alapján nagyobb E_{vd} értékekre számítottunk, mint a tömörítetlen talajokon. A pályát a növényzet már benőtte, a mérési pontokon azonban ez eltávolításra került.

A **2.** számmal jelölt terület a Kémiai Kutatóintézettel szemben található füves terület, amely a mérést megelőző napok esőzései miatt erősen felázott. A talaj agyagos és vízzel telített volt. Itt a méréseket elvégeztük a növénytakaró eltávolításával és anélkül is.

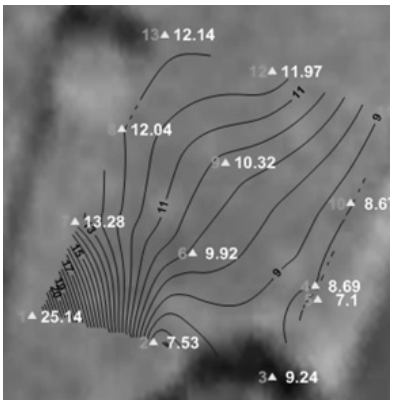
A **3.** mérési terület az egyetemi étterem előtt található letaposott terület, gyér növényborítottsággal, agyagos, a mérés idején magas víztartalmú talajjal.

2.3 Mérési eredmények bemutatása

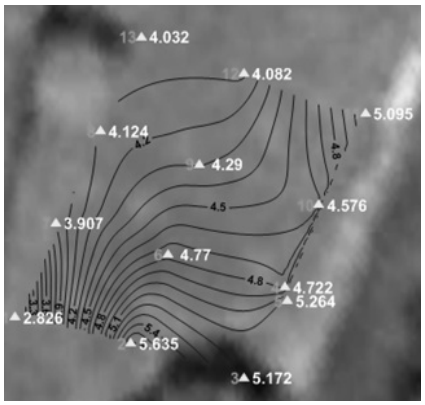
1. Salakpálya

A salakpályán a méréseket 3X4-es rácshálóban végeztük, ennek megfelelően az E_{vd} illetve *s/v* értékekből izovonalas térképeket készítettünk. Ezeket a **2.** és **3. ábra** mutatja.

Az **1.** mérési pontban a kiugró értékeket a felszín alatt kb. 2-3 centiméterre található nagyméretű szilárd kőtest okozta.



2. ábra *Dinamikus alakváltozási tényezők (E_{vd}) térképe*



3. ábra *Alakváltozási idők térképe (milliszekundumban)*

A salakpályán a fenti méréseket száraz időszakban végeztük, majd egy nagyobb esőzést követően három ponton (3, 7, 8 pontok) megismételtük a méréseket, a víztartalom hatásának vizsgálatára. A kapott eredményeket az ***1. táblázatban*** foglaltuk össze. Ebből látható, hogy a víztartalom növekedése az E_{vd} értékének csökkenését vonta maga után. A víztartalom és az E_{vd} értékek kapcsolatának vizsgálatához több mérés szükséges. A továbbiakban különböző nedvességtartalmú, de azonos típusú talajokon tervezzük a mérések végrehajtását a víztartalom hatásának vizsgálatához.

1. táblázat *Víztartalom hatása az E_{vd} értékre*

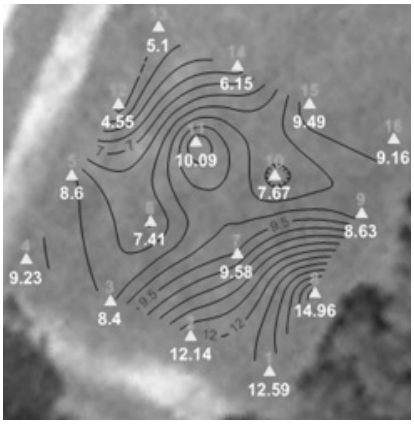
Mérés sorszáma	**Esőzés előtt**			**Esőzés után**		
	w [%]	**s/v [ms]**	**E_{vd} [MPa]**	**w [%]**	**s/v [ms]**	**E_{vd} [MPa]**
3	23,47	5,172	9,24	34,43	5,575	8,79
7	7,59	3,907	13,28	31,72	5,234	9,07
8	7,63	4,124	12,04	28,97	4,89	9,14

2. Füves, vizes terület

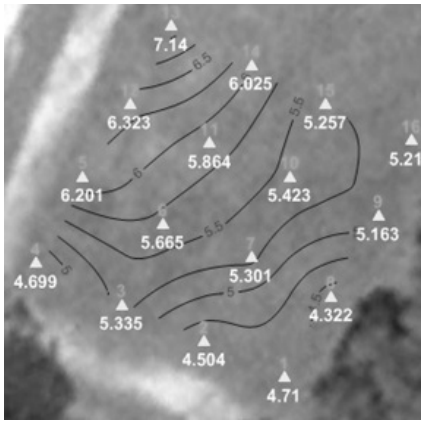
Ezen a területen a méréseket egy vonal mentén végeztük. Az első mérési sorozatot a fű eltávolítása nélkül hajtottuk végre (F-jelű mérések), majd azzal párhuzamosan a mérési pontoktól kb. egy méter távolságban egy újabb sorozatot mértünk a fű eltávolításával (FN-jelű mérések).

A kapott értékek alapján nem lehet egyértelműen megállapítani a növényzet hatását a mérési eredményekre, mivel az eltérés nagysága nem jelentős illetve az eltérés iránya sem egyöntetű.

Ugyanezen a területen egy 10 m x 10 m oldalhosszúságú cellákból álló rácsháló pontjaiban végeztünk 16 db mérést, melyek eredményei a 4. és 5. ábrán láthatók.



4. ábra *Dinamikus alakváltozási tényezők (Evd) térképe*



5. ábra *Alakváltozási idők térképe (milliszekundumban)*

3. Letaposott terület

Ez a terület egy gyalogosok által letaposott rész az egyetemi étterem előtt, növényborítottsága ritka. Méréseinket 5 ponton végeztük, véletlenszerű eloszlásban olyan helyeken, ahol nem volt növényzet.

2.4 Ejtési magasság változtatása

Szakemberek segítségével megoldottuk, hogy a ZFG 3000 GPS típusú könnyű ejtősúlyos teherbírásmérő ejtési magassága változtatható legyen egy úgynevezett szekunder ejtéskapcsolóval.

A fenti fejezetben említett Boussinesq által felállított összefüggés alkalmazhatósága érvényben maradt, de az eszköz által szolgáltatott adatok korrigálása szükségessé vált.

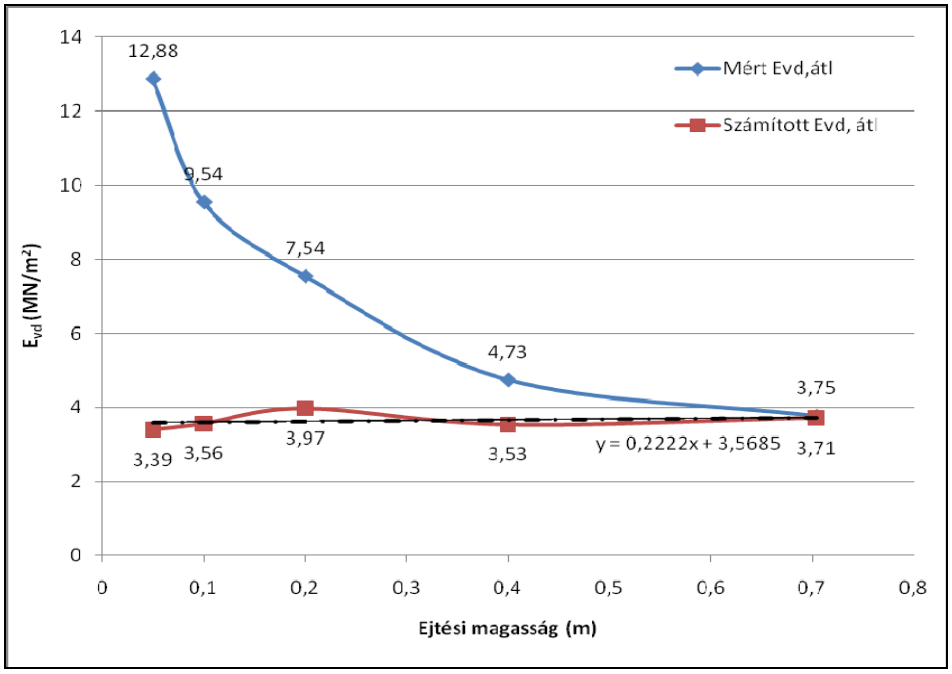
$$K = \frac{\left(\frac{E_{din} \cdot s \cdot A}{c \cdot (1-\nu)^2 \cdot R} \right)^2}{2 \cdot m \cdot g \cdot h} \qquad (6)$$

Az elmúlt egy évben közel 600 mérést végeztünk az eszközzel, ezekből az eredményekből kapott K értékek adatfeldolgozásra kerültek és a továbbiakban $K=5{,}16*10^{-6}$ N/m értékkel számoltam tovább.

Kollégáim öt különböző ejtési magassággal végeztek próbaméréseket. Az eszköz által mért eredmények, és a számított értékeket a következő táblázat tartalmazza, illetve a 6. ábrán látható.

2. táblázat *Az eszköz által mért és a valós értékek*

h (m)	Mért $E_{vd,átl}$ (MN/m^2)	Számított $E_{vd,átl}$ (MN/m^2)
0,05	12,877	3,393
0,1	9,543	3,557
0,2	7,537	3,973
0,4	4,7333	3,530
0,704	3,753	3,713



6. ábra *Mért és számított értékek*

A számított értékekre egy lineáris közelítő egyenes jól illeszkedik, ez homogenitásra enged következtetni, helytálló kijelentésekhez azonban további mérések elvégzése szükséges.

3. Összefoglalás

A földművek építési idejének csökkentése irányában mutatkozó kivitelezői és megrendelői igények miatt a földművek minőségének vizsgálatát is felgyorsult tempó jellemzi, így a gyors és hatékony minőségellenőrzési berendezések és eljárások egyre inkább előtérbe kerülnek.

Az általunk használt dinamikus ejtősúlyos teherbírásmérő berendezés fokozatosan terjed nem csak a világon, hanem hazánkban is. Előnye kis súlyában, könnyű hordozhatóságában és a gyors mérésben jelentkezik elsősorban.

A jövőben tervezzük különböző talajok vizsgálatát eltérő nedvességtartalom és ejtési magasság mellett a műszer teljes mértékű megismerése érdekében.

4. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország fejlesztési terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

5. Irodalomjegyzék

[1] Kézdi, Á.: *Talajmechanika I.*, Tankönyvkiadó, Bp.
[2] http://hu.wikipedia.org/wiki/Hooke-t%C3%B6rv%C3%A9ny
[3] Tompai, Z.: *Földművek és kötőanyag nélküli alaprétegek teherbírásának és tömörségének ellenőrzése könnyű ejtősúlyos módszerekkel*, PhD értekezés, Bp. 2008
[4] Dr. Szabó, I.: *Alapozás*, Tankönyvkiadó, Bp.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 283-290.

POROZUS KŐZETEKBEN TÖRTÉNŐ BESZIVÁRGÁS MEGHATÁROZÁSA

Kompár László
Ph.D. hallgató
Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet,
Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros
hgkompar@uni-miskolc.hu

Összefoglalás
Napjainkban a világ számos területén gondot okoz a megfelelő mennyiségű és minőségű víz biztosítása. Nyilvánvaló, hogy lakossági, mezőgazdasági és ipari felhasználás estén más-más igényeket kell kielégíteni. Ennek érdekében, illetve a felszín alatti szivárgás pontosabb megértése céljából manapság kiemelt figyelmet kapnak a számítógépes modellezési módszerek, a labor és terepi kutatómunkák, kísérletek. Kutatásaim során egy magyarországi mintaterületre a Processing MODFLOW Pro programcsomagot alkalmazom annak érdekében, hogy trícium izotópos vizsgálatokkal kiegészítve minél pontosabb értéket adhassak a beszivárgás mértékére. Továbbá laborkísérleteket tervezek oszlopmodellek segítségével, melyeknél a speciálisan erre a célra megépített mérőberendezésekkel fogom mérni a mintatalaj különböző paramétereit.

Kulcsszavak: *infiltráció, numerikus modellezés, MODFLOW, trícium, labor kísérlet*

Abstract
Nowadays there is a big problem to obtain the sufficient quantity and quality water all over the world. The residential, the agriculture and the industry have special necessities. The profession uses the simulation softwares, the laboratory and the field tests increasingly to better to understand the recharge. During my research I use the Processing MODFLOW Pro software package and tritium isotope experiments to determine the recharge rate on a sample area in Hungary. In the near future I will start lab tests with column experiments. I have special instruments to measure some parameters of the soil during the tests.

Keywords: *infiltration, numeric modeling, MODFLOW, tritium, lab test*

1. Bevezetés

Napjainkban a világ számos területén gondot okoz a megfelelő mennyiségű és minőségű víz biztosítása. Minden felhasználónak megvannak a saját igényei az alkalmazás függvényében, ennek megfelelően más-más vizet kell szolgáltatni lakossági, mezőgazdasági és ipari felhasználásra egyaránt. Manapság sok helyen kiemelt figyelmet kap a felszín alatti vizek minél nagyobb mértékű védelme, hiszen

ezek azok a vízbázisok, amelyek még nem, vagy nagyon kis mértékben szennyeződtek el az emberi tevékenységek következtében.

A felszín alatti vizek fenntarthatóságát a csapadékból történő után pótlódás biztosítja a talajból történő beszivárgással. A hidrológiai elemek közül többet is kellő pontossággal tudunk mérni: a csapadék mennyiségét (legyen az folyékony, vagy szilárd halmazállapotú), intenzitását, a szél irányát, sebességét, a napfény intenzitását. Azonban vannak paraméterek, melyek meghatározásánál nagy bizonytalanságok vannak, és amelyekre csak durva becsléseket tudunk adni. Ilyen paraméter a maradó beszivárgás, vagyis az a vízmennyiség, amely a csapadék lehullása után ténylegesen bejut a felszín alatti víztestekbe.

2. A beszivárgás közelítése

A beszivárgást meghatározó paraméterek közül a legjelentősebb a csapadék. Jellemzői, sebessége, intenzitása tág határok között változik, de a hőmérséklet függvényében halmazállapota is változhat. Hevesebb esőzések alkalmával nagyobb a beszivárgás mértéke, mint az alacsony intenzitású csapadékok idején. Meghatározó szerepe van az adott talaj használatának, illetve az azt borító növényzetnek is. Nem mindegy, hogy az adott terület parlagon hagyott, intenzív mezőgazdasági művelés alatt áll, vagy éppen lakott területen található. Ugyanilyen fontos a növényzet jelenléte és/vagy hiánya is, annak típusa, gyökérzete, levelei felületének nagysága.

A talajmátrix tulajdonságai közül fontos megemlíteni az áteresztőképességet is, ugyanis nem egyforma a beszivárgás egy homok vagy egy agyagtalaj esetében; lényeges továbbá figyelembe venni a talaj víztartalmát és hőmérsékletét is. A levegő hőmérséklete és nyomásának különböző mértékű eloszlása úgyszintén hatással van a beszivárgásra, még ha csak közvetett módon is, a párolgás útján.

A beszivárgás mennyiségének több meghatározási formája is jól ismert:

- vízháztartási vizsgálatok,
- számítógépes szimulációk,
- különféle nyomjelző anyagok és
- közvetlen labor tesztek és terepi mérések. [1]

A továbbiakban kutatási tématerületem irányvonalait ismertetem, melyek között szerepel numerikusmodellezés, labor kísérletek és a jövőben terepi méréseket is tervezek.

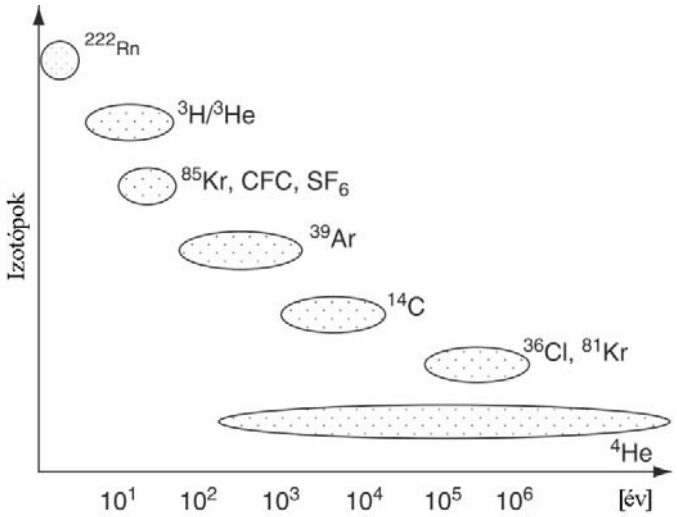
3. Számítógépes szimuláció trícium koncentráció meghatározásával

A számítógépek széles körben való elterjedése jellemző a földtudományok területén is. Számos szoftver áll rendelkezésre a különféle földtani és vízföldtani problémák megoldására, melyek nagymértékben elősegítik a szakemberek munkáját. Ezek segítségével múltbeli történéseket magyarázhatunk, vagy várható, jövőbeli eseményekre extrapolálhatunk, az időbeliség korlátját nagyságrendekkel kitolva.

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA International Atomic Energy Agency) számos helyen, több ország közreműködésével közös projekten belül, kifejezetten a beszivárgás mértékének vizsgálatára tett kezdeményezést. Magyarországról a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszéke, a Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézete (ATOMKI), továbbá a GWIS Kft. képviselteti magát, a magyarországi kutatási terület pedig Kecskemét-Ménteleken, az ország egyik legnagyobb vízföldtani leáramlási területén található.

A terület a Duna-Tisza-közén, kellő távolságra a két nagy folyótól helyezkedik el, így biztosítva a felszíni vizek kapcsolatának kizárását a felszín alatti vizektől. A terület kellőképpen sík ahhoz, hogy a hozzá- és elfolyás lehetősége nagy biztonsággal kizárható legyen, vagyis a függőleges vízforgalmat egyedül a csapadék befolyásolja, illetve tartja fent.

A kutatási munka alkalmával egy kútnégyes kap kiemelt szerepet (2. ábra). A négy, egyforma átmérőjű kút egy nagyobb, közös kútban kapott helyet a kialakításkor, viszont egyenként különböző mélységekből, eltérő rétekből nyerik a vizet. A területről nagyjából 50 éves idősor áll rendelkezésre csapadékadatot és talajvízszinteket tekintve, melyek a kutatási munka alapját képezik. A cél egy olyan hidrodinamikai- és transzportmodell építése, amely vissza tudja igazolni számunkra a tényleges beszivárgás mértékét a területen. A vizsgálatokhoz egy nyomjelző anyagra is szükség van, amely jelen esetben egy környezeti izotóp, a trícium. A trícium a hidrogén radioaktív izotópja, amely 12.4 év felezési idővel rendelkezik (Különböző izotópok felezési idejét láthatjuk az 1. ábrán). Ennyi idő alatt feleződik meg a trícium mennyisége a kezdeti időponthoz képest, és amely β-bomlással He-3 izotóppá bomlik. Természetes úton, a kozmikus sugárzás révén keletkezik ^{14}N-ből, illetve mesterséges úton az atomreaktorok működése által került környezetünkbe. Az 1960-as évekig a légköri atomkísérletek során több ezer trícium egységnyi (TU Tritium Unit) anyag került az atmoszférába,, melynek mára a mértéke nagyságrendekkel csökkent. A viszonylag rövid felezési idejének köszönhetően a tríciumot kifejezetten alkalmas indikátorként a vízföldtani kutatásokban.



1. ábra *Egyes izotópok felezési ideje*

2010 decemberében terepi méréssorozatot hajtottam végre többedmagammal a szóban forgó területen: talajvízszintet mértünk a kiépített kútnégyesben, majd mind a négy kutat termeltetés alá vonva az általuk szűrőzött rétegek vizeiből mintavételeztünk. A mintavételezés során kifejezetten tríciumra, nemesgázokra, ^{14}C-re történtek az analízisek. Minden egyes komponensre más-más, speciálisan kifejlesztett mintavételi eljárást kellett alkalmazni, ezzel is előkészítve a mintákat az ATOMKI Környezetanalitikai Laboratóriumában történő méréssorozatra.

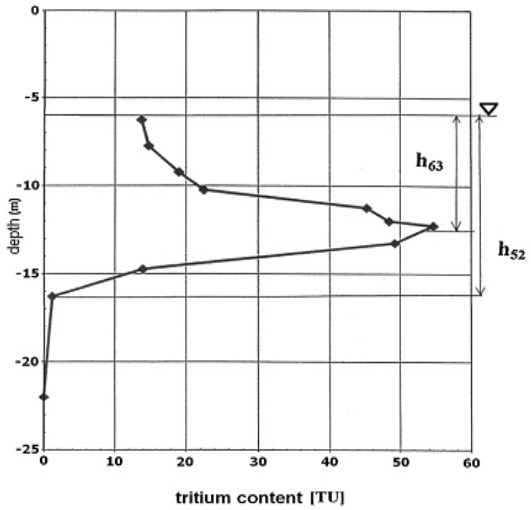
2. ábra *A ménteleki kútnégyes*

A terepi méréssorozatot követően egy hidrodinamikai- és transzportmodell készítése a feladatom. Egy oszlopmodell építését kezdtem el egy numerikus modellszoftver, a Processing MODFLOW Pro programcsomaggal. A programcsomag hidrodinamikai modellező szoftverét, a MODFLOW-t alkalmaztam a vizes modell elkészítéséhez, amely eleinte még csupán permanens, a későbbiekben, - további adatok begyűjtése után - tovább szeretném fejleszteni tranziens modellé [3]. A mintaterületen a legmélyebb kút 20 méter mély, ezért a modellt a következő képen alakítottam ki: 11 oszlopot, 11 sort és 20 réteget definiáltam, minden cellát egységnyi oldalhosszúsággal adtam meg, így ezek egyenként 1 m^3 térfogatúak. A tényleges földtani és vízföldtani adatok megérkezéséig egy tisztán homokos összletet feltételeztem, annak megfelelően adtam meg a szivárgási tényezőt és a porozitást. Kezdetben azt az esetet vizsgáltam, amikor hozzá- és elfolyás nincs a területen, kizárólag függőleges vízforgalom van jelen. Peremfeltételeként az oszlopmodellem legfelső részén csupán beszivárgás van, az legalsó rétegben pedig egy konstans állandó nyomású peremfeltétel biztosítja a vízforgalmat. A beszivárgást 50 mm/év-es értéknek adtam meg.

A PMPATH program segítségével advektív transzportot szimuláltam: néhány vízrészecskét elindítva az oszlopmodell tetejéről nyomon követhetővé vált a víz mozgása a rendszerben (3. ábra). Ezen számítások alapján mintegy 72 év szükséges ahhoz, hogy a legalsó, 20. réteget elérjék a vízrészecskék.

A transzport-számítások előtt ugyanúgy definiáltam a peremfeltételeket, mint az előző esetben, majd egy adott trícium koncentrációt feltételezve a beszivárgással definiáltam a nyomjelző anyagot. Ismerve a trícium felezési idejét, a bomlási egyenlet alkalmazásával adtam meg az anyag időbeli koncentráció-változását. Kezdeti koncentrációt nem feltételeztem, jelen esetben az kizárólag a beszivárgott csapadékban van, a rendszerben történő áramlás során pedig csupán advekcióval számoltam. Egyes rétegekbe koncentráció-figyelő pontokat helyeztem el, hogy figyelemmel kísérhessem az anyag mennyiségének időbeli változását, melyik pontot mikor éri el a „szennyező anyag”. [4]

Az 1998-as méréseket és az akkor meghatározott trícium profilt figyelembe véve kell a transzportmodellt beállítani, hogy az akkori mérések által kapott profilt visszakapjam, ezáltal a modell kalibrálva lesz.

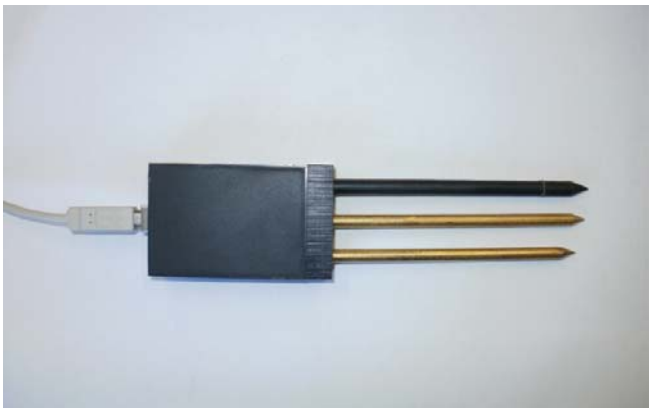


3. ábra *Az 1998-as mérésekhez tartozó trícium profil*

4. Oszlopmodell laboratóriumi körülmények között

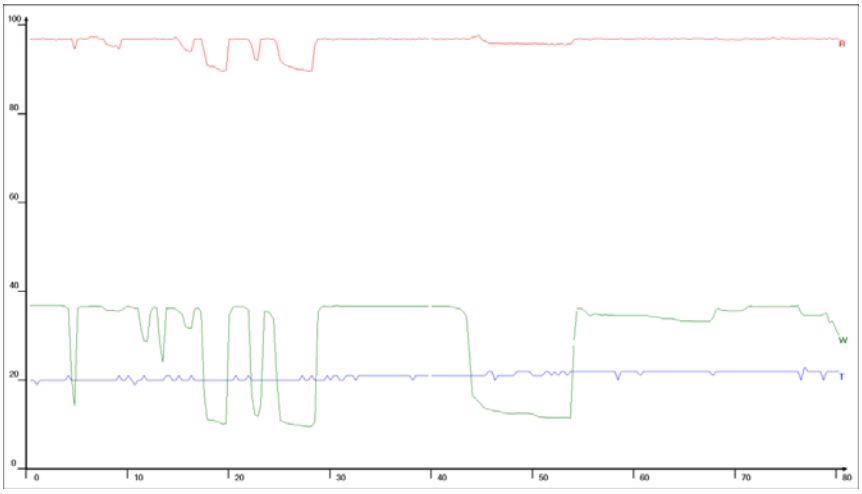
Porózus kőzetekben történő szivárgási vizsgálatokra elterjedtek különféle laborkísérletek és terepi mérések. Ezek leggyakrabban pontszerű vizsgálatokat jelentenek, bár nagyobb léptékű vízháztartási vizsgálatok során lehetőség van a dimenziók kiterjesztésére is. A laborkísérleteket kivétel nélkül kellő gondossággal kell elvégeznünk, ám az első fázis, a mintavételezés alapjában meghatározza a munkánk eredményességét, és reprezentativitását. Laborkísérleteket a legtöbb esetben oszlopmodelleken szoktak elvégezni, melyeknél számos, a számítógépes modellezési gyakorlatban megjelenő bizonytalanságot ki tudunk küszöbölni. [2]

Kísérleteim során különböző hosszúságú és átmérőjű oszlopmodelleket fogok készíteni, az átlagos hosszúság 1,5-2 m, az átmérő pedig 110-130 mm között fog változni. Kezdetben finomhomok lesz a minta anyag, és felülről történő áztatás során tervezem a csőbe beépített talaj jellemző paramétereit meghatározni, ezek változásaiból, egymástól való függéseiből igyekszem majd a gyakorlatban is igazolni a különböző törvényszerűségeket. Az 5. ábrán látható mérőeszközből hat darabot fogok beépíteni egy oszlopba, melyek a vizsgálat során folyamatosan fogják az egyes paramétereket mérni.



4. ábra *A labor kísérlet során alkalmazandó mérőeszköz*

A kutató munkámhoz a Dr. Czinkota Imre által biztosított berendezés három talajparamétert képes mérni egy időpontban: hőmérsékletet, nedvességtartalmat és vezetőképességet. A hőmérsékletet egy félvezető hőmérő méri, mely a középső elektródban kapott helyet. A vezetőképességet a műszer a két szigeteletlen elektród között váltakozó feszültség hatására kialakuló váltó áram erősségének mérésével határozza meg. A berendezés a nedvességtartalmat pedig a szigetelt elektród és a közös szigeteletlen elektród közötti eltolási áramerősséggel jellemzi, mely nagy frekvenciájú feszültség hatására jön létre a nedves talajban. A berendezés az összes mért jelet digitalizálás után USB porton keresztül a számítógépbe juttatja, ahol egy célszoftver értékeli ki és tárolja az adatokat.



5. ábra *A szoftver kiértékelő felülete*

Munkám során a modell egyre összetettebbé válik majd, és az előbb említett három paraméter egyidejű monitorozása alkalmával fogom vizsgálni a szivárgási viszonyokat. Tervezem változtatni a talaj szervesanyag-tartalmát, az áztatás intenzitását, nagyságrendileg különböző rétegek beépítését a homoktalajba, illetve különféle vegyszerekkel fogom kezelni a vizet, amellyel az áztatást fogom végezni. Talajmechanikai vizsgálatok közül tömörödési kísérletek során fogom figyelemmel kísérni a víz viselkedését porózus közegben, hogyan hat rá, milyen mértékben és mélységig befolyásolják a szivárgást a mechanikai igénybevételek.

5. Összefoglalás

A Földön egyre növekvő számú emberiség egyértelműen maga után vonja a szükséges vízmennyiségek rohamos növekedését is. Egyre nagyobb mértékben kénytelen az ember igénybe venni a felszín alatti vizeket is, melyek pótlódása ezáltal fokozott figyelmet érdemel. Fontos megérteni, meghatározni a lehető legnagyobb pontossággal, hogy egy adott földtani egység esetében mennyi az a vízmennyiség, amely ténylegesen után pótolja a felszín alatti vízkészleteket.

Napjainkban egyre nagyobb szerepet kapnak a számítógépes szimulációk, melyekkel mondhatni az időbeli korlátok megszűnnek számunkra, a múltbeli események alapján kalibrálva a jövőben várható dolgokat nagyon jól közelíthetjük. Az elméleti számítások mellett fontos megpróbálnunk a gyakorlatban is számszerűsíteni az egyes mennyiségeket, és ezekből az empirikus összefüggésekből, illetve mérési eredményekből a lehetőségekhez mérten minél nagyobb mértékben tervezni a felszín alatti vízkészletekkel történő gazdálkodást.

6. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

7. Irodalomjegyzék

[1] Juhász, J., *Hidrogeológia,* Budapest, Akadémia Kiadó, 2002., pp. 455-457.
[2] Kovács, B., Szanyi, J., *Hidrodinamikai és transzportmodellezés,* Miskolc, 2005., pp. 136-141.
[3] Szűcs, P., Sallai, F., Zákányi, B., Madarász, T., *Vízkészletvédelem,* Bíbor Kiadó, Miskolc-Egyetemváros, 2009., pp. 341-349.
[4] Szucs, P., Madarasz, T., F, Civan., *Remediating Over-Produced and Contaminated Aquifers by Artificial Recharge from Surface Waters,* Springer Science, Environ Model Assess, 2009. 14 pp. 511–520.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 291-298.

HOL VAN TERMÁLKARSZTVÍZ A BÜKK-TÉRSÉGBEN?

Lénárt László
egyetemi docens
Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros, hgll@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A bükki termálkarszt Magyarország 2. legnagyobb termálkarsztos vízteste. Nagy kiterjedésű hideg vizű nyíltkarszthoz csatlakozik, fokozatos átmenettel, langyos karsztvíz zónával. A hideg karsztvíz alatt a földi hőáram mennyisége 40-60 mW/m^2-re csökken és a technikai határként használt 30 °C-os izoterma – Magyarország legrosszabb értékét adva – 1300 m felszín alatti mélység alá süllyed. A jól karsztosodott kőzetekben a csapadékból származó nagy mennyiségű hideg karsztvíz erőteljesen le tudja hűteni a környezetét. Emiatt a termálkarsztvíz feltárásánál óvatosnak kell lenni. Könnyen előfordulhat, hogy nem kapunk megfelelő hőmérsékletű vizet, ill. a nagy mélységből történő kitermelés mellett könnyen veszélybe kerülhet a kommunális vízellátásban döntő jelentőségű hideg karsztvízkészlet is.

Kulcsszavak: *Bükk, termálkarsztvíz, hidegkarsztvíz, földi hőáram, 30 °C-os izoterma*

Abstract

The thermal karst of Bükk Mountains is the 2nd largest thermal karst water body in Hungary. It joins an extensive open karst containing cold water. There also is a tepid (lukewarm) water zone with gradual transition. The geothermal heat-flow beneath the cold karst water is as low as 40-60 mW/m2, and the 30 °C isotherm (used as a technical boundary) sinks lower than 1300 m below surface, thus generating the worst rate in Hungary. The large amount of cold karst water situated in karstic rock originates from precipitation and can cool its environment very strongly. That is the reason why we must be very careful when exploiting thermal karst water. It might happen that the water yielded will not have sufficient temperature, or, in case of exploiting karst water from great depths, it can carry risks with regards to the cold karst water supplies which is crucial for communal use.

Keywords: *Bükk, thermal karst water, cold karst water, geothermal heat-flow, 30 °C isotherm*

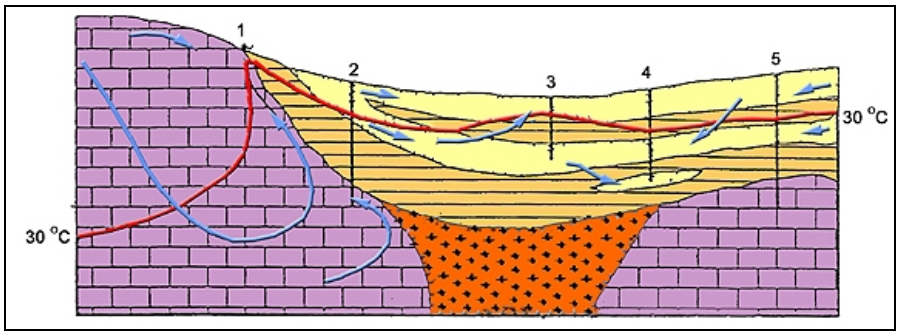
1. Kutatástörténeti bevezetés

Magyarországon 1866-ban a Zsigmondy Vilmos által fúrt harkányi hévízkút létesítésével vette kezdetét a termálkarsztok fúrásos kutatása. 1896-ig Borsod vármegyében nem történt „artézi kút” fúrása, de Heves vármegyében, Egerben 1870-ben igen, az új fürdő telepen. [5]

2. A termálkarsztvíz keletkezésének földtani-vízföldtani okai

Az 1-3. ábrák és más szerzők [7, 16] információi, valamint a saját kutatásaink [9-11] alapján a Bükk-térség morfológiai és földtani viszonyaihoz hasonló esetben a termálkarsztvíz keletkezéséhez az alábbi feltételeknek együttesen teljesülni kell:

- csapadék zömében eső formájában, melyből évente legalább 150-200 mm csapadéknak megfelelő víz jusson le a nyílt karsztban a karsztvízszintig;
- több száz m vastag, a földtörténet valamely szakaszában már karsztosodott kőzet, jó-nagyon jó vízvezető képességű litoklázis rendszerrel, ebből a kőzettömegből több száz m magasan kiemelt nyíltkarsztos vízgyűjtő terület, jó beszivárgási viszonyokkal;
- a nyílt karszt folyamatosan menjen át az üledékkel fedett (eltemetett, zárt) karsztba, több száz m vastagságú, nagy kiterjedésű vízzáró – rossz vízvezető összlet legyen az eltemetett (zárt) karsztos összlet felett;
- nyílt és leszorított tükrű karsztvíz kapcsolata földtanilag-vízföldtanilag nagyon jó legyen, a víz a törmelékkel fedett karsztos összletben a nyíltkarsztól távolodó irányba mozogjon;
- a fedett karsztos összletben „vízszintesen”, a karsztos – durva törmelékes összlet határán „függőlegesen felfelé” jobb legyen a vízmozgás lehetősége, mint a durva törmelékes összletből „függőlegesen lefelé” a karsztba, de a karsztosodás lehetősége a tér minden irányában meglegyen;
- a nyíltkarsztban a beszivárgott vízmennyiség 10-15 %-a függőlegesen lefelé mozoghasson, hogy a mélykarszt vízutánpótlása tartósan adott legyen;
- valami földtani „kályha” (magma, vulkáni utóműködés, földi hőáram stb.) is legyen a területen, ami fel is melegíti a mélybe került hideg karsztvizet.

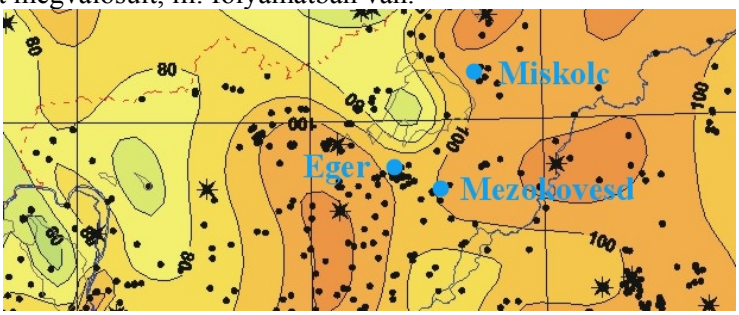


1. ábra. *A termálkarsztvíz keletkezés, a 30 °C-os izoterma [Liebe P., 2003]*

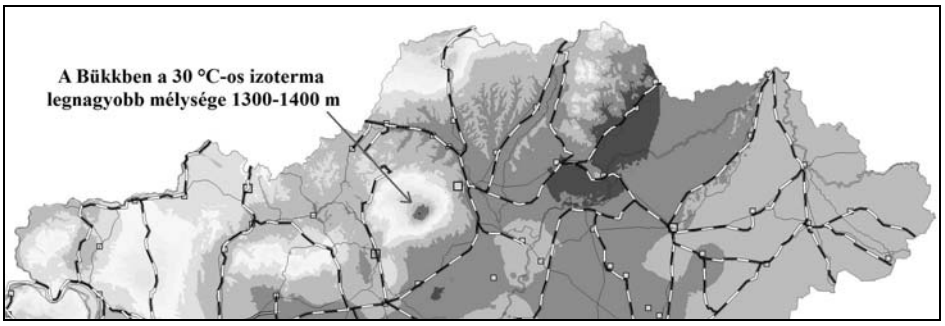
3. A bükki termálkarsztvíz jelentősége, kutakkal történt feltárása

Magyarország területének 9,9 %-án hideg karsztvíz-adó karbonátos kőzetek találhatók. A karsztos hegységeinkben és peremükön hideg, előterükben langyos és me-

leg karsztforrások fakadnak, ill. meleg és forró vizet adó fúrt kutak vannak. Vizüket ivóvízként, fürdési és gyógyászati célokra hasznosítják részben már a római kor óta. Az utóbbi időben az energetikai (fűtési) célú termálkarsztvíz felhasználása is helyenként megvalósult, ill. folyamatban van.



2. ábra. *A földi hőáram nagysága a Bükk-térségben [Dövényi P., 2003]*



3. ábra. *A 30 °C-os izoterma mélysége [VITUKI, 2002]*

Az EU Víz Keretirányelv alapján kijelölt 185 hazai, felszín alatti víztest közül 15 a termálkarsztos (4. ábra). Teljes területük 22 300 km^2, ami az ország területének 24 %-a. (Azaz Magyarország területének kb. 1/3-án termelhetünk karsztvizet.) A kt.2.1. termálkarszt víztest a 4300 km^2 -es kiterjedésével 2. a hazai területi rangsorban. A Bükk-térség termálkarsztvíz termelése 2010-ben 3.263 em^3 volt.

A bükki 2 hideg és a HU_kt.2.1. termálkarszt víztest Bükk-térségi része vízkészleteinek becsült értékei az alábbiak:

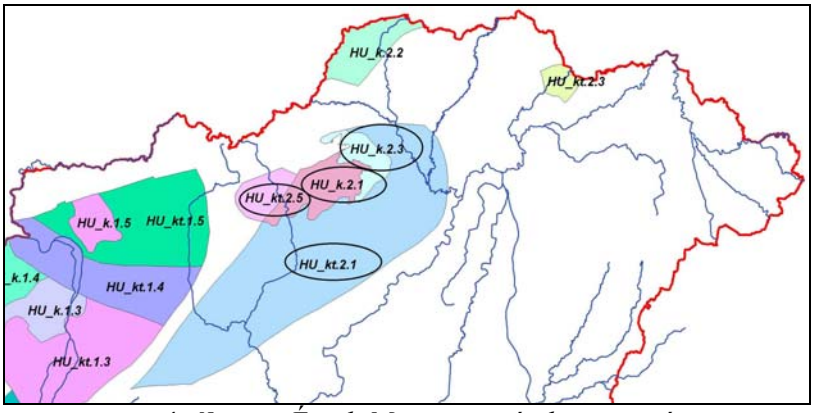
1. táblázat. *A Bükk térségre vonatkozó vízgazdálkodási alapadatok (saját)*

	10E7 [m^3]	**Számítási adatok**
Évi beszivárgó csapadék	4,7	230*10E6*0,829*0,8*0,31
„Maximális [dinamikus] hideg napi vízkészlet”	3,6	207*10E6*23,59*0,0075*
„Átlagos [dinamikus] hideg napi vízkészlet”	1,0	207*10E6*6,5*0,0075*
Statikus [térfogati] hideg vízkészlet	50	207*10E6*420*0,005*
Langyos és meleg statikus [térfogati] vízkészlet	100	2000*500*10E6*0,001*
Évi teljes felhasználási célú vízkivétel	2,9	

* Megjegyzés: a szabad hézagtérfogat értékek a mélységgel fordítottan arányosan csökkennek!

A feldolgozott adatok alapján az alábbi összefoglaló, jellemző adatok adhatók meg a termelésbe állított (állítható) termálkutakról:

- A Bükk-térségében 11 településen kb. 50 termálkút, valamint sikeres termálkarsztvíz kutató fúrás készült.
- A legrégebbi Egerben mélyült 1870-ben, legutolsó Demjénben 2008-ban.
- A kutak mélysége 43 - 1881 m (a mályi fúrás nélkül).
- A kutakból kifolyó víz hőmérséklete 30-90 °C, a talphőmérsékletük 33,1 – 108 °C (182 – 1878 m mérési mélységekben).
- A kutak induló magassága 107,65 – 266,6 mBf, a létesítéskori nyugalmi nyomás a kutakban +32,2 – -70,4 m, de a kutak zöme pozitív.
- A vízadó kőzet triász vagy eocén mészkő, de néhány, Ca-Mg-HCO3-os jellegű vizet adó, pliocénre szűrőzött – átadott karsztvizet termelő – kutat is ide sorolunk.



4. ábra. *Észak-Magyarország karsztos víztestjei (k: hidegkarszt; kt: termálkarszt) [Liebe P., 2009]*

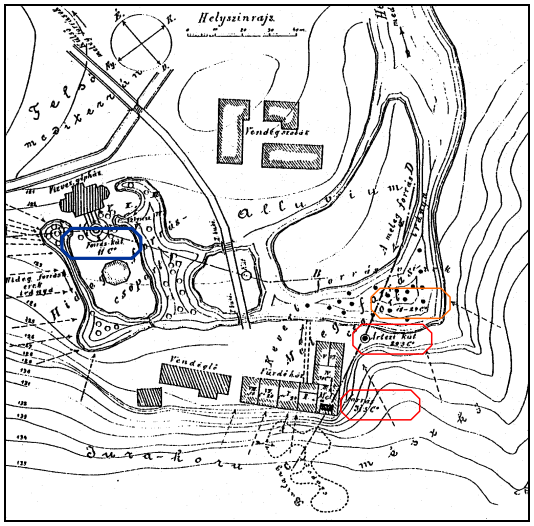
3.1. A langyos- és melegvizű források környezetében mélyült kutak

A termál vizű karsztforrások környékén Egerben [1], Miskolctapolcán [3] és Diósgyőrben próbálkoztak melegebb víz fúrással történő feltárásával, sikertelenül.

Dobrossy [3] egy 2000-ben publikált, 1908-as egyházi birtokot bemutató térképén egy „artézi kút” és egy „vízvezetéki kút” is látható. Az ismeretlen szerzőjű, 5. ábrán bemutatott térképen szintén szerepel az artézi kút, a mellé írt 29,5 C° értékkel. (A térkép két, igen hasonló, de gyenge rajzi változatban ismert.) Kunszt [7] szerint 1928-ban a kút mélysége 200 m, vize 29 °C (Ugyanő a barlangban 28-29 °C hőmérsékletű forrásokról írt, a fürdőházban lévő, legmelegebb forrás hőmérséklete 31,3 °C.) Mivel a vélhetően eredeti célt – hogy a forrásoknál magasabb hőmérsékletű vizet nyerjenek – nem érték el, a kutat megszüntethették vagy elfeledték.

Az 5. ábrán látható, hogy a jelzett mélyfúrású kút a legmelegebb és az alacsonyabb hőmérsékletű források közé lett telepítve abból a megokolásból, hogy lefelé haladva melegebb vizet kell találni. (Ez igaz is általában a porózus kőzetek esetében, de itt a karsztvíz hűtő hatását kell figyelembe venni, ill. a karsztos összletben mozgó, eltérő hőmérsékletű vizek eredő hatását.)

Miskolctapolcán a Szerelem-szigeti kutat az 1960-as években (kb. 14 m-ig), a Parki kutat az 1970-es években (kb. 242 m-ig) mélyítették le, de melegebb vizet nem kaptak. (A Szerelem-sziget környékén a 2010-es, nagy csapadékú esztendőben több szökevényforrás a mai napig is aktív, de hőmérsékletük nem éri el a 30 °C-t.) Érdekesség, hogy a mélyebb kút esetében a maximális vízhőmérséklet nem a legmélyebb pontján volt a kútnak!



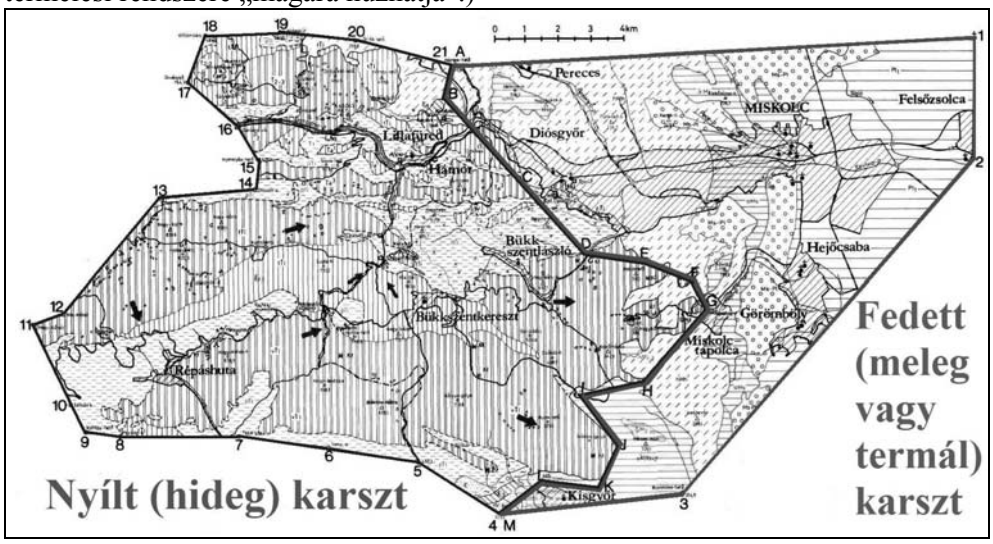
5. ábra. *Miskolctapolca vízművek [ismeretlen szerző, 1913 körül]*

3.2. Forrásoktól távol mélyült, korai termál karsztvíz kutató fúrás

A Bükk-térségben az első, földtani-tektonikai alapokon tervezett termálkarsztvíz kutató fúrást Pávai Vajna F. [15] 1927-29 között mélyítette 735 m talpmélységig, s az akkor épített Palota szállót szerették volna termálvízzel ellátni. Eredeti célját nem érte el. Szlabóczky szerint (2011, konferencián bemutatott előadás) ott 1500 m-ben 43 ± 5 °C-os víz tárható fel – 30-50 % valószínűséggel!

A fúrás az 1970-es évekig nyitott volt, később szeméttel és törmelékkel teledobálták, majd az autóparkoló kiépítése során a még meglévő csőcsonkot is eltüntették. (Ma egy elég sajátos „ipari szobor” áll fölötte-mellette.) A Pávai által várt hidrogeológiai jellemzőket az 1-3. ábrák információi nem támasztják alá, ill. ma már a bükki hideg és meleg karszt kapcsolatrendszere alapján (6. ábra) nehezen képzelhető el az eredeti elképzelés helyessége. (A Szlabóczky által feltételezett

vízhőmérséklethez közeli érték elvileg elképzelhető, de a hideg karsztvíz alóli termálkarsztvíz kitermelése igen kockázatos, mivel a hideg karsztvizet a melegvíz termelési rendszere „magára húzhatja”.)



6. ábra. *A hideg (nyílt) és a meleg (fedett, zárt, termál) karszt kapcsolódása (kettős vonal) Miskolc térségében [Böcker T., Vecsernyés Gy., 1983]*

3.3. Meddő kőolajkutató fúrások átalakítása víztermelő kutakká

A Bükk előterében több helyen is a meddő szénhidrogén kutató fúrás termálkarsztvizet tárt fel és azokat rövidebb-hosszabb idő után kúttá képezték ki. (Kiegészítésként: a Bükkel határos Recsk-Bükkszék termálkarszton 1938-ban egy meddő szénhidrogénkutató fúrásból alakították ki a „Salvus”-vizet adó kutat.) A jellemző adatokat a 2. táblázatban adjuk meg.

2. táblázat. *Szénhidrogénre meddő szénhidrogénkutató fúrások*

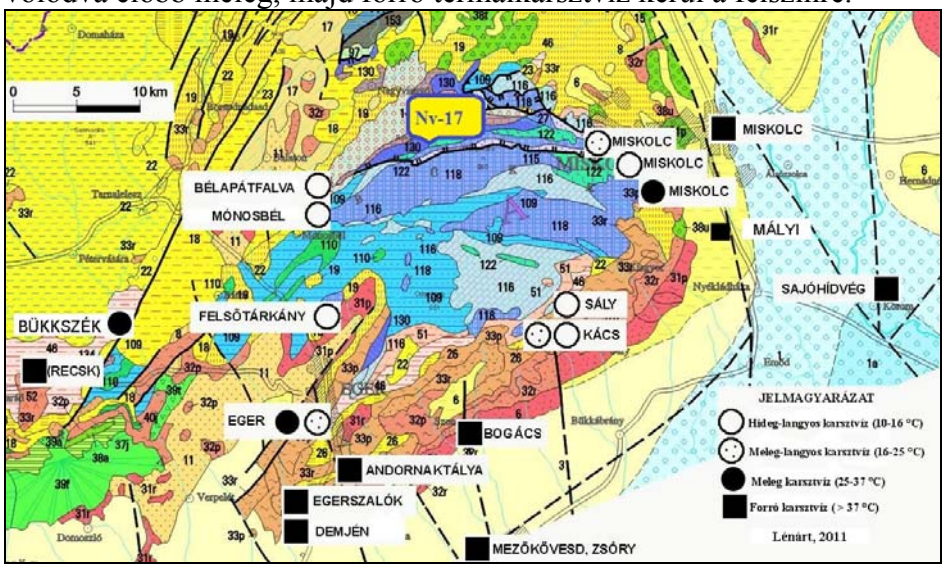
1	2	3	4	5	6a	6b	7a	7b	8
Mezőkövesd	Zsóry- fürdő I. (MK-1)	4-1	1939	117,02	875,4	861,8	71,6 (847 m)	68	T2
Miskolc	Strandfürdő I.	4-3	1953	116,77	633,2	559,4	49,0 (550 m)	43	T2
Egerszalók	De-42	9-2	1961	161,53	407,5	403,5	68,9 (403 m)	65,5	E3

Jelmagyarázat: 1: helység; 2: a kút neve; 3: hévízkútkataszteri szám; 4: építési év; 5: terepszint [mBf]; 6a: kúttalp [m]; csőtalp [m]; 7a: vízhőfok adott mélységben [°C]; 7b: kifolyó víz hőmérséklete [°C]; 8: földtani kor, T = triász, E = eocén)

3.4. Célzottan termál karsztvíz kutató fúrások kutakká alakítva

A 7. ábrán azon településeket mutatjuk be, ahol termálkarszt kutak vannak, kiegészítve a langyos források helyeivel. Jól látható, hogy a Bükk peremén

az alacsonyabb hőmérsékletű források és kutak a jellemzők, a peremtől távolodva előbb meleg, majd forró termálkarsztvíz kerül a felszínre.



7. ábra. *ábra A különböző hőmérsékletű termálkarsztvíz feltárások a Bükk peremén, ill. a Bükk térségében [Saját 2011])*

3.5. Energiatermelés céljából készített termál karsztvíz kutató fúrás

A Bükk térségében az első, energiatermelés céljából készített fúrás Mályi térségében történt 2010-ben. A 162 mBf-i terepszintről indult 2311 m mély kút talphőmérséklete (2305,5 m-ben) 103,5 °C, a próbatermelés során felszínre emelt víz hőmérséklete 98 °C, a hozama 5358 l/p, a nyugalmi vízszint -21,1 m, a vízminőség Ca-Mg-HCO3-Cl-SO4-os, kemény, fluoridos. Pillanatnyilag a kút áll, a visszasajtoló kút engedélyezve van, de a fúrási munkálatok még nem kezdődtek meg.

4. Összefoglalás

A fentiek alapján a Bükk-térségben a termálkarsztvíz feltárására az alábbiak szerint van lehetőség:

- Magas hőmérsékletű termálkarsztvíz csak a Bükk peremétől távol, a törmelékes üledékkel fedett, leszorított tükrű karsztokból tárható fel.
- Meleg- és langyosvizű források környezetében a források hőmérsékletéhez hasonló hőmérsékletű termálkarsztvíz tárható fel, de így adott esetben a koncentráltabb vízkivételre is van lehetőség.
- A Bükkben, a hideg, nyíltkarsztos terület alatt csak igen nagy (2-3000 m) mélységben tárható fel termálkarsztvíz, de a termelés során a

hidegkarsztvíz vízszintjének, ill. a termálkarsztvíz hőmérsékletének drasztikus csökkentését is kockáztathatjuk.

5. Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

6. Irodalomjegyzék

[1] Agyagási, R. et al: Eger gyógyvizei és fürdői, 1983, Eger.
[2] Böcker, T., Vecsernyés, Gy.: Miskolc város vízellátására foglalt karsztforrások védőidomának víz- és környezetvédelmi atlasza. Hungalu, 1983, Bpest.
[3] Dobrossy, I. [szerk.]: Miskolc írásban és képekben. 7. Miskolctapolca, 2000.
[4] Dövényi, P.: AAPG Memoir, 2003, Budapest
[5] Halaváts, GY.: A magyarországi artézi kutak, 1896, 103 o. Budapest.
[6] Ismeretlen Szerző: Miskolctapolca vízművek, 1913 körül, Miskolc.
[7] Izápy, G., Maucha, L.: A Bükk-hegység vízháztartási viszonyai. A Bükk karsztja, vizei, barlangjai, ME, 1992.05.28-30. pp. 131-142. Miskolc.
[8] Kunszt, J.: A mai Magyarország ásványvizei, fürdői és üdülőtelepei. Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, 1928, Budapest.
[9] Lénárt, L: A Bükk-térség karsztvízpotenciálja – a hosszú távú hasznosíthatóságának környezetvédelmi feladatai. Észak-magyarországi Stratégiai Füzetek, 2006, III. évf. 2. sz. pp. 17-28. Miskolc.
[10] Lénárt, L: The Interaction of Cold and Warm Karst Systems in the Bükk Region. Proceedings of the 1th Knowbridge Conference on Renewables, 2010, pp. 111-118, Miskolc.
[11] Lénárt, L: Hol kerestek és hol találtak termálkarsztvizet a Bükk térségében? Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban. Miskolci Egyetem, 2011.05.18. pp. 411-420.
[12] Liebe, P. [szerk.]: Tájékoztatók hazánk felszín alatti vizeiről – Information on Groundwaters of Hungary, KvVM, CD, 2003, Budapest.
[13] Liebe, P.: Kéziratos térkép, 2009, Budapest.
[14] Papp, K: Miskolcz környékének geológiai viszonyai, A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve, 1907, XVI. 3. pp. 91-135. Budapest.
[15] Pávai, Vajna F: A lillafüredi kutató mélyfúrás eddigi története és geológiai viszonyai, Hidrológiai Közlöny, 1929, 9. évf. pp. 38-50. Budapest.
[16] Szlabóczky, P.: Karsztvíz tározó rendszer termohidraulikai vizsgálata Miskolc környéki adatok alapján, Hidr. Közl., 1974, 54. 11. pp. 516-523.
[17] VITUKI: Vízkészletgazdálkodási atlasz, 2002, Budapest

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 299-306.

A BÜKKI KARSZTVÍZSZINT ÉSZLELŐ RENDSZER ÁLTAL SZOLGÁLTATOTT ADATOKON VÉGZETT VÍZMINŐSÉGI MONITORING BEMUTATÁSA ÉS STATISZTIKAI MÓDSZEREK ALKALMAZÁSA

Németh Ágnes[1]
Szegediné Darabos Enikő[2]
Lénárt László[3]

[1,2]PhD hallgató
[3]Egyetemi docens
[1,2,3]Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, 3515. Miskolc – Egyetemváros
e-mail: nemeth.agnes85@gmail.com, daraboseniko@gmail.com, hgll@uni-miskolc.hu
cím:3515, Miskolc, Egyetemváros

Összefoglalás

Jelen tanulmányunk a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) vízszint-idősorait vizsgálja. A rendszer keretein belül az első műszerek telepítése 1992-ben történt. A méréseket a bükki karsztvizet kitermelő vízmű Rt.-k kezdeményezték, a miskolci és Miskolc környéki lakosok megfelelő mennyiségű ivóvizének biztosítása érdekében. Ennek egyik kiváltó oka az volt, hogy a korábbi években gyakran veszélybe került a terület vízellátása. Ezen nyers mérési adatainkból szeretnénk a legtöbb hasznosítható információt kinyerni, és idősoraink között minél egyértelműbb, matematikailag is megfogalmazható összefüggéseket találni.

Kulcsszavak:*, monitoring, statisztikai módszer, regressziós vizsgálat, Fourier transzformáció*

Abstract

In 1992, the water companies concerned in the karst water exploitation of the Bükk had asked the University of Miskolc to work out a system for karst water level prognosis. As we know, the precipitation has a periodic fluctuation with the changing of the season. The basis of the investigation is to determine a conclusion between the karst water level dataset and the precipitation values. The analysis was made with an analytical version of the Discret Fourier Transformation (DFT). According to the spectral analysis were investigated 3 main cycle of both of dataset: the precipitation and the karst water level display periodicity with a 1 year long, a 1,5 year long and a 3,4 year long.

Keywords: *monitoring, statistical method, regression analysis, Fourier transformation*

1. Bevezetés

Vízföldtani monitoring esetében az adatgyűjtés (információgyűjtés) lényegében a hidrológiai körfolyamat pillanatnyi állapotának megismerése érdekében történik, az ember vízigényének kielégítése, vagy a víz kártételeinek elkerülése érdekében. Az utóbbi időben a hidrológiai mérőrendszerek vízminőségi adatok vizsgálatával is kibővülnek, ill. egyre fontosabbá válnak. Ezek a mérőrendszerek nem maradhattak meg a nemzeti szintek keretei között, mivel sok vízgyűjtő terület politikai határokkal osztott és a vízminőség kérdése számos nemzetközi konfliktus kiinduló pontjává vált. A felszíni vizek ugyanis ritkán ismernek el országhatárokat, még ha sok ország határát éppen egy-egy vízfelület adja is meg. Vizsgálatuk és az adatokhoz való hozzáférhetőség, összehasonlíthatóság országokon belül és nemzetközi szinten is igen fontos [3].

A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer által szolgáltatott adatok kapcsolatainak vizsgálata régóta folyamatban lévő feladat. 1992-ben Miskolc város és környékének veszélybe került a vízellátása, ezért a vízigény kielégítésének biztosítása érdekében a Bükkben érintett vízmű Rt.-k megbízták a Miskolci Egyetemet a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer létrehozásával.

Az évek során a bükki karszt területén több mint 50 helyen, jelenleg több mint 35 helyen regisztrálják folyamatosan a vízszint és a vízhőmérséklet, elvétve a vezetőképesség értékeit.

Manapság a karsztos területek kutatása során egyre inkább előtérbe kerülnek a fizikai és hidrokémiai paraméterek segítségével történő vizsgálatok. Ezek a viszonylag könnyen mérhető paraméterek betekintést engednek a karsztos vízbázisokba, pl. a vezetőképesség és a víz hőmérséklet időbeli változása információkat nyújthat a tárolt víz és az esővíz arányáról.

2. A Bükk hegység monitoring rendszere

Pillanatnyilag a vizsgálati területen, a Bükk hegységben, ill. a miskolctapolcai vízkivételi helyre vonatkozóan több megfigyelő rendszer létezik egymás mellett, egymástól kevésbé pontos elkülöníthetőséggel, melyek a következők:

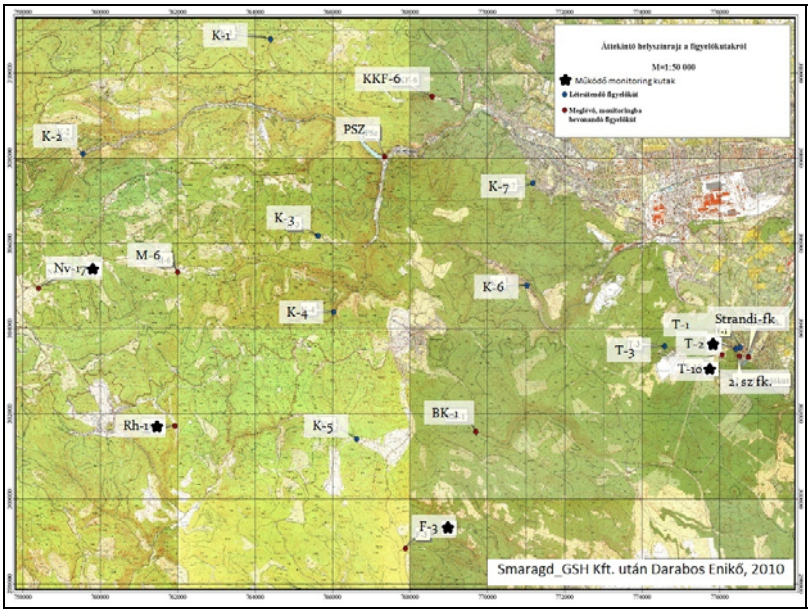
- Miskolctapolcai Hidegvízmű „hálózati vízminőségi monitoring".
- Miskolctapolcai Hidegvízmű „Miskolctapolcai vízgyűjtő vízminőségi monitoring", melynek célja a szennyezett víz időbeni felismerése (beavatkozás, kizárás), ennek érdekében két sekély és egy közepes mélységű, vízminőség-vizsgálatra alkalmas megfigyelő kutat alakítottak ki, melyekben vízszint, vízhőmérséklet és vízvezető-képesség mérés zajlik folyamatos (vagy nagyon sűrű, kb. órás) adatközléssel.
- Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR), mint mennyiségi monitoring. A mérőhelyeken szintén vízszint, vízhőmérséklet, részben vízvezető-képesség mérés történik, mely mintegy 35 elemből áll.

- GVOP-Vimore (tervezett) monitoring, ami a BKÉR elemeire épül, kiegészül barlangi és külszíni mérőhelyekkel.
- EU monitoring, amit a Víz Keretirányelv (VKI) ír elő, kialakítását az illetékes vízügyi szervezetek végzik, a bükki részek átvehetők. [4]

A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer működtetését, ill. a kinyert adatok feldolgozását a Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszéke végzi, ezért ezzel a monitoring rendszerrel, ill. adatainak feldolgozásával kívánunk a dolgozat további részeiben részletesen foglalkozni.

2.1. A Bükki Monitoring Rendszer fejlesztési lehetőségei, a vízbázis biztonságba helyezése

A miskolci karsztvízbázis jelenleg az ország egyik legnagyobb, területileg is összefüggő sérülékeny vízbázisa, amit minél hamarabb biztonságba kell helyezni. Ez a tevékenység gyakorlatilag egyrészt azt jelenti, hogy új védőterületet kell kijelölni, ami a jelenleg érvényben lévő védőterület felül bírálatával jár. Ennek az az oka, hogy az előző védőterület kijelöléskor a Garadna-forrás és vízgyűjtőterülete – különböző érdekek miatt – kimaradtak a védelem alá vont területből. Az új védőterület kijelölésének jogi hátterét a 123/1997 Kormányrendelet (előírások a védőterület kijelölésére), ill. az EU 2000/60/EK (vízbázisvédelem, monitoring tevékenység) adják. Másrészt viszont a már meglévő megfigyelő kutak mellé továbbiakat kell bevonni a monitoring tevékenységbe, hogy az új, tervezett védőidom területét teljesen le tudjuk fedni. Ezt a célt szolgálja 10 db, már meglévő monitoring hely (5 db működő és 5 db felújítandó kút) a kibővített védőidomon belül, melyek a következők: Miskolctapolca, 2. sz. figyelőkút; Várhegyi kőbánya, T-10; Mocsolyástelep, F-3; Répáshuta, Rh-1; Nagyvisnyó, Nv-17; Bükkszentkereszt, Bk-1; Palotaszálló függőkertje; Miskolc, M-6; Királykút, KKF-6; Miskolctapolca, Strandi figyelőkút. Mindezek mellett 10 új kút létesítésére is sor kerül a diagnosztika keretében. Az így kialakított monitoring kutakat láthatjuk a 1. ábrán, amin jól megfigyelhető, hogy ezzel a rendszerrel már a Bükk egész területét megfigyelés alatt tudjuk tartani.



1. ***ábra**: A meglévő és a kialakítandó új kutak a bükki vízbázis területén*

3. A statisztikai vizsgálatok célja

A földtudományi adatok feldolgozása már régóta folyamatban lévő feladat, amely során folyamatosan törekszünk a különböző típusú adatok között fennálló lehetséges kapcsolatokat minél egyértelműbb, matematikailag is megfogalmazható összefüggések feltárására és megfogalmazására.

A regressziós vizsgálatok során a modellezési szakemberek megpróbálják leírni egy, vagy több ún. független modellváltozó függő változóra kifejtett hatását. A hidrogeológiában, vagy egyéb földtudományi területeken a hagyományos többváltozós regressziós vizsgálatok során azonban szükséges valamilyen meghatározott típusú függvénykapcsolatot feltételeznünk a vizsgált változók között. A vizsgált paraméterek között fennálló komplex, és sokszor jósolhatatlan jellegű kapcsolatok miatt sokszor igen nehéz a megfelelő típusú függvénykapcsolatot megadni a függő és független változók esetében. A hidrogeológiai paraméterek értéktartományának nagy változékonysága esetében például a rutinszerűen alkalmazott hagyományos többváltozós regressziós eljárások gyakran nem reális eredményeket produkálnak [7].

A megfelelő statisztikai és optimalizációs alapokon nyugvó nemparaméteres regressziós eljárások nagyobb rugalmasságot és megbízhatóságot biztosítanak az adatfeldolgozás során a vizsgált változók közötti kapcsolatok feltárása érdekében.

3.1. Az egyes mérőhelyeken észlelt vízszintek egymás közötti kapcsolatai

Az egyes mérőhelyek között megfigyelhető kapcsolat azért fontos, mert az adatsorok korrelációi alapján adathiányokat pótolhatunk, illetve előrejelezhetünk eseményeket regresszióval. A módszer lényege, hogy megállapítjuk a két adatsor közötti függvénykapcsolatot. Ez alapján, ha az egyik mérőhelyen vannak adataink, a másikon viszont hiány van, akkor ezt a függvény segítségével számíthatjuk, pótolhatjuk [5].

A mérőhelyek egymás közötti kapcsolatának kimutatása érdekében korrelációszámítást végeztünk, amely során minden mérőhelyet minden mérőhellyel összehasonlítottam 2001 és 2006 között. A mérőhelyek közötti korreláció értékek a *1. táblázatban* megtekinthetőek [1].

A különböző görbéket összevetve a kapcsolaton túl megállapítható, hogy a vízszint reagálása a csapadékra 1 napon belül minden mérőhely esetében megjelenik - tetőzési időtől függetlenül -, viszont az egyes mérőhelyeken más-más ideig tart.

1. táblázat: *A mérőhelyek között megállapított korreláció értéke*

Mérőhely 1	**Mérőhely 2**	**Korreláció**
Tebepuszta	Felsőtárkány	0,91
Garadna-forrás	Nv-17	0,85
Garadna-forrás	Szinva-forrás	0,81
Garadna-forrás	Felsőtárkány	0,42
Garadna-forrás	Tebepuszta	0,36
Nv-17	Tebepuszta	0,68
Nv-17	Felsőtárkány	0,45
Szinva-forrás	Nv-17	0,67
Szinva-forrás	Tebepuszta	0,37
Szinva-forrás	Felsőtárkány	0,34

Az idősorok elemzésére 3 különböző regressziós vizsgálatot végeztünk el. A regressziók, más néven kiegyenlítések során a mért adatainkat (yi) egy számított adatsorral (yical) próbáljuk közelíteni. A számított adatsort pedig egy függvénykapcsolat segítségével állítjuk elő [6]. A számítás során a függvénykapcsolat paramétereit határozzuk meg, melyből megkapjuk az egyes idősorok közötti korrelációs tényező értékét, illetve a mért és számított értékek közötti ún. RMSE („roor mean square error") hibajellemző értékét. Az elemzés alapját 2 ill. 1 éves intervallumok jelentették, a mintavételezés minden esetben napi gyakoriságú (Δt=1nap) volt, a minták száma pedig (N) háromszor 732 db, ill. egyszer 365 db és ezekre alkalmaztuk a 3 különböző regressziós eljárást.

4. Periodicitás vizsgálatok Fourier transzformációval

A csapadék és a karsztvízszint kapcsolatával már korábban is nagyon sokan foglalkoztak. Az utóbbi években azonban egyre nagyobb teret kaptak azok a periodicitás becslő eljárások, amelyek háttérbe szorítják a szubjektív elemeket, és mindemellett közöttük volt olyan, amelynek működéséhez nem feltétel az idősor azonos időközönkénti megfigyelése. Továbbá volt olyan, ami képes az oszcilláló komponensek folyamatos átrendeződésének követésére.

Vizsgálataink során a Fourier transzformációt használtuk, melynek lényege, hogy tér-idő tartománybeli jeleket alakít át frekvencia alapú tartományba. Az általunk alkalmazott periódus vizsgálat nagy előnye, hogy nem szükséges az ekvidisztáns mintavételezés

Jelen tanulmányt a Bükk-fennsíkon található Nv-17 mérőhely karsztvízszint 15 éves adatsora alapján végeztük el, ugyanis leghosszabb és legösszefüggőbb adatsor innen áll rendelkezésünkre. Csapadék szempontjából alapvetően a Baltitenger szintje felett 690 méterrel (továbbiakban mBf) elhelyezkedő jávorkúti csapadékmérő állomás adatai használatosak, mivel ez a hegység egészét jól jellemzi [1].

Az elemzés alapjául a 1992 októbere és 2007 június-júliusa közötti intervallumot tekintettük, a mintavételezés mindkét esetben napi gyakoriságú (Δt=1nap), a minták száma pedig (N) 5291 db, illetve a csapadék adatsornál 5366 db volt. (Itt megjegyeznénk, hogy a későbbiek során a minták száma folyamatosan nőni fog).

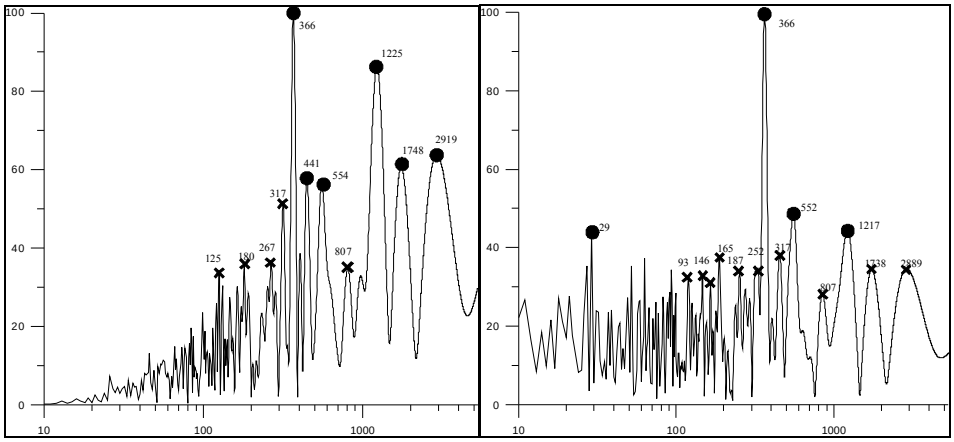
A kiindulási adatok a következők:

Δ t =1nap
T_{min}= 10 nap
T_{max} (Nv-17) = 5290 nap; T_{max} (csapadék) = 5365 nap

4.1. Eredmények

A spektrumok meghatározása után megállapítottuk az amplitúdó-sűrűségek amplitúdó spektrumait, majd a relatív amplitúdó spektrumokat (*3., 4. ábra*), melyeket a maximális spektrumértékre normáltuk. Ez esetben 0% és 100% közötti értéket kaptunk [8]. Az ábrákon a függőleges tengelyek jelentik az amplitúdó spektrumok értékeit (mm-ben, ill. %-ban), a vízszintesek pedig a periódusidőt, napokban.

Az Nv-17 esetében 6 fő illetve 5 mellék ciklust különböztettünk meg. A fő ciklusoknál az 50 % feletti amplitúdó sűrűségű értékeket vettük figyelembe, mellék ciklusoknál pedig a 30 % körülit. Az alábbiak alapján alakultak az eredmények (*3. ábra*):



***2. ábra**: Az Nv-17 vízszintjének, és a Jávorkúti csapadékmérő állomás fő (pont) és mellék (csillag) ciklusai*

A jávorkúti csapadékmérő állomás adataiban 4 fő ciklus, és 9 mellék ciklus mutatható ki. Fő ciklusoknak a 40 % feletti amplitúdó sűrűséggel rendelkező értékeket vettük, mellék ciklusoknak pedig - 1 kivételével - a 30% feletti értékeket (2. *ábra*).

Mivel a mérések 1992. október 10-én indultak, a kapott értékek a következőket jelenthetik: A karsztvízszint 6 fő periódusa megtalálható a csapadékadatok változásában is, azonban a 14 hónap, a 4,88 év és a 8,1 év után jelentkező ciklus a csapadékmérő állomás adatsorában kisebb relatív súllyal van jelen, így ott mellék ciklusként szerepel. Ugyancsak megtalálhatók a karsztvízszint mellék ciklusai a csapadékadatok mellék ciklusaiban is (pár nap eltéréssel) [2].

5. Összefoglalás

A Bükk hegység területén működő monitoring rendszerek rövid áttekintése után nyilvánvalóvá válik, hogy a minőségi jellemzők mérésének fejlesztése szükséges. Egyrészt az EU-s elvárások, a Víz keretirányelvben – minden tagország számára – előírt monitoring fejlesztések teljesítése érdekében. Másrész, ill. elsősorban viszont a karsztvízbázis sérülékenysége és a miskolci lakosok egészségmegőrzése érdekében. A tanulmány alapján láthatjuk, hogy az utóbbi időben rengeteg fejlesztés történt, ill. jelenleg is zajlik a bükki vízbázis területén, annak megóvása érdekében.

A Fourier transzformációval végzett vizsgálat alapján, a két adatsor eredményeit összevetve megállapítható, hogy mindkét esetben a fő ciklusok **1 év**, **1,5 év**, és **3,4 év** után jelentkeztek, őszi, illetve tavaszi időpontban, márciusban, és áprilisban. Ez azt jelenti, hogy a nagy tavaszi esőzések okozzák a legnagyobb karsztvízszint változását. A fenti adatok alapján elmondható még az is, hogy a karsztvíz-

szintben nagy ingadozást okoznak a nyári (július-augusztus), illetve az őszi esőzések (november) is.

Mindkét esetben megfigyelhető, hogy a görbék emelkedő tendenciát mutatnak a grafikon végén, azonban az adatok hiányában nem tudjuk, hogy ott ténylegesen egy újabb ciklus következne, vagy csak a regisztrátum ablakhosszából ered. Ez további vizsgálatokat igényel.

6. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

7. Felhasznált irodalom

[1] DARABOS E. 2008: A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer által szolgáltatott adatok kapcsolatainak vizsgálata, OTDK dolgozat, Szombathely, 2009., pp.: 34-36.

[2] KOVÁCS F., TURAI, E., VADÁSZI M. 2001: Periodicity of Precipitation Data Measured in Bataapáti. Interpartner-2001, High Technologies Conference, Alushta-Krim, Printed Matters of Conference, 2001, pp. 98-101.

[3] LÉNÁRT, L. 2006: Környezet Informatikai Tankönyv, Kézirat, 3.1-3 fejezet, Miskolc, 2006, 1-72. old.

[4] LÉNÁRT, L. 2007.: A miskolci karsztforrások monitoring rendszere, Kézirat, Miskolc, 2007, 5-10. old.

[5] NÉMETH, Á. 2008: A Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer hiányzó mérési adatainak pótlása, előrejelzése, XIII. Karsztfejlődés, Szombathely, 2008.

[6] SZUCS - F. CIVAN - M. VIRAG 2006: Applicability of the most frequent value method in groundwater modeling. Hydrogeology Journal (2006), 14: pp. 31-43. Springer-Verlag, DOI 10.1007/s10040-004-0426-1

[7] R. N. HORNE - P. SZUCS 2007: Inferring Well-toWell Connectivity Using Nonparametric Regression on Well Histories. PROCEEDINGS, Thirty-Second Workshop on Geothermal Engineering, Stanford University, Stanford, California, January 22-24, 2007, SPG-TR-183, pp. 1-8.

[8] TURAI E. 1983: A Fourier transzformáció egy numerikus módszerre és alkalmazása a GP-jelenség rendszerjellemző függvénnyel történő leírásánál. Magyar Geofizika XXIV/1,(1983), pp.:11-19.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 307-314.

AZ ACE ALGORITMUS ALKALMAZÁSA KARSZTVÍZ-SZINT ADATOK HIDROGEOLÓGIA VIZSGÁLATÁRA

Szűcs Péter[1], Darabos Enikő[2], Németh Ágnes[2]
[1]tszv egyetemi tanár, [2]PhD hallgató
[1,2]Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, 3515, Miskolc-Egyetemváros, hgszucs@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A hidrogeológia vizsgálatokban, illetve a modellezési feladatok előkészítésében rendkívül nagy a szerepe a regressziós vagy kiegyenlítő eljárásoknak. A különböző típusú vizsgálatok során világossá vált, hogy a regressziós eljárások esetében szükség van új módszerek kidolgozására is, ahol a vizsgált földtani és vízföldtani változók közötti természeti kapcsolatok kvantitatív leírása nem találgatáson, illetve szubjektív szakmai megérzésen alapul. Végrehajtottuk a Stanford University intézményben Breiman és Friedman (1985) által kidolgozott ACE nem paraméteres algoritmus adaptációját hidrogeológiai többváltozós regressziós vizsgálatokhoz, ahol a vizsgált változók közötti kapcsolat a priori nem ismert.

Kulcsszavak: *ACE algoritmus, regressziós vizsgálat, hidrogeológiai monitoring*

Abstract

This paper introduces the alternating conditional expectation (ACE) algorithm for estimating the transformations of a response and a set of predictor variables in multiple regression problems in hydrogeology. The proposed nonparametric approach can be applied easily for estimating the optimal transformations of different hydrogeological data to obtain maximum correlation between observed variables. The approach does not require a priori assumptions of a functional form and the optimal transformations are derived solely based on the data set. The advantages and applicability of this new approach to solve different multiple regression problems in hydrogeology or in Earth sciences are illustrated.

Keywords: *ACE algorithm, regression analysis, hydrogeological monitoring*

1. Regressziós módszerek hidrogeológiai vizsgálatokban

A Breiman and Friedman [1] által kidolgozott ACE („Alternating Conditional Expectation") algoritmus adaptációja, módosítása után lehetőségünk nyilt különböző típusú hidrogeológiai és vízbányászati többváltozós regressziós problémák megoldására. Ez a nagy hatékonyságú és magas hatásfokú nem-paraméteres regressziós vagy kiegyenlítési eljárás könnyen alkalmazható a vizsgált változók elemzésére [2]. Az ACE algoritmus a különböző hidrogeológiai modellváltozók olyan optimális transzformációját hajtja végre, ahol maximális korrelációra számíthatunk a transzformált függő változó és a transzformált független változók összegeként

előálló becslés között. Ez a tulajdonság nagyon kedvező, hiszen a földtudományok területén igen gyakran alkalmazott tradicionális regressziós vizsgálataink mindig valamilyen változók közötti függvénykapcsolat feltételezésével indul [3]. A vizsgált paraméterek között fennálló komplex, és sokszor jósolhatatlan jellegű kapcsolatok miatt sokszor igen nehéz a megfelelő típusú függvénykapcsolatot megadni a függő és független változók esetében [4]. A hidrogeológiai paraméterek értéktartományának nagy változékonysága esetében például a rutinszerűen alkalmazott hagyományos többváltozós regressziós eljárások gyakran nem reális eredményeket produkálnak [5].

2. Az ACE algoritmus elméleti háttere

A vizsgált változók nem-lineáris transzformációja bevett gyakorlatnak tekinthető a különböző típusú regressziós problémák megoldása során [6]. Az ACE algoritmus olyan transzformációt alkalmaz az egyes vizsgált változók tekintetében, hogy a lehető legjobb kiegyenlítést érjük el az analízisbe bevont változók között. Az ACE algoritmus matematikai alapjait Breiman and Friedman [1]dolgozta ki a Stanford Egyetemen. Az eljárás elméleti háttere az alábbiakban megismerhető. További részletek az eljárással kapcsolatban megtalálhatók Breiman and Friedman [1] eredeti munkájában.

A regresszió hibája a következőképpen írható fel:

$$e^2(\theta,\phi_1,\phi_2,...,\phi_p) = E\left(\left[\theta(Y) - \sum_{i=1}^{p}\phi_i(X_i)\right]^2\right). \qquad (1)$$

A $\phi_i(X_i)$,…, $\phi_p(X_p)$ és $\theta(Y)$ transzformáltakra vonatkozó e^2 hiba minimalizációt egy speciális, egy függvényre vonatkozó minimalizációs sorozaton keresztül érhetjük el az alábbi két egyenlet alkalmazásával.

$$\phi_i(X_i) = E\left[\theta(Y) - \sum_{j\neq i}^{p}\phi_j(X_j)\middle|X_i\right] \qquad (2)$$

$$\theta(Y) = E\left[\sum_{i=1}^{p}\phi_i(X_i)\middle|Y\right] \Big/ \left\|E\left[\sum_{i=1}^{p}\phi_i(X_i)\middle|Y\right]\right\|. \qquad (3)$$

A (2) és (3) egyenletekben ún. feltételes elvárásokat megvalósító matematikai operátorok is szerepelnek az iterációs minimalizálási procedúra során. A minimalizációs iterációs eljárás végeredményeként kapott végső $\phi_1(X_1)$, $\phi_2(X_2)$,…, $\phi_p(X_p)$ és $\theta(Y)$ függvénytranszformáltak becslései az optimális,

legjobb regressziót biztosító $\phi_1^*(X_1)$, $\phi_2^*(X_2)$,..., $\phi_p^*(X_p)$ és $\theta^*(Y)$ transzformáltaknak. Vagyis a transzformált paraméterek terében a függő és független változók közötti kapcsolat a következő egyszerű alakot veszi fel:

$$\theta^*(Y) = \sum_{i=1}^{p} \phi_i^*(X_i) + e^* , \tag{4}$$

ahol e^* az ACE regressziós közelítés (zérus helyparaméterű eloszlással jellemezhető) hibáját fejezi ki. Az ACE eljárással elérhető minimális regressziós hiba tehát e^*, míg a többváltozós korrelációs koefficiens ρ^*, és értéke a regresszió hibájával a következő kapcsolatban áll: $e^{*2} = 1 - \rho^{*2}$.

$$Y^{pre} = \theta^{*-1}\left[\sum_{i=1}^{P} \phi_i^*(X_i)\right] . \tag{5}$$

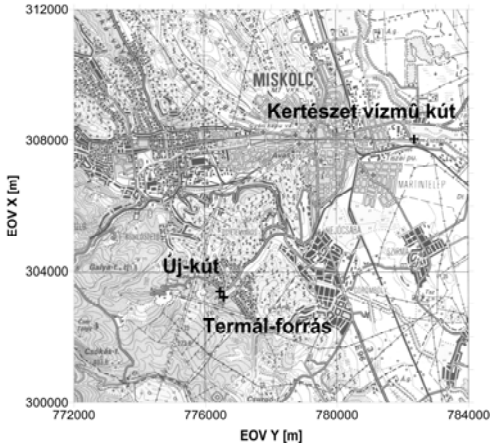
3. Esettanulmány: bükki karsztvíz monitoring adatok regressziós vizsgálata

Az ország egyik legnagyobb vidéki városa, Miskolc mintegy 170000 lakossal a Bükk keleti lábánál fekszik. A város, illetve a környék vízellátásában igen fontos szerepet játszik a bükki karsztvíz. A hideg karsztvíz mellett a hegység peremén megtalálhatjuk a meleg karsztvíz feltöréseket is. Miskolc-Tapolcán például a híres Barlangfürdő és városi vízmű egyik üzeme esetében 100 méteres távolságon belül találhatók a nagy hozamú hideg és meleg vizes karsztforrások. A hévíz regionális áramlási pályák mentén egészen mélyről tör fel a Bükk déli és keleti peremein. A Barlangfürdő meleg vízzel történő ellátását a Termál-forrásra épült kút biztosítja. A Barlangfürdő szomszédságában található vízműtelepen működik ún. Új-kút, amely normál üzemben kb. 30000 m^3/nap ivóvíz minőségű hideg karsztvizet termel. A Termál-kút látja el a Barlangfürdőt kb. 2700 m^3/nap vízhozammal. Nyilvánvaló, hogy Miskolc-Tapolcán a Bükk lábánál egymás közelébe kerültek a hideg és meleg vizes áramlási rendszerek, ahol egyensúly szempontjából egy igen érzékeny hidraulikai rendszer jött létre [7].

Az említett kutak Miskolc EOV koordinátákkal rendelkező térképlapján elhelyezve a *1. ábrán* láthatóak. A térképen az említett két kút mellett látható még a Kertészet vízmű kút is, amely szintén szerepelt a későbbiekben ismertetett komplex regressziós vizsgálatban. Az utóbbi időben sajnos egyre gyakrabban fordul elő a Termál-forrás vízének hőmérséklet ingadozása és csökkenése, amely a Barlangfürdő hosszú távú üzemelését komolyan befolyásolhatja [8]. A vízszintek mellett

például a hozam és hőmérséklet viszonyok is mérésre kerülnek. A Barlangfürdőben várható vízszint és hőmérséklet viszonyok előrejelezhetősége érdekében komplex hidrogeológiai többváltozós regressziós vizsgálatot hajtottunk végre a Termál-forrás, az Új-kút és a Kertészeti-kút monitoring adatainak felhasználásával.

A Miskolc keleti szélén található Kertészet-kút kb. 8 km távolságban található észak-kelet irányban a tapolcai kutaktól. A mintegy 460 méter mélységben szűrőzött Kertészeti-kút a város azon a részén már több száz méter üledék összlettel fedett karszt rendszerből termel hévizet. A korábbi vizsgálatok már bizonyították, hogy a Kertészeti-kút is a Bükk felől kapja az utánpótlódását regionális nagymélységű áramvonalpályák mentén.



1. ábra. *A komplex hidrogeológiai vizsgálatba bevont monitoring kutak elhelyezkedése Miskolcon.*

Először a Termál-forrás vízszint adatait hasonlítottuk össze a közelben lévő Új-kút, és a jóval távolabb lévő (bár a hidraulikai kapcsolat meglétét szintén feltételező) Kertészeti-kút vízszint adataival.

Az egyes kutakban mért adatok közötti kapcsolat tisztán felismerhető, de az is világos, hogy az alkalmazott egyszerű, két kút vízszint adataira épülő lineáris kiegyenlítés nem vezet kielégítő eredményre, amelyet a kiegyenlítések eredményéül adódó regressziós együtthatók is megerősítenek [9].

A továbbiakban a vízszint adatok mellett egyéb típusú adatokat (pl. vízhőmérsékleti és hozam adatok a Termál-forrásból) is felhasználtunk annak érdekében, hogy a Termál-forrás vízszint adatait pontosabban tudjuk közelíteni egy többváltozós lineáris regressziós összefüggés segítségével.

Ezért a következő lépésként az ACE algoritmust alkalmaztuk ugyanannak az adatrendszernek a vizsgálatára, hogy növelni tudjuk a becslések pontosságát és megbízhatóságát. Ebben az esetben is a Termál-forrás tengerszint feletti magasságban mért vízszint adatait tekintettük az y függőváltozónak. Az ACE algoritmus alkalmazásával ki tudtuk választani azt a négy független változót, amelyek segítsé-

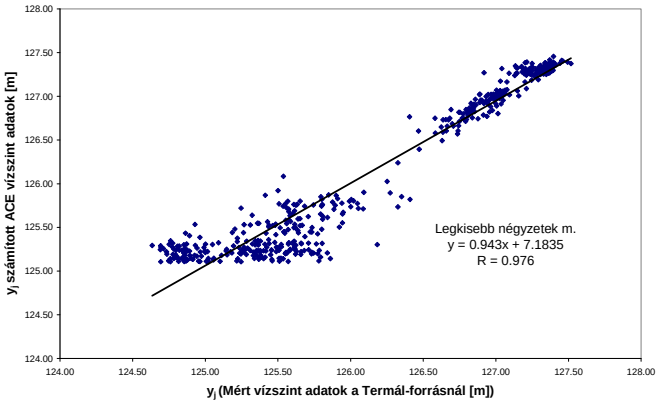
gével a legjobban közelíthető volt az *y* függő változó értéke: x_1 az Új-kút vízszint adatai [m], x_2 a Termál-forrás vízhőmérsékleti adatai [Celsius], x_3 a Termál-forrás napi termelési hozam adatai [m^3/nap] és x_4 a Kertészeti-kút vízszint adatai [m]. Az összehasonlítás kedvéért ugyanezekkel a változókkal (y és x_1, x_2, x_3, valamint x_4) végrehajtottuk a hagyományos többváltozós lineáris kiegyenlítést is mind a legkisebb (L_2-norma), mind pedig a leggyakoribb érték (P-norma) módszerével. A kapott eredményeket az alábbiakban tárgyaljuk részletesen.

A Termál-forrás esetében a 2. *ábra* mutatja be a mért és az ACE algoritmus alapján számított vízszint adatok összehasonlítását. Az összetartozó pontpárok elhelyezkedése és a korrelációs tényező értéke alapján megállapíthatjuk, hogy az ACE algoritmus segítségével hatékony regressziós kapcsolat állítható fel a vizsgált változók között.

Az alkalmazott regresszió vizsgálatok megbízhatóságának a jellemzésére bevezethetjük az alábbi gyakran alkalmazott kifejezést a mért és a számított vízszintek különbségének a jellemzésére. Az RMSE („root mean square error") hibajellemző a következő kifejezéssel adható meg.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(y_j - y_j^{cal})^2} \ . \tag{6}$$

Az ACE algoritmus alkalmazása esetében a Termál-forrás mért és számított vízszintjei esetében az RMSE értéke 0.2311 méter volt. A vizsgált változók (y és x_1, x_2, x_3 és x_4) regressziós analízisét természetesen elvégeztük a hagyományos többváltozós regresszió alkalmazásával is mind a legkisebb négyzetek módszere, mind pedig a leggyakoribb értékek módszere felhasználásával. A legkisebb négyzetes többváltozós lineáris regresszió esetében az RMSE értéke 0.4052 méter volt, míg az MFV regresszió esetében az RMSE nagyságára 0.3826 méter adódott.



2. ábra *A mért és az ACE algoritmus alapján számított vízszint adatok összehasonlítása a Termál-forrás esetében.*

A további vizsgálatokban a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) egyéb kútjainak vízszint-idősorait is vizsgáltuk. A rendszer keretein belül az első műszerek telepítése 1992-ben történt. A rendszer adatsoraiból kiválasztottuk a 3 legjellemzőbb megfigyelőkutat, és ezen vízszintadatsorok közti összefüggéseket próbáljuk megtalálni.

Az idősorok elemzésére 3 különböző regressziós vizsgálatot végeztünk el [10]. A számítás során a függvénykapcsolat paramétereit határozzuk meg, melyből megkapjuk az egyes idősorok közötti korrelációs tényező értékét, illetve a mért és számított értékek közötti ún. RMSE („roor mean square error") hibajellemző értékét.

A vizsgált megfigyelőhelyek a következők:

- Garadna-forrás,
- Szinva-forrás,
- Nv-17 megfigylőkút.

Az elemzés alapjául mindhárom monitoringhely esetében ugyanazon 2 éves időszak (2003.09.01-2005.08.31.) közötti intervallumot tekintettük, a mintavételezés mindhárom esetben napi gyakoriságú (Δt=1nap) volt, a minták száma pedig (N) háromszor 731 db, és ezekre alkalmaztuk a 3 különböző regressziós eljárást:

- legkisebb négyzetek elvére épülő többváltozós lineáris regresszió,
- leggyakoribb érték (MFV) elvére épülő regresszió,
- ACE („Alternating Cvonditional Expectation") algoritmus.

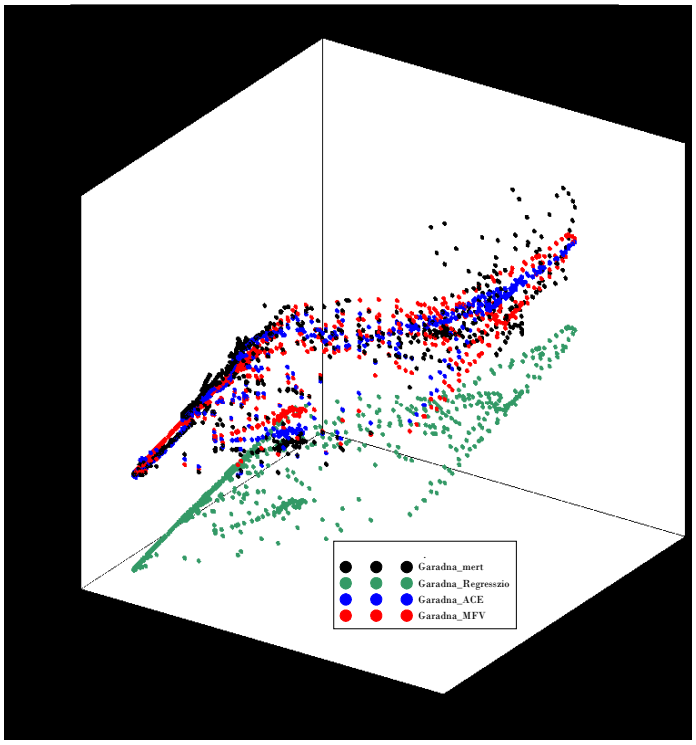
Korrelációs számítással kiválasztottuk a 3 adatsor közül a legjobban korreláló megfigyelőhelyeket, így függő változóként a Garadna-forrást (y) állapítottuk meg, első független változóként a Szinva-forrást (x_1), második független változóként pedig az Nv-17 (x_2) megfigyelőhelyet. A számítások alapján megállapítható, hogy a 3 számítás közül a legkisebb különbséget a mért és a számított értékek között az ACE algoritmus szolgáltatta (lásd 4. ábra).

A statisztikai jellemzők alapján megállapíthatjuk, hogy a BKÉR 3 megfigyelőhelyének adatsorain elvégzett 3 regressziós vizsgálat nagyon jól közelítette a mért értékeket. A számított RMSE értékekből egyértelműen kitűnik, hogy az ACE algoritmus meggyőző eredményeket szolgáltatott egy komlex hidrogeológiai karsztrendszer adatainak vizsgálatánál [14].

4. Összefoglalás

Végrehajtottuk a Stanford University intézményben Breiman és Friedman [1] által kidolgozott ACE nem paraméteres algoritmus adaptációját hidrogeológiai többváltozós regressziós vizsgálatokhoz, ahol a vizsgált változók közötti kapcsolat a priori nem ismert [11]. Az ACE algoritmus egyik nagy előnye, hogy a legkülönbözőbb típusú és nagyságú adatok együtt kezelhetőek [12]. Az ACE által szolgáltatott

transzformáltak részletes vizsgálata új következtetésekre vezethet a vizsgált függő és független változók közötti kapcsolatok feltárásában (pl. ekvivalencia hatás, érzékenység vizsgálat, stb.). Természetesen az ACE algoritmusnak is megvannak a maga korlátai számtalan előnyei mellett. Bizonyos esetekben az eljárás különböző eredményekre vezethet, ha megcseréljük a független változó sorrendjét. Másrészt az ACE algoritmus extrém kieső adatokra nagyon érzékenyen reagál. Termesztésen itt is ki kell hangsúlyozni, hogy az ACE algoritmus csak akkor lehet tényleg hatékony, modern statisztikai eljárás, ha a vizsgált változók között létezik tényleges fizikai, vagy egyéb természettudományos kapcsolat, és a mérési adataink minőségellenőrzöttek [13].



4. ábra. *A mért és az ACE algoritmus alapján számított vízszint adatok összehasonlítása a három vízszint megfigyelőhely esetében.*

5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új-Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

6. Felhasznált irodalom

[1] Breiman L. and Friedman J.H., 1985*: Estimating optimal transformations for multiple regression and correlation (with discussion).* Journal of American Statistical Association, 80, 580-619 (September).

[2] Steiner, F., (ed.) 1997: *Optimum methods in statistics.* Akademia Kiado, Budapest. 370 pp.

[3] Kovács, B., 2004: *Hidrodinamikai és transzport modellezés I.* (Processing MODFLOW környezetben.) Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Szegedi Tudomány Egyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, GÁMA-GEO Kft., pp. 1-159.

[4] Kovács, B., Szanyi J., 2005: *Hidrodinamikai és transzport modellezés II.* (Processing MODFLOW és Surfer for Windows környezetben.) Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Szegedi Tudomány Egyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, GÁMA-GEO Kft., pp. 1-213.

[5] Kitanidis P.K., 1997: *Introduction to geostatistics: Applications to hydrogeology.* Cambridge University Press, p. 249.

[6] Lee, T- C., 1999*: Applied Mathematics in Hydrogeology.* Lewis Publishers and CRC Press LLC, ISBN 1- 56670- 375- 1.

[7] Lénárt, L. (2006): *A Bükk-térség karsztvízpotenciálja – a hosszú távú hasznosíthatóságának környezetvédelmi feladatai.* Észak-magyarországi Stratégiai Füzetek. III. évf. 2. sz. pp. 17-28. Miskolc.

[8] Juhász J., 2002: *Hidrogeológia.* Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 1-1176.

[9] Németh Á. 2008: *A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer hiányzó mérési adatainak pótlása, a pontosított adatsorok alapján előrejelzések kidolgozása,* diplomamunka, Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Hidrogeológiai - Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék , pp.: 71-78.

[10] Darabos E. 2008: *A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer által szolgáltatott adatok kapcsolatainak vizsgálata*, OTDK dolgozat, Szombathely, 2009., pp.: 34-36.

[11] Wang D. and Murphy M., 2004: *Estimating Optimal Transformations for Multiple Regression Using the ACE Algorithm*. Journal of Data Science 2(2004), 329-346.

[12] Szucs P. - Horne R. N. 2009: *Applicability of the ACE Algorithm for Multiple Regression in Hydrogeology*. DOI: 10.1007/s10596-008-9112-z COMPUTATIONAL GEOSCIENCES : (13) pp. 123-134 (2009). Springer.

[13] Székely F., 2006: *A háromdimenziós kúthidraulikai modellezési módszer és gyakorlati alkalmazása*. VITUKI 79, Budapest, pp. 1- 113.

[14] Lénárt L. 2010: *The Interaction of Cold and Warm Karst Systems in the Bükk Region.* Proceedings of the 1th Knowbridge Conference on Renewables, pp. 111-118., Miskolc.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 315-324.

AZ IVÓVÍZMINŐSÉG-JAVÍTÓ PROGRAM SZABOLCS-SZATMÁR-BEREG MEGYEI SAJÁTOSSÁGAI

Virág Margit

okl.geológusmérnök, vízkészletgazdálkodási- és műszaki hidrogeológus szakmérnök
VIZITERV Environ Kft.,4400 Nyíregyháza, Széchenyi u. 15. ,m.virag@environ.hu

Összefoglalás

Az Ivóvízminőség-javító Program célja a lakosság egészséges ivóvízzel való ellátásának biztosítása. Az európai jogharmonizáció keretében az Európai Unió ivóvíz-minőségi irányelvének (98/83/EC direktíva) harmonizációja alapján 2001 novemberében hatályba lépett „az ivóvíz minőség követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló" 201/2001.(X.25.) sz. Kormány rendelet. A cikk a program végrehajtásának Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei jellegzetességeivel foglalkozik.

Kulcsszavak: *ivóvízminőség-javítás, vízellátó rendszer, felszín alatti vízkészletek*

Abstract

The Drinking Water Improvement Program's objective is to supply healthy drinking water for the population. In the framework of the EU legal harmonization based on the 98/83 EC Directive limits the Governmental Decree No.201/2001. (X.25.) Korm. on drinking water quality requirements and control came into force in November of 2001. This study includes the local features and execution of Drinking Water Quality Improvement Program in Szabolcs-Szatmar-Bereg County.

Keywords: *water quality improvement, drinking water supply, ground water resources*

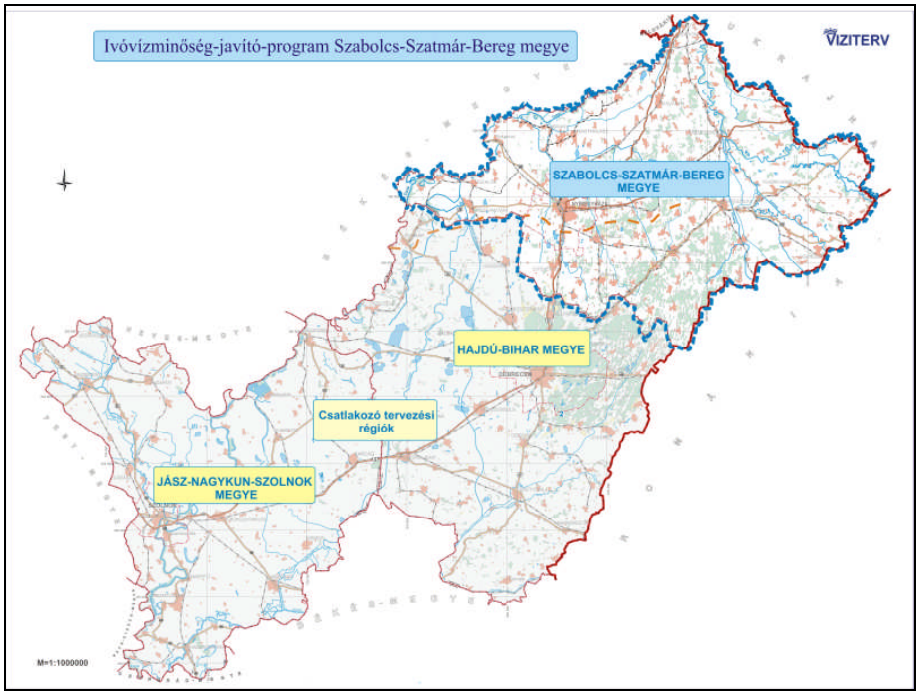
1. Az Ivóvízminőség-javító Program célja és tartalma

Az Ivóvízminőség-javító Program célja a lakosság egészséges ivóvízzel való ellátásának biztosítása, az életminőség javítása. Az Európai Unió emberi fogyasztásra szánt ivóvíz minőségére vonatkozó követelményeit a Tanács 1998. november 3-i 98/83/EK irányelve tartalmazza. A csatlakozási tárgyalások során Magyarország is kötelezettséget vállalt ezen irányelvek betartására. Az európai jogharmonizáció keretében 2001. novemberben hatályba lépett „az ivóvíz minőség követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló" **201/2001. (X.25.) sz. Kormányrendelet**.

A Rendelet hatálya kiterjed az emberi fogyasztásra szolgáló víz (ivóvíz) minőségi követelményeire és vízminőség-ellenőrzés rendjére. Az európai

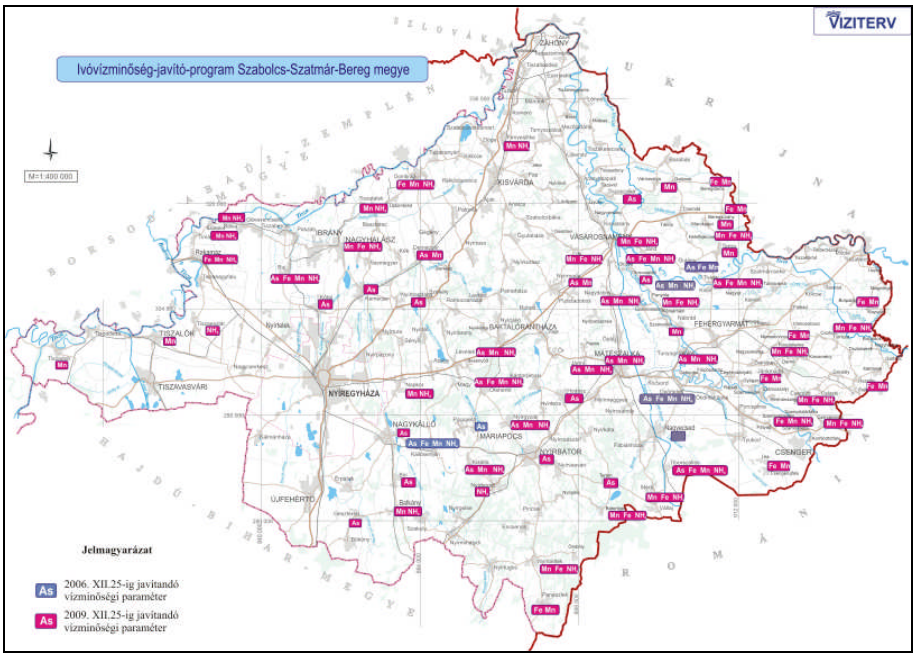
szabályozással harmonizáló új határértékek és a régi szabályozás között eltérés megmutatkozik a vizsgálandó paraméterek számában és a paraméterek értékeinek szigorodásában is. A szolgáltatott vízben az eddigi 300 µg/l vastartalom helyett az új határérték 200 µg/l, mangántartalom esetében 200 µg/l helyett 50 µg/l, arzéntartalomnál a 30 és 50 µg/l közötti elfogadható érték megszűnt, s helyette a szolgáltatott víz arzéntartalma a 10 µg/l értéket nem haladhatja meg. Ammónium ion tartalom tekintetében az eddigi 1 mg/l (2 mg/l tűrhető érték), 0,5 mg/l - re, nitrit esetében pedig az 1 mg/ l érték 0,5 mg/l – re csökkent.

Fenti célok elérése érdekében Magyarország ivóvízminőség-javító programot dolgozott ki először országos, majd régiós (1. ábra) szinten.



1. ábra. *Ivóvízminőség-javító Program az Észak-Alföldi Régióban*

A Programban azok a települések szerepelhettek, ahol a szolgáltatott víz minősége nem felelt meg a rendeletben meghatározott határértékeknek, illetőleg azon ivóvíz-minőségi problémával nem rendelkező települések, melyek műszaki kapcsolatuk alapján, mint vízátadó települések szerepeltek



2. ábra. *Kifogásolt vízminőségi komponensek a megye területén*

1.1. A program előzményei és végrehajtása

1.1.1. A Program előzményei

Az 1997-ben elkezdődött ivóvízminőség-javító program előzményei közé tartozik, hogy 2001-ben elkészült *az Észak-Alföld régió Ivóvízminőség-javító program előzetes megvalósíthatósági tanulmánya***,** ami egy összefoglalóból és három részre osztott mellékletsorozatból áll. Ez a tanulmány alapozta meg a régió ivóvízminőség-javító programjának I. ütemét.

1.1.2. A Program végrehajtása

Az Észak-Alföldi Régióban 2001. év során kezdődött az Ivóvízminőség-javító Program (továbbiakban: Program) I. üteme. A Program I. üteméhez a régióban 41 település tartozik, amely 25 vízműről kapja a vezetékes ivóvizet.

A Program II. üteméhez az Észak-Alföldi Régió többi azon települése tartozik, mely szerepelt a Kormányrendeletben illetőleg nem tartozott az I. ütemben fejlesztendő települések közé. (Jelen dolgozat a II. ütem Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei jellegzetességeit ismerteti.)

Az Észak-Alföldi Regionális Fejlesztési Ügynökség Kht. megbízása alapján az **„Észak-Alföldi Régió Ivóvízminőség-javító Programja II. üteme – II/2.**

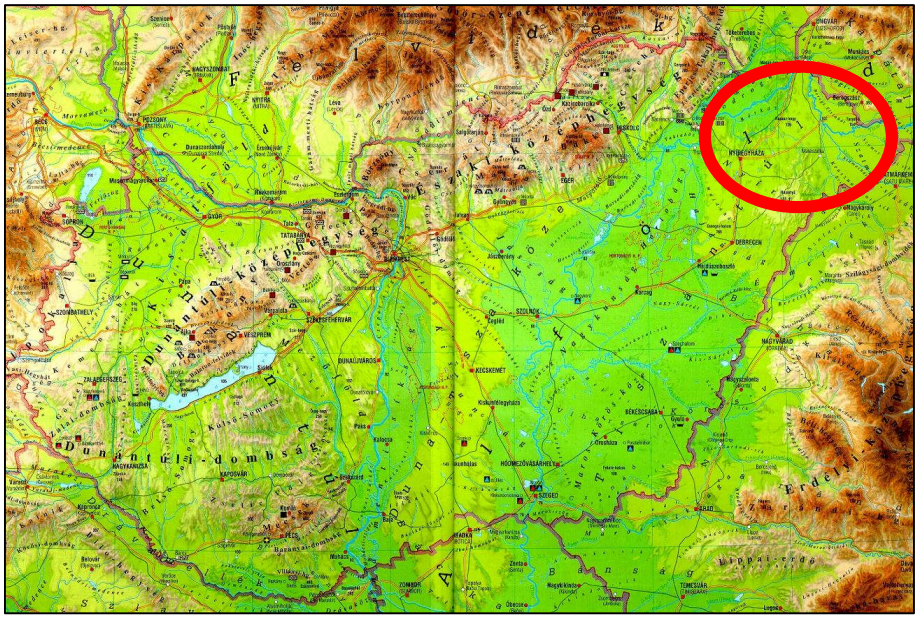
előkészítési szakasza – Elvi engedélyes tervezés, Kohéziós Alap nagyprojekt előkészítése” tárgyú munkát az AQUAPROFIT – FŐMTERV – MÉLYÉPTERV – ÖKO KONZORCIUM végezte. A feladat-végrehajtás során több tervfázison keresztül készült el a Program megvalósítását finanszírozó Kohéziós Alap pályázati dokumentáció.

Az Ivóvízminőség-javító Program II. ütemében Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében első körben 67 elvi vízjogi engedélyes terv-változat került kidolgozásra.

1.2. Szabolcs-Szatmár-Bereg megye ivóvízellátásának rövid bemutatása

1.2.1. A megye ivóvízbeszerzésének főbb jellemzői

Az Észak-Alföldi Régió ÉK-i részén elhelyezkedő Szabolcs-Szatmár-Bereg megye (2. ábra) területén az *ivóvízellátás szempontjából a felszín alatti vizeknek kiemelt jelentősége van, hiszen a megye vízellátása 100 %-os mértékben felszín alatti vizeken alapul.*

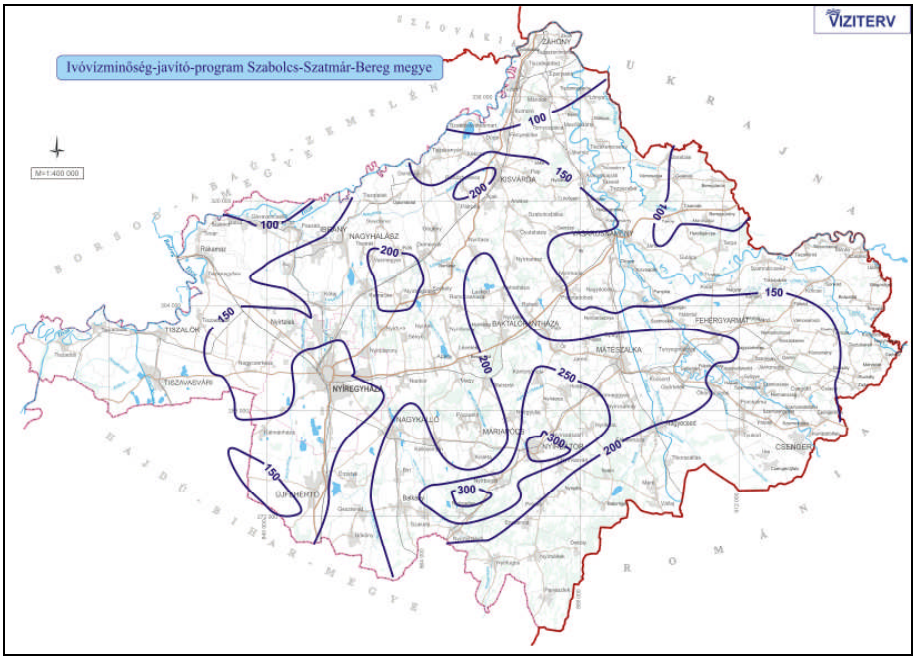


3. ábra. *A vizsgált terület természeti környezete*

Szabolcs-Szatmár-Bereg megye a Nyírség homok-domborzati szigetére, s a Felső-Tisza-vidék alacsony árterületére (Rétköz, Beregi-sík, Szatmári sík) tagolódik.

1.2.2. A víztároló összletek jellemzése

Az ivóvíz beszerzés céljára a pliocén-pleisztocén korú törmelékes víztárolók jöhetnek számításba a területen. A jelenlegi ivó-, ipari- és mezőgazdasági célú vízigények kielégítése a hideg édesvizeket tároló 50-320 m vastagságú pleisztocén alluviális összletből történik. A *közműves vízellátás alapjául elsősorban az alsó pleisztocén rétegvizek szolgálnak.* A pleisztocén rétegösszlet vastagságának területi alakulását a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra. *A pleisztocén összlet vastagsági térképe*

1.2.3. A felszín alatti vizek vízminőségi jellemzői

Az Észak-alföldi Régióhoz tartozó Szabolcs-Szatmár-Bereg megye vízbázisaira telepített mélyfúrású kutak vizében:

- A vastartalom mindegyik vízbázison meghaladja az ivóvíz törvényben előírt 200 µg/l határértéket. Vastalanítás szükséges.
- A mangántartalom ugyancsak mindenütt meghaladja az ivóvíz törvényben előírt 50 µg/l határértéket. Mangántalanítás szükséges.
- Az ammónium tartalom néhány vízbázis kivételével meghaladja az ivóvíz törvényben előírt 0,5 mg/l határértéket. Ammónium tartalom csökkentés szükséges.

- Az arzén tartalom a vízbázisok nagy részénél meghaladja az ivóvíz törvényben előírt 10 µg/l határértéket. Arzén tartalom csökkentés szükséges.
- A metángáz tartalom több vízbázison a mélyfúrású kutak vizében a termelt és szolgáltatott vizek gázmentesítéséről szóló 12/1997. (VIII. 29.) KHVM rendelet szerint „B" fokozatú, 0,8-10 l/m3.
- A kémiai oxigén igény két vízbázison meghaladja az ivóvíz törvényben előírt 5,0 mg/lO2 határértéket, amelyet a vízminőség-javító programban figyelembe kell venni, csökkentés szükséges.
- A trícium, mint ismeretes, az első atomrobbantáskor került a föld légterébe. A talajból a csapadék bemosta a talajvízbe, és a sérülékeny vízbázisokon jelenleg már egy-egy mélyfúrású kút vizében is kimutatható a trícium izotóp, mint nyomjelző.
- Egyes vízbázisok egy-egy kútjának vizében az ivóvíz törvény határértéke feletti réz, nikkel, ólom, alumínium, antimon tartalmat vagy fenol-indexet regisztráltak. Ezeket az adatokat nem önmagukban, hanem a vízbázis többi kútjának vizében mért adatokkal együtt a kutak elegyvizére vonatkoztatva kell értékelni.

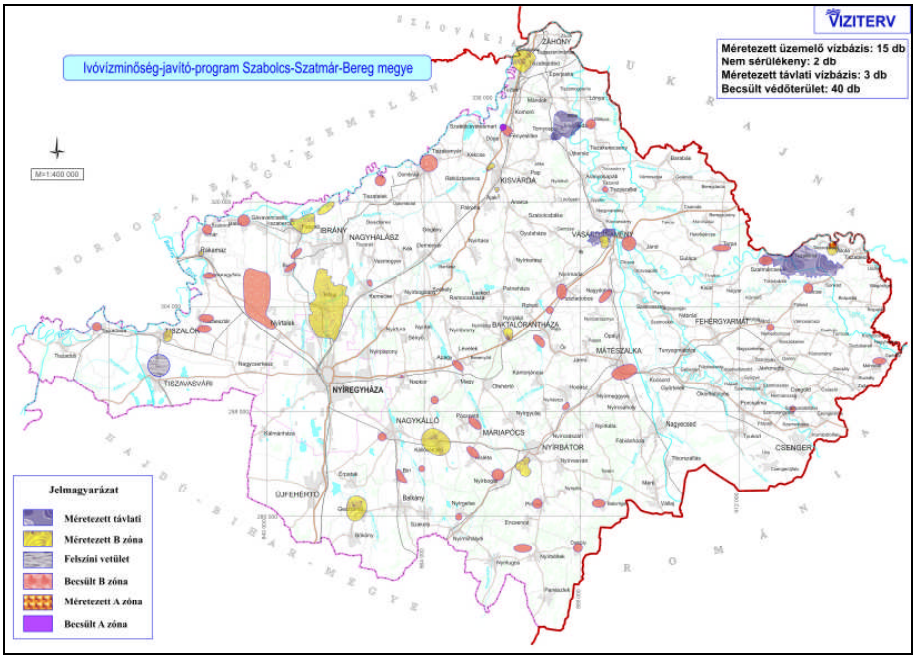
Az egyes vízbázisok kútjainak elegyvizére vonatkoztatva kell értékelni a mértékadó vas, mangán, ammónium, arzén, KOI és metángáz tartalom adatokat is.

A megyében a többi alkotórész tekintetében az ivóvíz kedvező összetételűnek minősíthető. Kalcium-magnézium hidrogén karbonátos jellegűek a vizek. Az ilyen jellegű vizek jól oltják a szomjat, üdítő ízűek. Kloridot, szulfátot csak kis mennyiségben tartalmaznak. Szabad CO_2 tartalmuk a mész-szénsav egyensúlyhoz szükséges mennyiség, nem agresszívek a vizek. Karbonát keménységük elég nagy ahhoz, hogy az ivóvízhálózat acél anyagú felületein védőréteg képződjön, az ivóvízhálózatban másodlagos vízminőség romlás (vastartalom beoldódás) ne következzen be.

1.2.4. A vízbeszerzésre használt felszín alatti ivóvízbázisok védelme

Az ivóvízminőség-javító program megyei tervezésének megalapozása kapcsán külön és hangsúlyosan kell foglalkozni a távlati és üzemelő ivóvízbázisok védelmével. Ezen vízbázisok mintegy fele sérülékeny földtani környezetben van. Mivel a közüzemi ivóvízellátás fejlesztésének időszakában többnyire nem került sor a felszín alatti vízkészletek védelmét szolgáló kutatásokra [2] - védőterületek modellezésére [3], figyelő-ellenőrző rendszer kiépítésére - ezeket már az üzemelő vízbázisokon utólag kellett, illetve kell végrehajtani.

1997-től a Vízbázisvédelmi Célprogram keretében országosan szinten kezdődtek el a központi költségvetési forrásból finanszírozott vízbázisvédelmi beruházások. A megye 59 db sérülékenynek minősített üzemelő vízbázisának (5. ábra) csak egy részén fejeződött még be a diagnosztikai fázis.



5. ábra. *Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei ivóvízbázisok védőterületei*

1.3. A közüzemi ivóvízellátás jelenlegi állapota

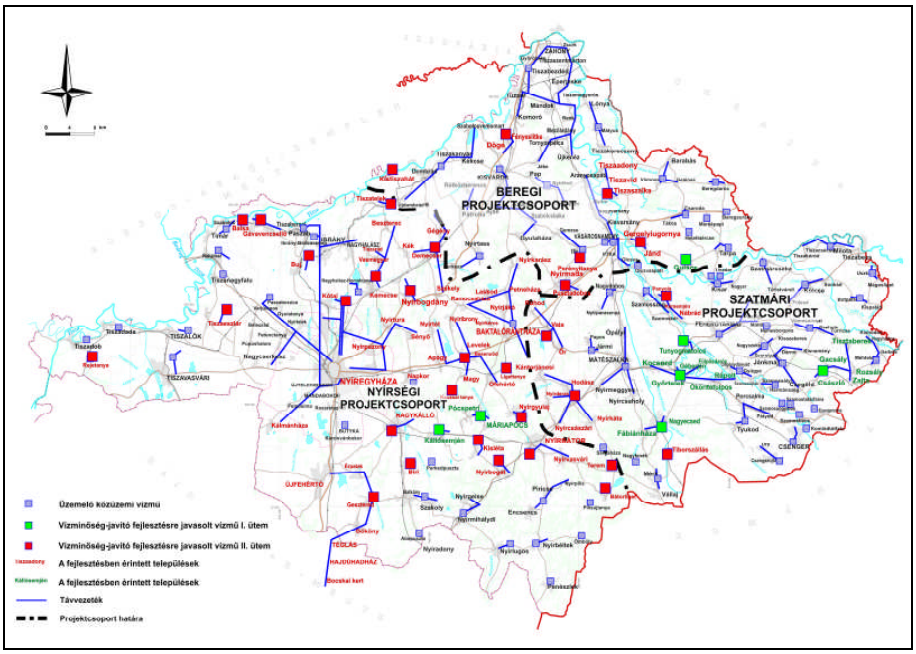
1.3.1. Vízbeszerzés

A megye területén a települések vezetékes ivóvízzel történő ellátására helyi, vagy a közeli területeken létesített mélyfúrású kutakkal van biztosítva a vízszükséglet kielégítése.

1.3.2. Vízkezelő művek

A vízellátás másik fontos részterülete a vízkezelés. A közüzemi vízellátást szolgáló **települési vízkezelő művek megépítése 1963-ben kezdődött és 1992-ig tartott**.

A megyei közművesítés során a fejlesztési irányok figyelembe vételével kerültek kialakításra a vízellátó művek. A közművesítés befejeztével a reálisan kialakítható kistérségi rendszerek is szinte mindenütt kialakultak. kerülhettek számításba. A megye vízellátó rendszerei a 6. ábrán kerülnek bemutatásra.



6. ábra. *Szabolcs-Szatmár-Bereg megye vízellátó rendszerei - Projektcsoportok I.*

1.3.3. Vízkezelés, technológia

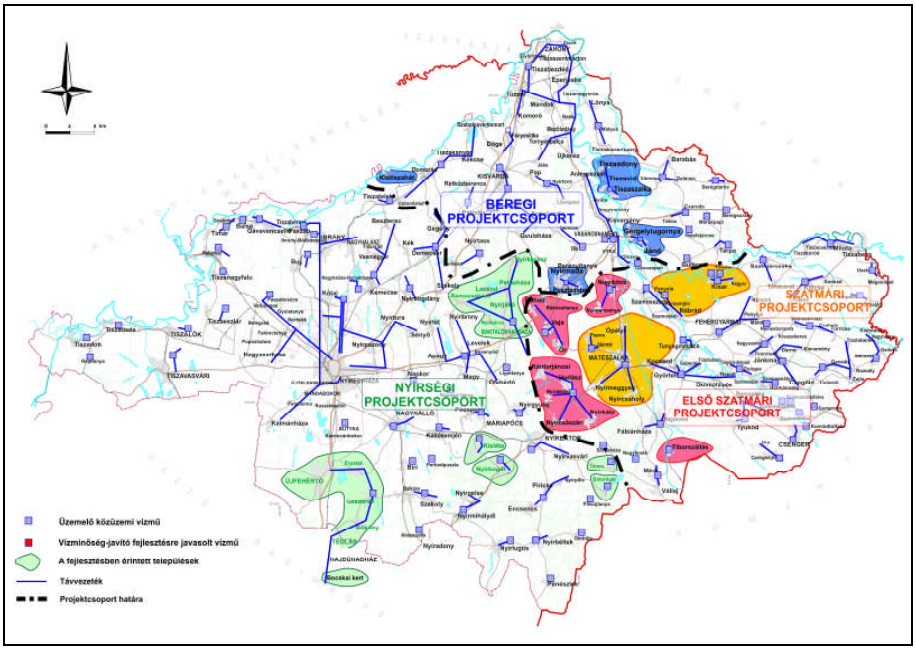
A víztisztító technológiával rendelkező telepek közül a korszerű, jó műszaki állapotú vízmű telepek száma a Program indulásakor 7 db volt, mely a teljes kapacitás 19 % - át jelentette. A közepes műszaki állapotú telepek száma 25 db, melyek kapacitása 44 % -a, a maradék 37 % a teljesen elavult, leamortizálódott műszaki állapotban lévő víztisztító technológia, vagy technológia nélkül üzemelő vízmű.

1.3.4. Ivóvízhálózatok

Az ivóvíz hálózatok kiépítése a vízmű telepekkel nagyobbrészt egy időben történt meg, kivéve a későbbi bővítéseket. Mind a helyzetfeltárás, mind pedig az előkészítés során részletes felmérések és értékelések történtek ahhoz, hogy a lehetséges mértékű hálózatrekonstrukciós feladatok is előirányzásra kerülhessenek.

1.4. A program végrehajtásának Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei adatai

A támogatási pályázat benyújtásához a régió többi megyéjéhez hasonló módon Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében is projektcsoportok szerveződésével - Önkormányzati Társulások megalakulásával több alprojekt készült.



7. ábra. *Szabolcs-Szatmár-Bereg megye vízellátó rendszerei - Projektcsoportok II.*

A tervezési folyamat végén megállapítható, hogy Szabolcs-Szatmár-Bereg megye területén a Program II. ütemében összesen 4 Önkormányzati Társulás érintett, 52 résztvevő településsel. A benyújtott pályázatok száma 4, melyek befogadásra kerültek.

2. Összefoglalás

Az Ivóvízminőség-javító országos program keretében előirányzott fejlesztések az emberi fogyasztásra szolgáló ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló 201/2001. X.25.) Korm. Rendelet előírásainak teljesítését szolgálják.

Az ivóvizek minőségére vonatkozó fontosabb komponensekre (Fe, Mn, As, ammónium, nitrit, bór stb. esetében) előírt korábbitól szigorúbb határértékeknek való megfelelés technológiai fejlesztéseket, esetenként a vízbázis oldal rekonstrukcióját kívánja. A tanulmányban a Program előkészítésnek és végrehajtásának menetét, továbbá a Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei főbb jellemzők ismertetésének keretein belül a felszín alatti vízbeszerzés és a nyersvíz minőségének területenként illetőleg területrészenként eltérő sajátosságait szándékoztam bemutatni. Ez utóbbi nagy jelentőséggel bír, mivel az alkalmazandó

technológiai eljárások és fejlesztések kiválasztását nagymértékben befolyásolja a vízellátás alapjául szolgáló vízbázis vízminőségi állapota és az adott vízbázison feltárt felszín alatti vizek speciális vízkémiai jellege is. Mindezek együttes figyelembe vétele mellett lehet csak a hálózaton szolgáltatott egészséges, íz- és szaghatás mentes ivóvizet biztosítani.

3. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

4. Irodalomjegyzék

[1] **Viziterv Consult Kft.**, Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei Ivóvízminőség-javító Program helyzetfeltáró Nyíregyháza, 2003.

[2] **P. Szűcs and Gy. Ritter**, Improved interpretation of pumping test results using simulated annelaing optimization. ModelCARE 2002, Proceedings of the 4th International Conference on Calibration and Realibility in Groundwater Modeling. Prague, Czech Republic, 17-20 June 2002.,ACTA UNIVERSITAS CAROLINAE – GEOLOGICA 2002, 46 (2/3), pp. 238-241.

[3] **P. Szucs, T. Madarasz**, Complex hydrogeological modeling of multifunctional artificial recharge options of the Great-Forest Park in Debrecen, Hungary. Water Pollution VIII, Modelling, Monitoring and Management. Editors: C.A. Brebbia and J.S. Antunes do Carmo WIT Press, 2006, pp. 177-184., ISBN: 1-84564-042-X.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 325-332.

ÁSVÁNYI SZENEK ALKALMAZHATÓSÁGA A SZENNYEZÉSEK TOVATERJEDÉSÉT MEGAKADÁLYOZÓ GÁT- TECHNOLÓGIÁKBAN

Lakatos János [(1)], Madarász Tamás[(2)]

[(1)] *Egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Kémiai Intézet, 3515 Miskolc – Egyetemváros*
mtasotak@uni-miskolc.hu

[(2)] *Egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Hidrogeológiai - Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc – Egyetemváros,*
hgmt@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

Lignitek és ásványi szenek alkalmazhatóságát vizsgáltuk meddőhányókból, a nem megfelelően szigetelt hulladéklerakókból kiáramló szennyező anyagok tovaterjedésének korlátozására létrehozandó reaktív permeábilis gát aktív anyagaként. Statikus és áramló rendszerben végzett kísérletek bizonyították, hogy a szorpció időigényének figyelembevételével fenti természetes anyagok felhasználásával a toxikus fémionokat hatékonyan megkötő gát tervezhető.

Kulcsszavak: *felszín alatti vizek, nehézfémszennyezés, reaktív gát, szorpció, ásványi szenek.*

Abstract

Lignates and coals as sorbents were investigated as active component of permeable reactive barriers for protection of aquatic reservoirs against the pollutants leached out from mining waste deposits and improperly sealed landfills. Based on static and dynamic experiments the applicability of these natural sorbent was prouved.

Keywords: *underground water, heavy metals, reactive barrier, sorption, coals.*

1. Hazai szeneink felhasználhatósága permeábilis gát aktív anyagaként

Az ásványi szenek ionmegkötő képessége régóta ismert, [1-8]. Az ionmegkötésért felelős funkciós csoportok léte elsősorban az oxigén heteroatomnak köszönhető, a csoportok gyengén savas jellegűek. Ez lényeges körülmény a gátanyagként való felhasználás szempontjából, ugyanis az a jellegzetessége, hogy a nehézfémek és az átmeneti fémek megkötődése nagy alkálifém és alkáliföldfém koncentrációknál is jelentős marad. Az ionmegkötésért felelős funkciós csoportok száma a szénüléssel csökken, a lignit és a barnaszén előfordulásainkban van csak akkora hetero-atomokat tartalmazó funkciós csoport tartalom, amelyik elegendően nagy

ionmegkötést tud biztosítani. Ha ionmegkötésre szénültebb szenet akarunk használni olyan előkezelés szükséges, amelyik megfelelő számban alakít ki ionmegkötésben szerepet játszó csoportokat a felületen. Az ásványi szenek meddő formájában mindig tartalmazzák a geológia környezetet. Ez két módon befolyásolhatja az alkalmazhatóságot: reakcióba léphet a kezelendő folyadékkal ezáltal módosulhat a kezelendő víz ionösszetétele. Ez a jelenség akkor lehet lényeges, ha a kőzetből az oldódás során a megkötendő ionnal versengő ionok juthatnak a kezelendő vízbe. Ilyen versengő ion a meddővel rokon kőzeteknél elsősorban a vas ionjai lehetnek. A másik a lignit, szén geológiai környezetével összefüggő jellegzetesség, hogy a cserepoziciókban lévő kationok minősége a geológiai környezet jellegzetességeit tükrözi vissza. Az 1. táblázat adatai alapján megállapítható, hogy kalcium, magnézium és esetenként kevés vas található ioncserével mobilizálható formában a visgált szenek cserehelyein. Nátrium, kálium gyakorlatilag nincs ilyen módon kötötten a szeneken. A lecserélhető ionok összegeként adódó érték a cserekapacitás jó becslésének tekinthető.

1. táblázat. *A szenek cserehelyein található kationok megoszlása.*
(1 M $BaCl_2$ hatására mobilizálódó fémionok)

Minta	Kioldott elem mennyisége [mmol g^{-1}] száraz szén					
	Na	K	Mg	Ca	Fe	Na+K+ Mg+Ca+ Fe
Bükkábrány (d<100μm)	0	0	0,06	0,44	0,06	0,56
Visonta (d<500μm)	0	0	0,09	0,40	0,00	0,49
Borsod (d<500μm)	0	0	0,08	0,43	0,00	0,52
Nógrád (d<500μm)	0	0	0,09	0,28	0,00	0,37
Tatabánya (100μm < d<315μm)	0	0	0,07	0,32	0,00	0,39
Dorog (d<500μm)	0	0	0,02	0,36	0,00	0,39
Mecsek (d<500μm)	0	0	0,02	0,13	0,05	0,19
Pécsi külfejtés (d<100μm)	0	0	0,02	0,10	0,00	0,12

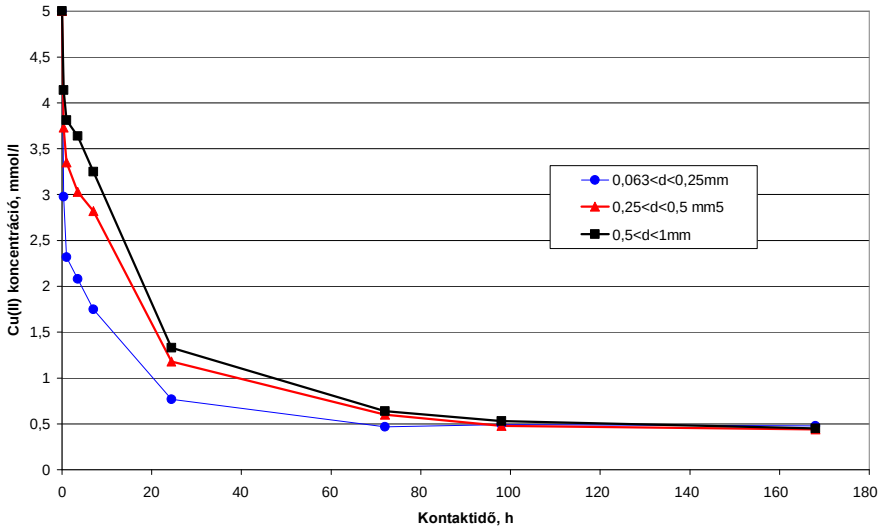
Összevetve az izotermákból számolt cserekapacitás értékeivel, (2. táblázat), a különböző elveken mért ionmegkötési adatok között jó egyezés adódik. Az 1. táblázat alapján megállapítható, hogy a vizsgált szenek funkciós csoportjaihoz zömében olyan ionok kötődnek amelyek mobilizációja a gátban történő alkalmazáskor nem jelent számottevő környezeti kockázatot. Ez összhangban van azzal az irodalomból ismert megállapítással, miszerint a szenek és a talajok esetében a nyomelemek koncentrációjának intervalluma nem tér el számottevően egymástól azaz a szenek és a talajok összeilleszthetősége jó [9].

A humin anyagokon, a szeneken végbemenő ionmegkötésért elsősorban karboxil (-COOH), ill. fenolos –OH csoportok a felelősek [1-8]. A karboxil csoport egy gyengén savas ioncserélő csoport, a fenolos hidroxil elsősorban mint ligandum a koordinatív kötéssel kialakuló szorpcióban játszik szerepet, protonja számottevően ugyanis csak pH> 9 fölött disszociál. A gátban ezért ioncserén alapuló ionmegkötés főleg a karboxil csoportokon lesz várható. Az alkálifémekkel végzett ioncsere vizsgálat alkalmas arra, hogy ezt a folyamatot jellemezze. Különböző ligniteken és szénültebb szeneken meghatározva a szorpciós izotermákat kiszámíthatók a szorpciós akapacitás adatok, 2. táblázat, amelyik az aktív szenekkel összemérhető, elegendően nagy ahhoz, hogy gazdaságosan kialakítható gátmérettel hatékony szennyezés visszatartást valósítsunk meg [10-11].

2. táblázat. *A tőzegek, lignitek és szénültebb szenek kalcium ionszorpciós kapacitása pH:5 és pH:8-nál*

. Szorbens	Teljes szén-tartalom C dmmf [%]	Aromás és teljes szén tartalom aránya $C(sp^2)_{rel}$ db	pH:5		pH:8.2	
			Erős kölcsönha-tásból származó kapacitás q_1,db [mM g^{-1}]	Teljes kapacitás $q_1+ q_2$,db [mM g^{-1}]	Erős kölcsönha-tásból származó kapacitás q_1, db [mM g^{-1}]	Teljes kapacitás $q_1+ q_2$,db [mM g^{-1}]
Skye tőzeg	56.2	0.24	0.16	0.45	0.79	0.79
Visonta lignit	56.6	0.39	0.14	0.7	0.41	0.64
Mequinenza lignit	65.8	0.44	0.15	0.22	0.28	0.46
Hamback lignit	67.5	0.63	0.15	0.41	0.60	0.60
Can lignit	69.0	0.60	0.12	0.12	0.14	0.34
Tatabányai lignit	70.5	0.47	0.17	0.56	0.54	0.54
N-Dakota lignit	74.5	0.76	0.21	0.56	0.58	0.58
Gedling nagy illó tartalmú feketeszén	81.6	0.62	0.007	0.014	0.019	0.019
Gedling oxidált szén	-	-	0.62	0.95	0.68	0.87

A maximális megköthető ionmennyiség szén szerkezeti sajátosság, így a különböző pH-nál kapott izotermákból számolt kapacitás értékeknek azonosnak kell lenni. Az izotermákat linearizált formában ábrázolva megállapítható, hogy többségük nem irható le az egyszerű Langmuir modellel, hanem az un „ két felületű„ Langmuir hipotézist kell alkalmazni, [12]. Ez azzal magyarázható, hogy a felületen különböző erősségű kölcsönhatások kialakulására van lehetőség. (A felület heterogenitás a két felületű Langmuir modellben egy erős és egy gyenge kölcsönhatásra van felbontva). Az erős kötést kialakító szorpciós helyekhez tartozó kapacitás a 2. táblázatban q_1, míg a teljeset q_2 értékeként adtuk meg. A kapacitás adatokat a különböző forrásból származó, de azonos szénültségű szeneknél összehasonlítva megállapítható, hogy az erős kölcsönhatásokhoz tartozó kapacitás nem mutat nagy különbséget. A származási helytől függő eltérés a kapacitásokban a gyenge kölcsönhatásokhoz rendelhető. Ha a gátban el akarjuk kerülni azt, hogy a gyenge kölcsönhatással megkötött ionok a folyadék pH változása, kedvezőtlen víz összetételbeli változások miatt szabaddá váljanak célszerű az erős kölcsönhatáshoz tartozó kapacitást alapul venni a gát tervezésénél.



1. ábra. *A szorpció sebessége. Cu(II) ionok megkötődése különböző méretfrakciójú bükkábrányi ligniteken.* *(m szilár/m folyadék :1:40, c(Cu): 5 mM).*

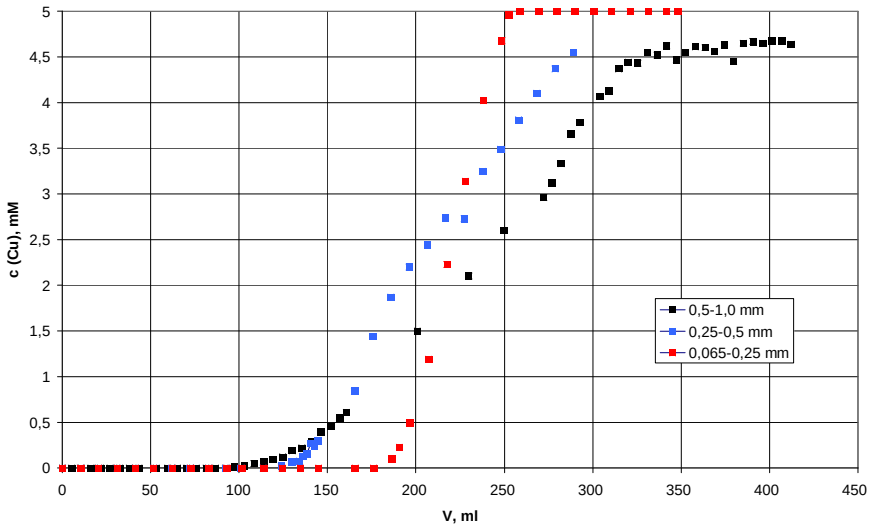
A 2. táblázat oxidált fekete szénre (Gedling) vonatkozó adatai rámutatnak arra is, hogy azoknál a szeneknél, ahol az ioncseréért felelős funkciós csoportok hiányoznak a csoportok egyszerű kezeléssel (oxidáció) kialakíthatók. Ha a megkötésben nem csak a karboxil csoportok vesznek részt, hanem koordinatív kötés kialakítása révén a fenolos –OH is szerepet kap a szén a fent tárgaltaknál

nagyobb mennyiségű ion megkötésére lesz képes, ionmegkötő képessége a nagyobb szénültség irányába kitolódik Ez az eset jellemzően az átmeneti fémeknél fordulhat elő.

Az ionszorpciós kapacitás nem mutat, az egyeansúly beáltakor nem mutathat részecske méret függést. Részecskeméret függés a szorpció sebességében várható. A szorpció sebességét az 1. ábrán bemutató görbék arról tanúskodnak, hogy a szorpció sebessége kicsi. Nem kevert rendszerben 100 h (kb. 4 nap) kell ahhoz, hogy az egyensúly beálljon. Ez egy gátban 0,01 pórustér/h áramlási sebességnek felel meg. A szorpció sebesség alapján azzal kell számolni, hogy az egyensúlyi kapacitással jellemzett ionvisszatartás (2. táblázat) csak megfelelő hosszú tartózkodási idővel tervezett gát esetében lesz megvalósítható

2. Az ioncserekapacitás kihasználhatósága áramló rendszerben

A kérdés vizsgálatához egy modell gátat alakítottunk ki, amelyikben homokkal megtámasztva, homok lignit keverék jelenti az aktív anyagot. A gát megtöltése légszákok elkerülése miatt nedvesen történik, a pórustérfogat számítása a száraz és a vízzel telített rendszer tömegkülönbségeként áll elő. A szorbensként különböző szemcseméretű bükkábrányi lignitet tartalmazó modell gát áttörési görbéit a 2. ábrán mutatjuk be.



2. ábra. *Cu(II) ion áttörési görbék bükkábrányi lignit-fehérvárcsurgói homok tölteten különböző méretű lignit szemcsék bekeverésekor.(m(lignit) 2 g, c(Cu): 5 mM, v: 0,1 cm^3min^{-1} (0,5 pórustér/h)) .*

A modell gátban a szorbenst önállóan ionvisszatartást nem mutató fehérvárcsurgói homokkal 1:10 arányban keverve használtuk. Az áttörési görbék alapján két kapacitás adat számítható: az áttörési kapacitás és a gát telítődéséhez tartozó teljes kapacitás. Ezeket az adatokat az 3. táblázat tartalmazza. A dinamikus kísérletekből jól látható, hogy a vizsgált áramlási sebesség mellett a szorbens szemcseméretének szerepe van az áttörési görbék alakjában. Az áttörési görbék és szorbens részecskeméret összefüggésben két megállapítás tehető:

a) az áttörési kapacitás a részecskeméret csökkenésekor nő,

b) az áttörési görbe a részecske méret csökkenésekor egyre meredekebbé válik, azaz egyre kevesebb lesz az áttörés után kihasználatlan maradt kapacitás hányad.

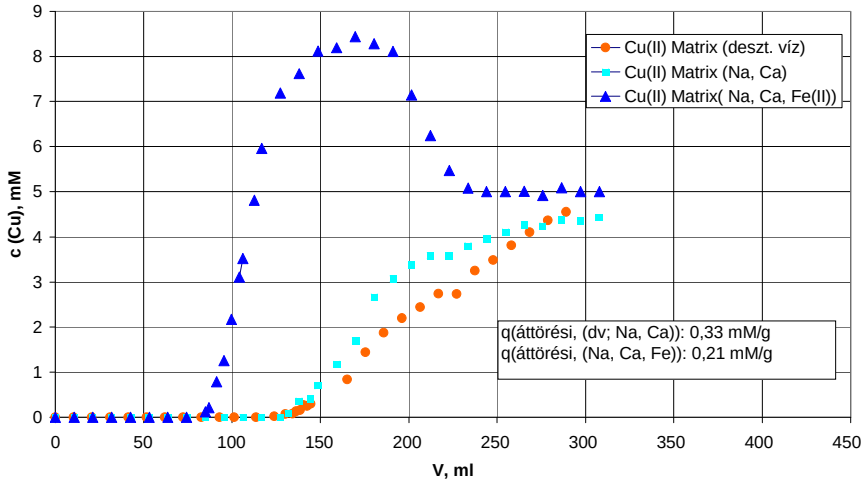
3. táblázat. *Dinamikus mérésekből és a ,,kétfelületű,, Langmuir izotermák alapján számított kapacitás adatok összehasonlítása.*

Bükkábrányi lignit szita frakciói d, [mm]	Áttörési térfogat V_1, [ml]	Áttörés utáni ekvivalens térfogat V_2 [ml]	V_1+V_2, ml	Áttörési kapacitás q_1, [mM/g]	Telítési kapacitás q_1+q_2 [mM/g]
0,065<d<0,25	176	38	214	0,44	0,535
0,25<d<0,5	124	113	237	0,31	0,5925
0,5<d<1,0	97	127	224	0,2425	0,56
Statikus kapacitás				**0,41**	**0,64**

(Kezelt oldat: 5 mM Cu(II) Pórustér:10 cm^3. Áramlási sebesség. 0,5 pórustér/h.)

Az áttörési görbéből származtatható adatokat összegző 3. táblázatban a V_1-et felfoghatjuk úgy, mint a gáton tökéletesen megtisztítható 5 mM Cu(II) iont tartalmazó folyadék fázis térfogatát, míg V_2-t úgy, mint azt a részt, ami megtisztítható lett volna a gát maximális kapacitásának kihasználásakor. Az adatokat kapacitásra átszámolva látható, hogy az áttörésig csak az erős kölcsönhatások játszanak szerepet a szennyező visszatartásában. A modellezhetőség szempontjából is fontos, hogy az izotermákból számolt statikus kapacitás adatok jól egyeznek a dinamikus mérésből számol áttörési és telítési kapacitás értékeivel, lásd. 3. táblázat. A valóságban a megkötendő ion nem önmagában, hanem más ionokkal együtt áramlik a gáton. A környezet szerepének meghatározásához egy bükkábrányi lignitet tartalmazó gátmodellen összehasonlítottuk a Cu^{2+} ion megkötődését desztillált víz, a rétegvizekben előforduló Na^+ és

Ca^{2+} ionokat valamint Na^{+}, Ca^{2+} és Fe^{2+} ionokat tartalmazó oldatok esetében, 3. ábra. Az ábra alapján megállapíthatjuk, hogy a vízben jelenlévő Na^{+} és Ca^{2+} ionok számottevően nem befolyásolják a gát működését, az áttörési kapacitás a Cu^{2+} ionokra gyakorlatilag azonos a desztillált vízben mért értékkel: 0,33 mM g^{-1}.



3. ábra. *Cu^{2+} ion áttörési görbéi bükkábrányi lignit fehérvárcsurgói homok modellen különböző összetételű folyadékoknál.*

A szorpciós helyekért a Cu^{2+} -vel összemérhető erővel versengő Fe^{2+} ill. Fe^{3+} hatással van a Cu^{2+} ionok megkötődésére: az áttörési kapacitás csökken (0,21 mMg^{-1}), már az Fe^{2+} ion áttörése előtt megkezdődik a szorbeált Cu^{2+} ion leszorítása a szorpciós helyekről. Így, ha reduktív földtani viszonyok mellet végbemehet a Fe^{3+}vagy a $Mn^{3+;4+}$ ionok redukciója, a kőzetekből mobilizálódó Fe^{2+} és Mn^{2+} ionok deszorpciót válthatnak ki gátban ill. csökkenthetik gátnak a visszatartandó ionra ideális esetben fennálló áttörési kapacitását.

3. Összefoglalás

Összegezve a kísérleti eredményeket megállapíthatjuk, hogy a szorpciós kapacitásuk alapján az ásványi szenek az átmeneti fémek, ill. nehézfémek megkötésére hatékonyan alkalmazható gátanyagok. A szorpció lassúsága miatt ennek a kapacitásnak a kihasználása csak kellően hosszú tartózkodási idő mellett biztosítható, ami a gátméret és a folyadék áramlás sebességének összehangolását igényli.

4. Köszönetnyílvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

5. Irodalomjegyzék

[1] Szalay A.: Cation exchange properties of humic acids and their importance in geochemical enrichmnet of UO_2^{++} and other cations, Geochim. Cosmochim A. 1964, 28, 1605.

[2] Szilágyi M.: Valence change of metal ions in the interaction with the humic acid, Fuel, 1974, 53, 26-28.

[3] Lakatos B. Tibai T. Meisel T.: EPR spectra of humic acids and their metal complexes. Geoderma , 1977, 19, 319-329.

[4] Stuart A. D.: Selective cation- exchange using acidic groups in coal and oxidised coal, Fuel, 1986, 65, 1003-1007.

[5] LAKATOS J.: Study of the Ion Exchange Properties of Hungarian Coals, New Trens in Coal Preparation Technologies and Equipments, Gordon and Breach Publishers, Amsterdam, Ed.: W. S. Blaschke, 1996, 549-556.

[6] J. Lakatos , S. D. Brown, C. E. Snape: High sulphur coals and oxidised high rank coals as efficient sorbent for mercury removal from Industrial waste solution. Ed.: S. Atak, G. Onal, M. S. Celik, Innovation in Mineral and Coal Processing, A. A Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1998, 755-759.

[7] Lakatos J., Szabó I., Csőke B., Snape, C. E.: Coals and biomass as active materials for permeable reactive barriers, Anyagmérnöki Tudományok, Miskolc, 2007, 33, 13-22.

[8] Lakatos, J., Brown, S.D., Snape, C.E.: Coals as sorbents for removal and reduction of hexavalent chromium from aqueous waste streams, Fuel; 2002, 81, 691-698.

[9] Swaine D. W**.:**Trace elements in coal 1990. Buttewrworth Ltd. Ch 3. p. 27., Ch 6. p 185.

[10] P. Szűcs, F. Civan, M. Virág: Applicability of the most frequent value method in groundwater modeling, Hydrogeology Journal, 2006, 14, 31-43.

[11] Böhm J., Debreczeni A., Gombkötő I., Simon F. G., Csővári M.: Laboratory Tests Using Natural Groundwater, In: K. E. Roehl, T. Meggyes, F. G. Simon, D. I. Stewart (szerk.) Long Term Performance of Permeable Reactive Bariers 7. , Elsevier, Amsterdam, 2005, 111-136.

[12] Sposito G.: On the use of the Langmuir Equation in the interpretation of Adsorption Phenomena II. The two surface Langmuir equation, Soil Sci.Soc. Am. J. 1982, 46, 1147-1152.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 333-340.

DNAPL SZENNYEZÉSEK TRANSZPORT-MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEI A GMS PROGRAMBAN

Zákányi Balázs
egyetemi tanársegéd
Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, 3515, Miskolc-Egyetemváros, hgzb@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A klórozott szénhidrogének a víznél nagyobb sűrűségű vegyi anyagok közé tartoznak. A klórozott szénhidrogének sorsát a felszín alatti környezetben a földtani közeg sajátosságain kívül az adott vegyi anyag fizikai, kémiai jellemzői befolyásolják, ezek a teljesség igénye nélkül a sűrűség, kinematikai viszkozitás, felületi feszültség, kémiai összetétel, oldhatóság vízben és egyéb oldószerekben, gőznyomás, Henry-állandó, nedvesítő képesség, amelyeket a transzport modellezésnél mind-mind figyelembe lehet venni. Nehézséget az jelent, hogy nehéz a DNAPL-ről ilyen adatokat találni.

Kutatásaink során a Groundwater Modeling System-em (GMS) programcsomagot használtuk. A klórozott szénhidrogének modellezésére a következő két modult használtuk: UTCHEM: Az Utchem a GMS egyik modulja. A Texasi Egyetem (Austin), Olaj és Környezeti rendszerek mérnöki központja fejlesztette ki, eredetileg szénhidrogén szennyeződések modellezésére alkalmazható. SAEAM3D: Reaktív transzport szimulációs kód, mellyel komplex, több szubsztrátumot és elektron akceptort is figyelembe vevő biodegradációs feladatok modellezhetők

Kulcsszavak:t *transzport modellezés, GMS, DNAPL*

Abstract

The chlorinated hydrocarbons belong to denser water-chemicals. Except to the subsurface geological features the behaviour of chlorinated hydrocarbons may be considered their chemical, physical, chemical characteristics, influence, these are not limited to density, kinematic viscosity, surface tension, chemical composition, solubility in water and other solvents, vapor pressure, Henry constant and wetting in the transport modelling. The difficulty is that it is not so easy to find such information from DNAPL.

In our research we used the Groundwater Modelling System (GMS). For modelling we used the next two modules: UTCHEM: Utchem is a module of the GMS. The module was developed at the Center for Petroleum and Geosystems Engineering at the University of Texas at Austin as a chemical flood simulator for enhanced oil recovery design. In recent years, Utchem has been adapted for a variety of environmental applications as well. SAEAM3D: A reactive transport model used to simulate complex biodegradation problems involving multiple substrates and multiple electron acceptors.

Keywords: t*ransport modelling, GMS, DNAPL*

1. Bevezetés

Napjainkban a környezetvédelem egyik legfontosabb problémaköre a hátrahagyott talaj- és felszín alatti vizek szennyezettsége és elszennyeződésének veszélye. Az ezzel kapcsolatban felmerülő feladatok - mint például egy szennyezőforrás okozta szennyezés felszámolása, víztermelő kutak veszélyeztetettségének kimutatása - megoldásában szinte minden esetben transzportmodellezés is alkalmazásra kerül. A transzportmodellezés a valóságban felszín alatt lejátszódó szennyezőanyag-terjedési folyamatok szimulációja, követése számítással.

Magyarországon az elmúlt évszázadban jelentősen nőtt az előállított és felhasznált kockázatos vegyi anyagok mennyisége. A kockázatos vegyi anyagok közül a klórozott szénhidrogének alkalmazására hazánkban az elmúlt 50-70 évben került sor [1]. A klórozott szénhidrogének környezeti elemekre és az élővilágra kifejtett káros hatásainak felismerése és kezelése körülbelül 30-40 évvel ezelőtt kezdődött a világon, hazánkban 20 évvel ezelőtt.

Felismerték, hogy a környezeti elemek (talaj, földtani közeg, felszín alatti víz, felszíni víz, levegő) tisztasága komoly jelentőséggel bír a földi élet fennmaradása és minősége szempontjából, és a szennyezettség mértéke pénzben is mérhető és kifejezhető.

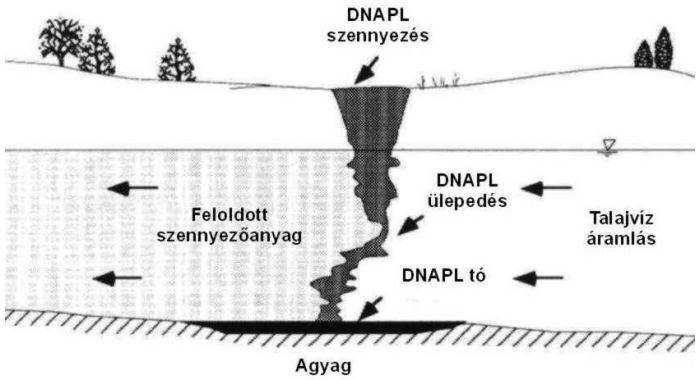
2. A klórozott szénhidrogének és kimutatásuk

A klórozott szénhidrogének általában apolárosak és vízzel nem elegyednek. Lipofil sajátságuk alkalmassá teszi őket zsírok és olajok oldására. Éghetőségük a halogéntartalom függvénye; azaz minél nagyobb a halogéntartalom, annál kisebb az éghetőség, így pl. a CCl_4 tűzoltó-berendezésekben használt anyag. Kémiai viselkedésük jelentősen eltér a szénhidrogénektől. A C-X kötés ugyanis a halogénezett szénhidrogének könnyen támadható reakciós pontja. Ez teszi például alkalmassá ezeket a vegyületeket, hogy a szerves szintézisekben további származékok előállítására használják fel őket [2].

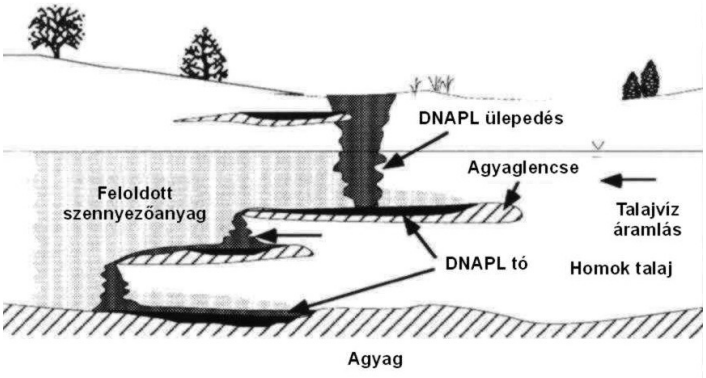
Ezen anyagok kimutatása során a mérési módszerek kialakításánál figyelembe kell venni, hogy a kérdéses vegyületek koncentrációja a vizsgált közegben a természetes hígulás miatt igen kicsi (µg/l tartomány). Ráadásul, többnyire számos rokon származék van jelen egymás mellett [3]. Ezek egyedi meghatározása érzékeny elválasztási és mérési eljárások alkalmazását kívánja meg. Ilyenek a korszerű műszeres analitikai módszerek, melyek folyamatos fejlődésüknek köszönhetően egyre kisebb vizsgált mintamennyiségből, egyre pontosabb meghatározást tesznek lehetővé.

3. A halogéntartalmú szerves vegyületek viselkedése és terjedése a talajban és a felszín alatti vízben

A szerves szennyezések részben a levegő útján, részben, mint folyadékok, pl. szivárgások, kiömlések formájában vagy a szennyvízzel kerülhetnek a talajba, ahol bonyolult megoszlási, lebomlási és transzportfolyamatok alakítják ki mindenkori koncentrációjukat. Ezek a talajba került szerves vegyületek részben a talajvízbe jutnak, részben a talaj szemcséihez kötődnek. A vízzel érintkezésbe kerülő szennyezések egy része, oldott vagy különálló fázisként, a vízzel együtt vándorolhat *(1. és 2. ábra)*.



1. ábra. *DNAPL szennyezés mozgása homogén talajban.*



2. ábra. *DNAPL szennyezés mozgása inhomogén talajban.*

A víznél nagyobb sűrűségű és vele nem elegyedő folyadékok (DNAPL-dense, non-aquaeuos phase liquids) – köztük a legtöbb halogéntartalmú szerves vegyület – kezelhetőségét megnehezíti, hogy hajlamosak a víztől elkülönülve a talaj repedéseiben meghúzódni. Ezek a zárványok nem követik a talajvíz mozgását és eltávolításuk igen nehéz, sokszor lehetetlen feladat. (A szilárd és folyadékfázis

közti megoszlás, a szorpció/deszorpció, valamint a DNAPL-zárványok kialakulása fizikai törvényeknek alávetett, egyensúlyi feladat. Az egyensúly helyzete függ a szóban forgó anyagok természetétől és a befogadó közeg fizikai-kémiai sajátságaitól.) [4].

A nem-vizes folyadékok (NAPL) a talaj repedéshálózatán keresztül jutnak el a talajvízbe, terjedésük irányát e repedésekben kialakuló kapilláris erők és a felhajtóerő viszonya szabályozza.

A klórozott szénhidrogének sorsát a felszín alatti környezetben a földtani közeg sajátosságain kívül az adott vegyi anyag fizikai, kémiai jellemzői befolyásolják, ezek a teljesség igénye nélkül a sűrűség, kinematikai viszkozitás, felületi feszültség, kémiai összetétel, oldhatóság vízben és egyéb oldószerekben, gőznyomás, Henry-állandó, nedvesítő képesség [5].

4. Klórozott szénhidrogének transzportmodellezése

4.1. A Groundwater Modelling System

A Groundwater Modelling System az egyik legátfogóbb szivárgáshidraulikai modellezési rendszer. Olyan átfogó rendszer, mellyel a hidrodinamikai- és transzportmodellezés minden fázisa elvégezhető:

- területjellemzés,
- modellfelépítés,
- optimalizálás,
- utófeldolgozás, és
- megjelenítés.

A GMS véges differencia és véges-elem 2D és 3D modellekkel is együttműködik: MODFLOW 2000, MODPATH, MT3DMS/RT3D, SEAM3D, ART3D, UTCHEM, FEMWATER, PEST, UCODE, MODAEM és SEEP2D [6].

A program moduláris felépítése lehetővé teszi, hogy a felhasználó csak azokat a modellezési képességeket használja, amelyekre szüksége van.

4.2. Az Utchem modul

Az Utchem programot a Texasi Egyetem (Austin), Olaj és Környezeti rendszerekkel foglalkozó mérnöki központja fejlesztette ki. Eredetileg szénhidrogén szennyeződések modellezésére alkalmazták, mára azonban a különböző környezetvédelmi problémák megoldására alakították át. A program önmagában is megvásárolható, de része a Groundwater Modelling System-nek (továbbiakban GMS) is.

A Miskolci Egyetem Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszékén ezzel a program csomaggal (GMS) foglalkozunk, már három éve. Ezek közül most az Utchemet mutatjuk be.

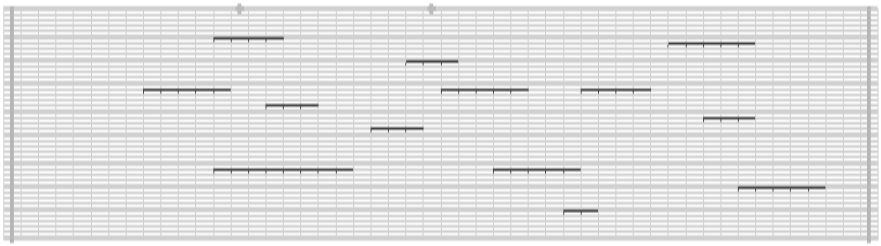
Mire is használható az Utchem? Mint már azt említettük 3-dimenziós több komponensű, több fázisú véges differencia modellt lehet létrehozni. Nagyon jól használható szennyeződésterjedések, és NAPL (Non-Aqueous Phase Liquid) szennyeződéseknek felületaktív anyagokkal elősegített kármentesítésének (*Surfactant Enhanced Aquifer Remediation - SAER*) modellezésére. Ideális eszköze az UTCHEM a pump-and-treat rendszerek szimulációjának.

A következő fejezetben egy esettanulmányt mutatunk be, ahol egy klórozott szénhidrogén szennyezést szimuláltunk.

4.3. Esettanulmány bemutatása az Utchem modul alkalmazásával

Adott területen két pontszerű forrásból 1 ill. 0,75 m^3/d főként PCE-t tartalmazó szénhidrogén származék került a talajba 30 napon keresztül.. A terület földtanáról elmondható hogy több kisebb nagyobb mikro-rétegzettségű agyag rétegek találhatók a szennyeződések alatt, amelyen az olajszármazék nem tud (vagy csak nagyon kis mértékben tud) áthatolni. A szénhidrogén származék sűrűsége 1,6 g/cm^3. A talajvíz áramlási iránya balról jobbra van.

A 3. ábrán a földtani közeg látható, amelyben jól megfigyelhető a mikro-rétegzett agyagrétegek és a modell határfeltételei.

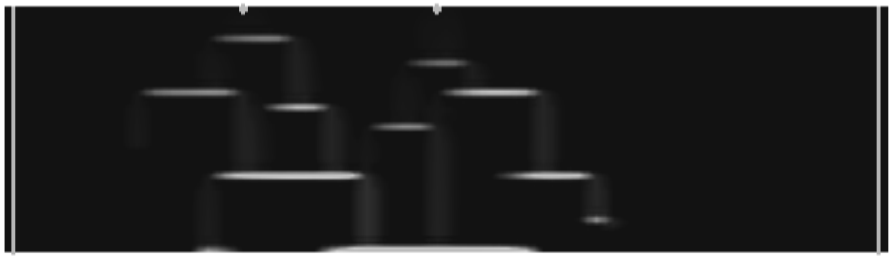


3. ábra. *A homokos homoklisztes talajban lévő mikrorétegzet agyagrétegek és a szennyező- források.*

Az alábbi ábrán a klórozott szénhidrogén transzport modellje látható, a szennyezést követő 30. napon. Jól látható a PCE koncentrációjának növekedése az agyag rétegeken.

4. ábra. *A 30 napos szennyezés után fél évvel kialakult szennyeződés eloszlás.*

A 4. ábra a klórozott szénhidrogén eloszlást mutatja a szennyezést követő 3. évben. Megfigyelhető a kvázi vízzáró rétegen való növekvő szennyező anyag koncentráció.



5. ábra. *A 3 év elteltével kialakuló szennyeződés.*

4.4. A sztochasztikus modellezés és a SEAM3D modul

A GMS program egyik legvonzóbb lehetősége a MODFLOW-hoz, illetve a hozzá kapcsolódó transzportmodellekhez rendelkezésre álló sztochasztikus modellezési eszközök megléte.

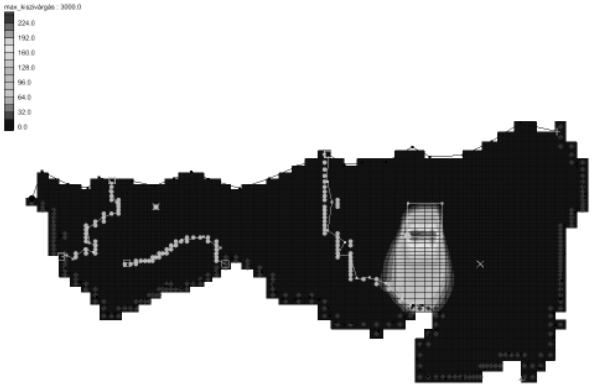
A sztochasztikus szimulációk kétféleképpen építhetők fel: paraméter randomizációs megközelítés és indikátor szimuláció. A paraméter randomizáció a különböző realizációkat véletlen mintavétellel (Monte Carlo), Latin Hypercube mintavétellel, vagy Gauss-mezőkkel hozza létre [7].

A 6. ábra egy hulladéklerakó meghibásodásából adódó maximálisan kiszivárgó csurgalékvíz mennyiségét mutatja 3000 napra vonatkozóan. A modellezés során három paraméter értékét – 1 zóna beszivárgást, 2 zóna beszivárgást és szivárgási tényezőt – becsülni tudtuk, ezért minimum és maximum értékeket állítottuk be, ezzel létrehozva egy-egy intervallumot. A következő lépésben ezeket további három részre (szegmensekre) osztottuk fel és megadtunk egy feltételezhető deviáns értéket. A Modflow ezek után 27 futatást készít (3*3*3), aminek végén különböző eseteket hoz létre az egyes paraméterek kombinációjából és megjeleníthető a legvalószínűbb eset.

Sztochasztikus inverz szimuláció is végezhető, melynek során mindegyik modellfuttatásra elvégezhető a paraméterbecslés az optimális értékek megkeresése érdekében. Továbbá, a sztochasztikus MODFLOW és MT3D megoldásokra statisztikai elemzések végezhetők. Létrehozhatók és megjeleníthetők az átlag, a minimum és maximum, valamint a szórás értékek adatkészletei.

A SEAM3D Reaktív transzport szimulációs kód, mellyel komplex, több szubsztrátumot és elektron akceptort is figyelembe vevő biodegradációs feladatok modellezhetők. A modul alapja a MT3DMS kód. A SEAM3D - az MT3DMS modulhoz képest – tartalmaz egy biodegradációs és egy NAPL típusú

szennyeződések lebomlást szimuláló csomagot. SEAM3D Mark Widdowson fejlesztette ki a Virginia Tech egyetemen.



6. ábra. *Egy hulladéklerakóból kiszivárgó csurgalékvíz sztochasztikus modellezésének eredménye*

5. Összefoglalás

Munkánk első részében bemutattuk a felszín alatti környezetbe került vízzel nem elegyedő és a víznél nagyobb sűrűségű klórozott szénhidrogének mozgásformáit, azokat befolyásoló tényezőket. Megállapítható, hogy az önálló szerves fázis két megjelenési formája a szivárgáslassító képződmények felszínén az összefüggő folyadéktest, ahol a pórustér nagyrészt szerves fázissal kitöltött, és a cseppek, erek formájában elkülönülő forma, ahol a pórusok szerves fázisú telítettsége alacsony.

A második részben bemutattuk a Grundwater Modeling System programcsomagot és annak moduljait. Ezek közül kiemeltük azt, amely leginkább alkalmas a klórozott szénhidrogének modellezésére, ez pedig az Utchem modul. Részleteztük a program menü rendszerét és felhívtuk a figyelmet arra, hogy, e szennyezőanyagoknál, mennyire fontos a megfelelő és pontos adatok ismerete. Végül egy esettanulmányon keresztül bemutattuk egy klórozott szénhidrogén modellezést.

6. Köszönetnyilvánítás

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával,az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Irodalomjegyzék

[1] Nyari Z., Neducza B., Szucs P., Madarasz T., Halmoczky Sz.: *Non-invsive geophysical methods in environmental diagnostics of contaminated sites*, EAGE (European Association of Geoscientists and Engineers) 69th Conference and Exhibition – London, UK, 11-14 June 2007, E010, pp. 1-5

[2] A. Lucianoa, P. Viottib, P. M. Papinic: *Laboratory investigation of DNAPL migration in porous media*, Journal of Hazardous Materials 176 (2010), pp. 1006-1017

[3] Z. Dokou, G. F. Pinder: *Optimal search strategy for the definition of a DNAPL source*, Journal of Hydrology 376 (2009) 542–556

[4] Kovács B. (2004): Hidrodinamikai és transzportmodellezés I., Miskolc

[5] P. Szucs, T. Madarász and A. Toth: *Complex hydrogeological modeling of multifunctional artificial recharge options of the Great-forest park in Debrecen, Hungary*, Intellectual Service for Oil and Gas Industry. Analysis, Solutions, Perpectives, Proceedings, 4th Volume, ISBN: 978-963-661-761-5., University of Miskolc and UFA State Petroleum Technological University, 2007., pp. 140-145.

[6] Engineering Computer Graphics Laboratory (1998): *Groundwater Modelling System – The department of defense*, Brigham Young University

[7] P. Szucs, F. Civan, M. Virag: *Applicability of the most frequent value method in groundwater modeling*. Hydrogeology Journal (2006)

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 341-348.

A KÖRNYEZETVÉDELEM EGYIK ALAPPILLÉRE AZ EGÉSZSÉGTUDATOSSÁG, FELMÉRÉS A KÖRNYEZETMÉRNÖK HALLGATÓK KÖRÉBEN

Ozsváth Gábor[1], Tóth Ilona[1], Godó Zoltán Attila[2]

[1] Hallgató, [2]Adjunktus
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék
4028. Debrecen, Ótemető u. 2-4.
ogabry@gmail.com, tilona87@gmail.com, godoz@dragon.unideb.hu

Összefoglalás
A környezetmérnök hallgatók hivatásuknak a környezet védelmét választották. Céljuk, hogy védjék környezetüket és óvják a szennyezésektől. Vizsgálódásunk fő célja, hogy kiderítse, mennyire vannak tudatában annak, hogy legszűkebb környezetükbe saját maguk tartoznak. Törődnek-e saját egészségük megóvásával, védik-e ugyanúgy saját szervezetüket a szennyező káros anyagoktól, mint ahogy azt tágabb környezetükkel teszik? Ezen tanulmányokat folytató hallgatókkal anonim kérdőívet töltettünk ki egészségtudatossággal kapcsolatos szokásaikról, önszennyezésre való hajlamukról, azok módjáról, majd végül méréseket végeztünk és kerestük az ezek közötti összefüggést.

Kulcsszavak: *környezetmérnök, egészség, önszennyezés*

Abstract
Students studying environmental engineering have chosen to protect the environment as a profession. Their aim is to protect their environment and save it from pollution. The main goal of our investigation is to find out how much they are aware of the fact that their own immediate environment includes themselves. We also examine whether they care about their own health or if they protect themselves against various chemicals like they do with their bigger environment. Students undertaking studies in this science were requested to fill in an anonymous survey regarding their habits in relation to their own health awareness, their tendency for and ways of self-contamination. Finally measurements were taken and correlation between the measured values and students' habits were looked for.

Keywords: *Environmental Engineer; Health; Self—Contamination*

1. Bevezetés

Napjainkban az emberek egyik legrosszabb tulajdonsága a tudatos és öntudatlan környezet- és önszennyezésük. Nagyon kevesen élnek környezet- és egészségtudatosan. Rossz szokásaink és életmódunk nagyon sok kihatással jár. Mind a természetet károsítjuk, mind pedig önmagunknak ártunk közvetve vagy közvetlen. Így többek között egyre gyakoribbak és egyre fiatalabb korban jelennek

meg a különböző betegségek is. Ilyen következményekhez sorolhatjuk napjaink talán legnagyobb két népbetegségét is, a cukorbetegséget és a magas vérnyomást.

Fiatalok körében egyre gyakoribb az alkohol- és drogfogyasztás, illetve a dohányzás. Az egyetemisták korosztálya különösen veszélyeztetett csoport a szenvedélybetegségek kialakulása szempontjából. Ők gyakorlatilag fiatal felnőttek, akiknek kilépve középiskolai környezetükből és korlátaikból, korábbi kapcsolataik nagy része megszakad, hirtelen környezetváltozást élnek meg, teljesen új közegbe kell beilleszkedniük, itt helyt kell állniuk, óriási teljesítménykényszerrel és stresszel kell szembenézniük. Életmódi és életkori sajátosságaik miatt is, főleg ebben a helyzetben különösen sok veszélynek vannak kitéve.

Fontos a fiatalok körében már hangsúlyozni az egészség megőrzésének fontosságát és módját, a környezet- és egészségtudatos életmód lehetőségét és a káros szenvedélyek és az önmagunkkal szemben elkövetett figyelmetlenségek és rossz szokások következményeit. Az egyetemista populáció már az a korosztály, amelynek már fel kell tudnia mérni mindezeknek igazi jelentőségét és megfelelő információk birtokában képesnek kell lennie arra, hogy alkalmazkodjon az elvárt, számára hasznos és fontos környezetkímélő és egészségmegőrző viselkedéshez. A legtöbb egyetemista még nem kerül kapcsolatba ilyen fórumokkal, tájékoztatásokkal, de vannak, akik tanulmányaik során közvetlenül tanulnak is ehhez kapcsolódó dolgokról. Ilyenek például a műszaki tudományokon belül a környezetmérnök hallgatók, ezért kerültek vizsgálatainknál előtérbe.

2. Célkitűzéseink

Manapság egyre inkább előtérbe kerül a környezetünk védelme. Egyre nagyobb figyelmet fordítunk rá, hogy a környezetükre milyen hatásokat gyakorolnak a különböző vegyszerek, mérgek. Ugyanakkor nem felejtkezhetünk el róla, hogy mi is a környezet részei vagyunk. Törődünk-e azzal, hogy a saját egészségünkkel mi lesz a jövőben? Óvjuk a környezetet, felvesszük a földre hulló szemetet, de a másik kezünkben ott van a cigaretta? Hogyan fér meg a kettő egymás mellett? Egészségünket ugyanúgy védenünk kell, mint a környezetünket. A környezetmérnök szakokra jelentkező hallgatók elhivatottságát a környezetvédelem iránt nem lehet megkérdőjelezni. Élethivatásuknak választották azt. Ők emellett vajon mennyire figyelnek oda saját egészségükre? A káros vegyszerektől csak a környezetet óvják vagy önmagukat is? Célunk, hogy ebben a tanulmányban fényt derítsünk ezekre az igencsak lényeges kérdésekre.

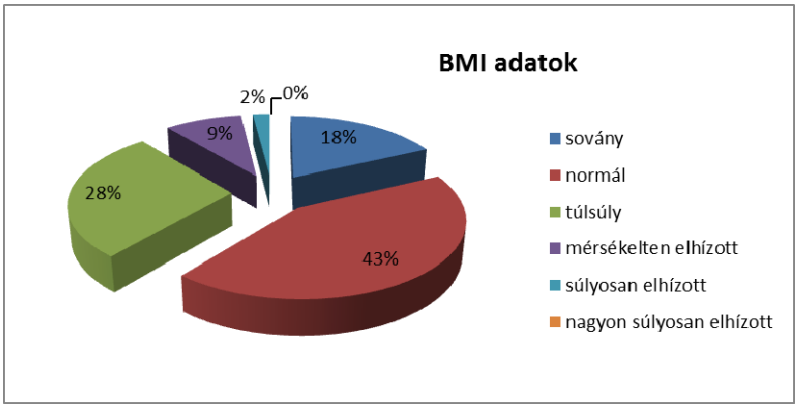
A hallgatók által kitöltött tesztlapon vizsgáltuk a hallgatók étkezési szokásait, különös tekintettel a bevezetésben említett népbetegségekre vonatkozó kockázati tényezők kapcsán. Vizsgáltuk káros szenvedélyekkel való viszonyukat, és hogy milyen környezeti hatásokkal szembesülnek, melyek befolyásolhatják ezekhez fűződő kapcsolatukat. Majd a kérdéssor végén megmértük a kérdezett alanyok magasságát, testtömegét, centrális kerületét és vérnyomását, pulzusát.

3. Cukorbetegség

A cukorbetegség egy anyagcsere-betegség, mely szövődményei révén rontja a beteg életminőségét és életkilátásait. A betegség következtében a szervezet inzulinhiányban vagy annak hatásának csökkenésében szenved. Emiatt nem képesek a test bizonyos sejtjei a vérből a cukrot felvenni, ezek a sejtek éheznek, ugyanakkor a vércukorszint megemelkedik. Így a vérből a szőlőcukor a vizelettel ürül és meglehetősen sok vizet visz magával. A cukorbetegségben általános az erek elmeszesedése, mely az egész szervezet érhálózatát érintheti. Ez szív- és agyi infarktust okozhat, a végtagok vérellátási zavaraihoz is vezethet, illetve romolhat a veseműködés és a látás is.

Ugyan vércukorszint mérésre nem volt lehetőségünk, így az általános cukorhasználati szokásról, sportolás gyakoriságáról, a családban előforduló szívinfarktusról és cukorbetegségről tettünk fel kérdést. Ehhez kapcsolódóan megtudtuk, hogy a hallgatók jelentős többsége, 85%-a a cukrot részesíti előnyben egyéb édesítőszerekkel szemben. A családi kórelőzmények szerint a válaszadóink majdnem felénél van vagy volt cukorbeteg a vérrokonok között, mely igen magas aránynak mondható. Érdemes megvizsgálni a sportolási szokásokat és az elhízást is. A hallgatók kb. 3/4-e rendszeresen sportol, mely arány nem olyan rossz, de életkorukat tekintve lehetne közel 100% is. Elhízás tekintetében nem olyan jó a helyzet, ráadásul kiemelt hajlamosító tényező. A széles körben alkalmazott BMI index az obesitas jól bevált mérőszáma. A testtömeg és magasság értékeiből a BMI index könnyen kiszámítható az alábbi képlet segítségével:

$$BMI = \frac{testtömeg(kg)}{magasság(m)^2}.$$



1.ábra

Mint az ábrán is látszik, a túlsúlyosak, a mérsékelten és súlyosan elhízottak aránya sajnos igen magas, 39%.

A cukorbetegség megelőzhető lenne rendszeres testmozgással, egészséges táplálkozással. Cukor helyett a méz, mint természetes édesítőszer használható, illetve a cukorbevitelt mérsékelni kell. A káros szenvedélyek is fokozzák a betegség kialakulásának veszélyét. Fontos lenne a vércukorszint folyamatos ellenőrzése azoknál, akiknek családjában már előfordult a diabétesz és hajlama lehet ennek öröklésére.

4. Magas vérnyomás

A magas vérnyomás betegség népegészségügyi jelentőségét nem lehet eléggé hangsúlyozni, hiszen a felnőtt lakosság közel negyedét érinti.

Magas vérnyomásról beszélünk, ha egy felnőtt ember ülő testhelyzetben, szívmagasságban lévő mandzsetta és vérnyomásmérő esetén mért vérnyomása eléri a 140/90 Hgmm-t vagy bármelyik érték meghaladja azt.

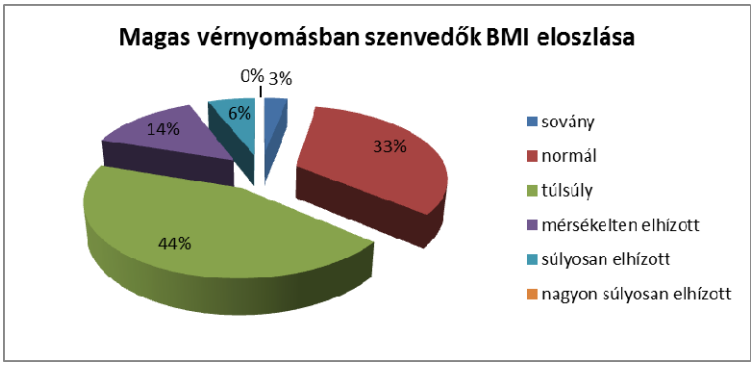
A magas vérnyomás szív-, érrendszeri- és vesebetegségek kialakulásához vezet. A kezeletlen hipertóniás betegek egyharmada hal meg az agy vérellátásának zavarában. A koszorúér betegségek kialakulásának kockázata is háromszorosára emelkedik a hipertóniás betegeknél. Összeszűkülnek az erek és bizonyos szervek vérellátása is csökken. A magas vérnyomás tehető felelőssé a verőértágulatok kialakulásáért. És ez a lista még korántsem teljes.

Mérésünk idején az alanyok egyharmada rendelkezett 140 Hgmm-es, illetve afeletti systolés vagy 90 Hgmm-es, illetve afeletti diastolés vérnyomás értékekkel. Ez az arány nagyon magasnak mondható.

A magas vérnyomás egyik rizikófaktora az egyetemisták körében a koffeinfogyasztás, kávé-, teafogyasztás, melyet a magasabb szellemi teljesítményhez vélnek szükségesnek. Ezek közül mi a kávézással kapcsolatos szokásokat kérdeztük. A megkérdezettek negyede minden nap kávézik, de ebből az adatból még messzemenő következtetéseket nem lehet levonni. A naponta kávét fogyasztók szintén negyede az, akiknél magasabb vérnyomásértéket mértünk.

Nemek tekintetében korábbi kutatásokban már kimutatták, hogy fiatalabb korban a férfiakra, idősebb korban a nőkre jellemzőbb a hipertónia. Ez jelen felmérésben is tökéletesen kirajzolódott a vizsgált korosztályban is. Mivel 98%-os a férfiak aránya, a következő néhány összefüggésben csak a magas vérnyomással rendelkező férfi egyéneknél vizsgáljuk, hogy milyen okai lehetnek a betegség kialakulásának. Közülük 24% az, aki kerüli a zsíros ételek fogyasztását. Tekintve, hogy az elhízás az egyik legnagyobb kockázati tényező, ez az arány nagyon alacsony, a már eleve magas vérnyomással rendelkezők között.

Nézzük meg, hogy a már ismert BMI értékek milyen arányokat mutatnak ebben a célcsoportban.

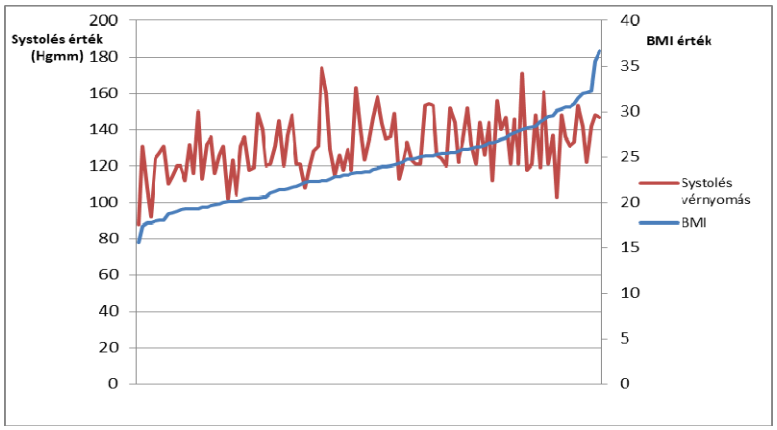


2. ábra

Ebből jól látszik, hogy a célcsoport több mint fele már a túlsúlyos vagy a mérsékelten, ill. a súlyosan elhízott kategóriába tartozik.

Korábbi vizsgálatok szerint az alkoholfogyasztás és a dohányzás negatív hatással van a vérnyomásértékekre. Ez jelen felmérésünkben is beigazolódott. A mért értékek szerint a többet dohányzók és több alkoholt fogyasztók vérnyomása magasabb volt.

Végül visszautalva a BMI adatokra, érdemes megnéznünk, hogy az általunk vizsgált összes hallgató esetében, mutatkozik-e tényleges összefüggés a BMI szám és a hipertónia között.



3. ábra

Ezen az ábrán látszik az egyértelmű kapcsolat és a szoros összefüggés az obesitas és a hipertónia között. Ez alapján kijelenthető, az elhízottabb emberek magasabb vérnyomással rendelkeznek.

A hipertónia nem gyógyítható betegség, korai felismerése a hatékony kezelés záloga lehet, ami a lakosság életkilátásait javítja. Fiatal korban, a halmozott rizikófaktorokra való figyelemfelhívás vagy a kezdődő magas vérnyomás észlelése és a megfelelő tájékoztatás alapvető fontosságú.

5. Dohányzás

Megfigyelések és tudományos kísérletek nyomán teljesen egyértelmű, hogy a dohányzás súlyos egészségkárosító hatású.

A dohányzás számos betegségtípusnak lehet okozója vagy elősegítője. Okozhat különböző ráktípusokat: ajak-, gége-, szájüreg-, nyelőcső-, hasnyálmirigy-, illetve veserákot is. Nagy szerepet játszhat különböző légzőszervi megbetegedések kialakulásában. Ugyanakkor a dohányzással bevitt nikotin olyan elváltozásokat okoz a keringési szervrendszerben, melyek következtében magas vérnyomás vagy koszorúér betegség alakulhat ki. A dohányzás csökkenti az erek tágulékonyságát, sokkal merevebbé teszi azokat, így növeli a vérrögök kialakulásának esélyét is.

Ma már a magyar lakosság több mint fele dohányzik. A környezetmérnök hallgatók ismerik ezeket a káros következményeket, de sajnos hasonló arány mutatkozik.

A dohányzás megjelenése nagy hatással lett azokra is, akik nem élnek ezzel a káros szenvedéllyel. Kialakult a passzív dohányzás fogalomköre. Számos bizonyíték van arra, hogy még károsabb hatásokkal tud bírni ez utóbbi. Például ha kiemelünk egy gyermeket, aki kiskora óta dohányzó szülők mellett nevelkedett, akkor már középiskolás korában nagyon hasonlít a tüdeje egy erősen dohányzóéhoz. Felmérésünkben 55% passzív dohányos.

Különböző vizsgálatok bizonyították, hogy jelentős összefüggés tapasztalható a fiatalkorban elkezdett dohányzás és az ebben a korban kialakuló légzőszervi panaszok megjelenése között. Ilyenkor még csökkenthetőek a kóros elváltozások, megszűntethetőek a tünetek a dohányzás felhagyásával. Ez különösen indokolttá teszi a fiatalok körében történő felvilágosítást és egészségnevelő munkát.

6. Alkoholfogyasztás

Az alkoholfogyasztás ártalmas az egyén egészségére, bűncselekményekhez vezethet, hosszú távon rokkantságot és halált is okozhat, számos baleset forrása is lehet. Az alkohol nagymértékben lassítja az anyagcserét, hosszú távon mérgezi a sejteket, szívizom károsító hatása van, szívritmuszavar, szívinfarktus és magas vérnyomás előidézője lehet. Nem csak biológiailag veszélyes, hisz szenvedélybetegséggé alakulhat.

Az egyetemisták nagy többsége a problémái miatt fordul az alkoholhoz, hogy megfeledkezzen azokról, illetve vannak, akik egyszerűen csak jól szeretnék érezni magukat és kisebb százalék, aki más okból nyúl az italhoz.

Megkérdezettjeink mindössze 7%-a az, aki nem iszik havi rendszerességgel sem alkoholt. Az alkoholt fogyasztó hallgatók közel fele érzi magát stresszesnek. A stressz önmagában nagyfokú kockázati tényező bármilyen tudatmódosító szer használata tekintetében. Az alkoholt fogyasztók több mint 60%-a férfi és csak alig 40%-a nő. Férfiak tekintetében a társadalom elnézőbb, míg nők esetében ez szégyenletesebb dolgot jelent.

A mérsékletes alkoholfogyasztás társadalmilag elfogadott, sőt egyes orvosi esetekben javallott is, megfelelő önkontrollal és odafigyeléssel megőrizhető az egészséges határ.

7. Droghasználat

A tudatmódosító, hallucinogén anyagok az emberiség megjelenésével egyidősek. Ezek a tudatmódosító szerek bizonyos ideig kikapcsolják az embert a való életből és egy kábult, valótlan mámorba juttatják. Nagyon sok fiatal az életében fellépő űrt, ürességet szeretné megszűntetni az ilyen szerek használatával. Különböző kábítószerek mind másképp hatnak az idegrendszerre, még ugyanaz a drog sem mindig ugyanúgy hat. A droghasználat célja egy kellemes tudatállapot elérése, de aki függő lesz, annak egy idő után meglehetősen kellemetlen hallucinációkban lesz része, melyeket szívesen elkerülne, de ilyenkor már nem ura a helyzetnek. Ezek a szerek nemcsak mentálisan befolyásolják az egyént, hanem erőteljes fizikai függőség jön létre. Ekkor ezek hiánya már nagyfokú fizikai rosszulléthez, kómához és halálhoz is vezethet. A szervezet ekkor már nem képes életben maradni a drog nélkül.

Kutatásunkban megvizsgáltuk, hányan kerültek már kapcsolatba kábítószerrel eddigi életük során. Sajnos 1/3-uk már kipróbált valamilyen kábítószert. Ezen hallgatók 24%-a ráadásul nem csak kipróbálta, hanem rendszeresen él ilyen tudatmódosító szerek használatával. Nemek szerinti megoszlást tekintve hasonló minta mutatkozik az alkoholéhoz, a kipróbálók majdnem 80%-ban férfiak, s közülük kerülnek ki a rendszeres fogyasztók is.

A rendszeres használók felmérésünk alapján legrosszabb esetben hetente használnak ilyen jellegű tudatmódosító szereket. Egy egyetemistánál gyakorlatilag a legfontosabb tulajdonságokra van hatással, csökkenti a tanulási képességet, fáradtságérzet jelentkezik, csökken a koncentrálóképesség és az egyén elveszti a motivációját. Férfiaknál már kis koncentrációja is veszélyezteti a nemzőképességet, nőknél a normális menstruációs ciklusban okoz gondokat.

A droghasználók 86%-a rendszeresen dohányzik is és kivétel nélkül mindegyikük halmozva a káros élvezeteket, rendszeresen fogyaszt alkoholt is.

Megfigyelhető, hogy az előbb említett 86%, aki dohányzik, rendszeresen alkoholt is fogyaszt, illetve drogot is használ, kivétel nélkül mind magas vérnyomással rendelkezik.

8. Összefoglalás

Az előzőekben láthattuk, hogy még a környezetmérnök hallgatókban sem tudatosult, mennyire lényeges lenne saját egészségük védelme. Mindenképpen fontos lenne nagyobb hangsúlyt fektetni arra, hogy az érintett hallgatók megismerhessék az ilyen felméréseknek az eredményét és talán tudatosítja bennük a jelenlegi, lesújtó helyzetüket, felismerik ezek tényleges kockázatát és pozitívan változtatnak szokásaikon.

9. Irodalomjegyzék

[1] Baranyi É.- Winkler G.- Bánvölgyi Gy.né**:** Cukorbetegség, túlsúly és étrendi kezelésük. Golden Book, 2002.
[2] Halmos T.- Jermendy Gy. (szerk.): Diabetes mellitus. A cukorbetegség klinikai vonatkozásai. Medicina, 1999.
[3] Kékes E.- Farsang Cs**.**: A magas vérnyomás betegség. Springer Verlag, Budapest, 1992.
[4] Pikó B.: Dohányzás, mint a legelterjedtebb droghasználat. Okker Kiadó, Budapest, 2003.
[5] Pikó B.: Egészségtudatosság serdülőkorban. Akadémia Kiadó, Budapest, 2002.
[6] Szabó Gy.: Neurokémiai tényezők szerepe az alkohol idegrendszeri hatásában. Szenvedélybetegségek 2000.
[7] Elekes Zsuzsanna: Alkohol és társadalom. Országos Addiktológiai Intézet, Budapest, 2004.
[8] Elekes Zsuzsanna- Paksi Borbála: Drogok és fiatalok; Középiskolások droghasználata, alkoholfogyasztása és dohányzása az évezred végén Magyarországon. ISM. 2000.
[9] Elekes Zsuzsanna- Paksi Borbála: A magyarországi középiskolások alkohol és drogfogyasztása. Népjóléti Minisztérium, Budapest, 1996.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 349-356.

ELEMANALITIKAI MÓDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA HALAK NEHÉZFÉMTARTALMÁNAK KIMUTATHATÓSÁGA SZEMPONTJÁBÓL

Czédli Herta
adjunktus
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Építőmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4., hczedli@gmail.com

Síki Gusztáv Áron
docens
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Műszaki Alaptárgyi Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4., szikig@eng.unideb.hu

Összefoglalás
A környezetünkben jelenlévő nehézfém szennyezők mennyisége a civilizáció fejlődésével folyamatosan növekszik, veszélyeztetve az állat- és növényvilágot. Ezek az elemek az élő szervezetekben felhalmozódhatnak, és a táplálékláncban bejutva ott továbbítódnak, közvetve veszélyeztetve a tápláléklánc csúcsán elhelyezkedő embert. Részben ebből adódóan napjainkban a nehézfémeket tartják a legveszélyesebb szervetlen szennyezőknek.
Az utóbbi években egyre szélesebb körben alkalmazott gyakorlat, hogy a környezetet ért szennyezés kimutatását és nyomon követését az élő szervezetekben felhalmozódott nehézfémek mérésére alapozzák. A jelen vizsgálatban élő szervezetként Aspius aspius egyedek szolgáltak, amelyek pikkelyeinek nehézfémtartalmát – az ezen elemekre igen érzékeny – XRF és PIXE módszerekkel vizsgáltuk. A jelen vizsgálat szép példája a több tudományterületet átfogó sikeres együttműködéseknek.

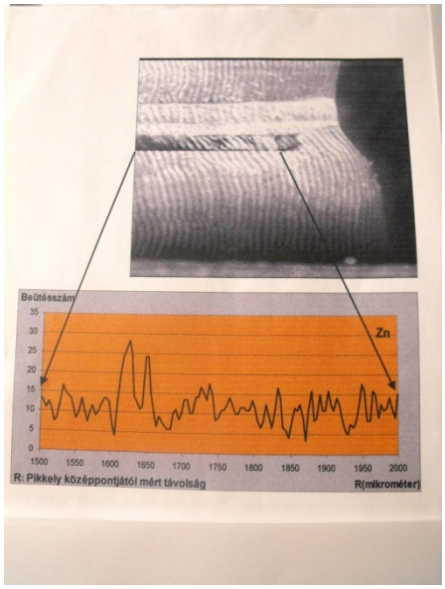
Kulcsszavak: *hal, nehézfém, PIXE, XRF*

Abstract
Heavy metal load affects our environment, increases constantly and pollutants of civilisation origin endanger the flora and the fauna. Measurement of the accumulation of various environmental pollutants including heavy metals in living organisms is increasingly utilized to monitor and detect intoxication. Heavy metals are considered to be the most dangerous inorganic micro-pollutants presently. Since these elements can be accumulated in living organisms and can be transferred by the food-chain, they may be dangerous for humans, too. In this study we determined the heavy-metal content of the scale of Aspius aspius with the help of XRF and PIXE. PIXE is a good analytical method to determine heavy metal content of low concentrations. This present study is an example for a successful multidisciplinary co-operation.

Keywords: *fish, heavy metal, PIXE, XRF*

1. Bevezetés

A napi és a szakmai sajtóban egyre nagyobb teret követel magának az antropogén forrásokból származó környezetszennyezés kockázata és világméretű veszélyessége. A tudomány és a technika fejlődése megfelel a kihívásoknak, de közben olyan termékeket hoz létre, vagy olyan technológiát vezet be, melyek – közvetve vagy közvetlenül - a természet évmilliók alatt kialakult rendjét veszélyeztetik [3,4]. Az analitikai eszközök fejlődésével fellendült a nehézfém-szennyezők, és azok környezeti hatásának vizsgálata. Kiderült, hogy a nehézfémek a környezetet – ezen belül az élővilágot – fenyegető szennyezők közül a legveszélyesebbek közé tartoznak. A 2000-ben lezajlott tiszai szennyezés-hullám levonulása után vetődött fel a kérdés, hogy egy adott vízterület nehézfém szennyezésének időbeli lefolyása vajon rekonstruálható-e a területen élő halak pikkelyeinek utólagos analízisével. Nevezetesen, hogy a növekvő halpikkelyekbe folyamatosan beépülő nehézfém szennyezők sugár-irányú eloszlásából meghatározhtató-e a szennyezés időbeli lefolyása. A fenti kérdéskör vizsgálatára végül egy 2003-ban induló – az ATOMKI Ionnyaláb Analitikai Csoportja és a DE TTK Ökológiai és Hidrobiológiai Tanszéke által közösen elnyert – NKFP program (NKFP-3B/ 0019/2002) teremtett lehetőséget. A vizsgálatokhoz az ATOMKI-ben évek óta rutinszerűen alkalmazott μ-PIXE (Particle Induced X-ray Emission, magyarul részecske indukált röntgen-emisszió) módszert alkalmaztuk, amely kiválóan alkalmas a pikkelysugár irányú elemeloszlások (pl.: réz, ólom, higany) felvételére (1. ábra).



1. ábra. *Cink-eloszlás balin halpikkely sugara mentén*

Emellett az említett módszerrel a pikkelyek felülete mentén elemeloszlási térképek készíthetők. A sugárirányú eloszlásokban esetlegesen feltűnő szennyező csúcsok az elemtérképeken – a fák évgyűrűihez hasonló – szennyező gyűrűkként jelentkezhetnek. A pikkelysugár-irányú eloszlások felvétele – egy-egy nagyobb halpikkely esetében – rendkívül időigényes (16-20 órát is igénybe vehet), így nagyszámú pikkely esetében gyakorlatilag kivitelezhetetlen. Következésképpen valamilyen gyors, és egyben költségkímélő analitikai módszerrel előszelekciós méréseket kell végezni, amellyel meghatározzuk az egyes pikkelyek teljes szennyezőelem-tartalmát. Ezt követően már kiválaszthatjuk azokat a pikkelyeket, amelyekben a legmagasabb a kérdéses elem koncentrációja, és a további, részletes μ-PIXE vizsgálatokat csak ezeken végezzük el. Az előszelekciós mérésekhez a röntgen-fluoreszcenciás analízis (XRF), valamint a kihozott és belső makro-nyalábos PIXE módszerek tűntek ígéretesnek. Abból a célból, hogy eldöntsük, hogy a három módszer közül melyik a legalkalmasabb a feladatra, ugyanazon pikkelyen mindegyikkel méréseket végeztünk. Ezután meghatároztuk az egyes elemekre az egyes módszerekkel elérhető minimális kimutathatósági határokat (MDL). Egy adott elem esetében előszelekcióra nyilvánvalóan azt a módszert kell alkalmazni, amellyel a legalacsonyabb kimutathatósági határ érhető el. A továbbiakban ismertetjük a PIXE és XRF módszereket, valamint az alkalmazott mérési körülményeket. Végül a meghatározott minimális detektálási határok alapján levonjuk a következtetést, hogy melyik elem esetében melyik módszert célszerű előszelekciós mérésekhez alkalmazni.

2. Alkalmazott analitikai módszerek

A röntgenfluoreszcencia egy roncsolásmentes kvalitatív és kvantitatív elemanalitikai módszer, amely a karakterisztikus röntgensugárzás energiájának és intenzitásának mérésén alapul. Az emittált karakterisztikus röntgensugárzás energiaspektruma az anyagi minőségre, az intenzitás pedig az elem mennyiségére jellemző. A karakterisztikus röntgensugárzás keletkezése: az atom belső elektronhéjáról valamilyen gerjesztő sugárzással elektront eltávolítva az atom gerjesztett állapotba kerül. A létrehozott belső ionizáció kétféle módon szűnhet meg: karakterisztikus röntgensugárzás kibocsátásával vagy Auger-elektron-keltéssel. Minél nagyobb a gerjesztett atom rendszáma, annál nagyobb a kibocsátott elektromágneses sugárzás hullámszáma, illetve energiája. A K vonalak intenzitásaránya független a gerjesztés módjától, csak a héjak közti átmeneti valószínűségek határozzák meg. A szomszédos héjak közti átmeneti valószínűségek nagyobbak, ezért az ezen átmenetekből származó karakterisztikus röntgenvonalak intenzitása nagyobb, mint a távolabbi héjak közti átmeneteké. Az atomnak valamennyi K_α foton kisugárzása után az L héja, valamennyi K_β foton kisugárzása után az N vagy M héja ionizált állapotban marad vissza. A gerjesztett

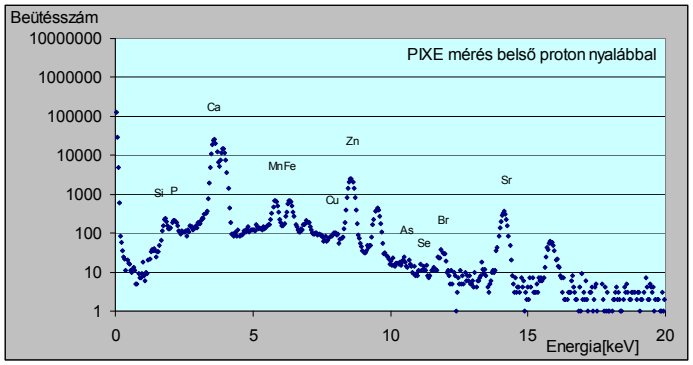
állapot megszűnésekor Auger-elektron kibocsátása a domináló folyamat. A röntgensugarak detektálására energiadiszperzív spektrometria esetén Si(Li) detektorokat alkalmaznak. A mintából kilépő röntgenfoton a félvezető detektorban a szilícium atomokat ionizálja, elektronlyuk párokat keltve a detektor érzékeny térfogatában. A gerjesztett állapot létrehozásának módjai: a gerjesztéshez minden olyan kölcsönhatási forma felhasználható, amelynek során valamely részecske vagy foton az atomi elektronhéjjal kölcsönhatásba lép. Így pl. használható α-, β-, γ, röntgensugárzás, vagy gyorsított nyaláb is. Alapvető követelmény, hogy a gerjesztő részecske energiája nagyobb legyen, mint a vizsgálandó elem K, vagy L héján lévő elektronok kötési energiája. A bombázó részecske lehet: proton, illetve α-részecske, elektron, foton. Gerjesztő fotonforrásként használhatók röntgencsövek vagy radioaktív izotópok is, amelyeknek előnye az, hogy diszkrét vonalaik vannak és különböző geometriájú alakzatok alakíthatók ki belőlük. Amennyiben a gerjesztés egy töltött részecskékből álló nyalábbal történik, akkor PIXE (Particle Induced X-ray Emission, magyarul részecske indukált röntgen-emisszió) módszerről beszélünk. Gerjesztésre leggyakrabban protonokat alkalmaznak. Széles rendszámtartományt figyelembe véve a legnagyobb érzékenység protonbombázás esetén 2 MeV-es nyalábenergia mellett érhető el [1]. A PIXE módszert általában kétféle mérési elrendezésben alkalmazzák. Az ún. belső- és kihozott nyalábos elrendezésben. A belső nyalábos elrendezés esetén a minta egy vákuumkamrában van, míg kihozott nyalábos elrendezésnél a nyaláb egy alkalmas, vékony fólián keresztül a kamrából kilépve éri el a mintát. A kihozott nyalábos módszer előnye, hogy bármilyen típusú minta besugárzása lehetővé válik. A mintát körülvevő levegő hűtő hatása a helyi felmelegedést jelentősen csökkenti, a nyaláb mentén ionizálódott levegő a feltöltődést szünteti meg, így nagyobb intenzitású nyaláb alkalmazható az analízishez, mint a belső nyalábos méréseknél, ami a mérési idő rövidüléséhez vezet. Egyszerűbbé válik a sorozatméréseknél a minták cseréje és besugárzási helyzetbe juttatása is. A belső nyalábos PIXE elrendezés [5] előnye, hogy nem kell számolnunk a levegő és nyaláb kölcsönhatásából származó röntgenháttérrel, így a kimutathatósági határok alacsonyabbak, mint a kihozott nyalábos módszer esetében, valamint a nehéz elemektől származó röntgenvonalak intenzívebbek, mivel nem kell számolnunk a minta és a detektor között elhelyezkedő levegőréteg abszorpciós hatásával.

3. Eredmények

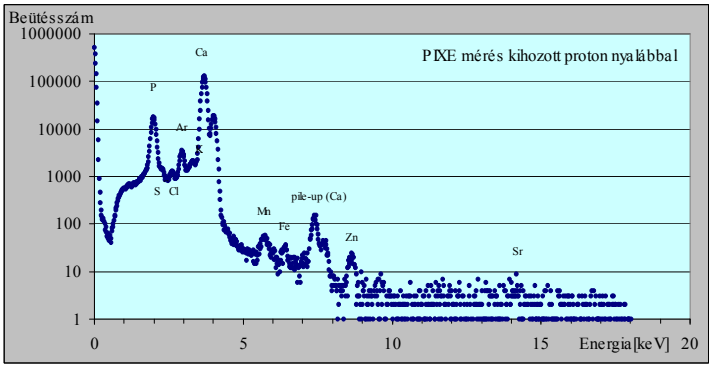
3.1. PIXE módszerrel kapott eredmények

Belső és külső nyalábos méréseket egyaránt végeztünk. A külső nyalábos vizsgálatoknál kiszámítottuk, hogy a 8μm vastag Kapton fóliában, amit kihozó ablakként használtunk 146,6 keV, míg a 2 cm levegőben 321 keV energiát vesztett

a nyaláb. Így végül, mivel a protonenergiát a gyorsítóval 2,5 MeV-es értékre állítottuk be, a mintánk felületére 2 MeV energiájú protonok érkeztek. Ez az energiaérték megfelel a PIXE méréseknél szokásosan használt energiaértéknek. A belsőnyalábos PIXE mérésnél a mérési idő 5407 s, a begyűjtött össztöltés pedig 3900 nC volt. A kihozott nyalábos méréseknél a mérési idő 4570 s volt, a begyűjtött össztöltést nem tudtuk mérni. A 2. ábra egy balin pikkely belső nyalábos, az 3. ábra pedig ugyanazon pikkely külső nyalábos PIXE elrendezéssel felvett spektrumát mutatja. A röntgensugarakat mindkét esetben Canberra típusú Si(Li) detektorral detektáltuk. A PIXE analízisekhez az ATOMKI-ben kifejlesztett a PIXYKLM [6] programcsomagot használtuk.



2. ábra. *A pikkely belső nyalábos PIXE elrendezéssel felvett spektruma*



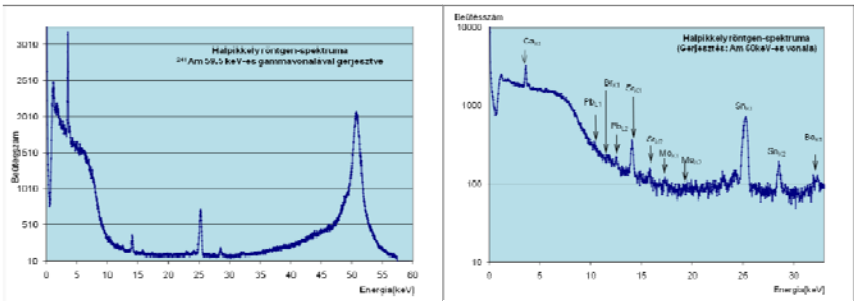
3. ábra. *A pikkely kihozott nyalábos PIXE elrendezéssel felvett spektruma*

A fenti spektrumokon jól látható, hogy a kihozott nyalábos elrendezés esetében a könnyű elemekhez (P,Ca) tartozó röntgencsúcsok jobban, míg a

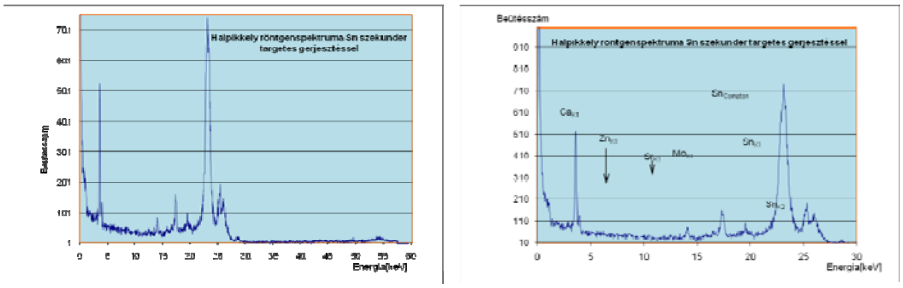
nehezebb elemekhez tartozó röntgencsúcsok (Zn,As,Se,Br,Sr) kevésbé intenzívek, mint a belső nyalábos elrendezésnél. A belsőnyalábos PIXE elrendezés esetében a Si(Li) detektor előtt egy 0,0093 g/cm^2 vastagságú Al abszorbens fóliát alkalmaztunk, amely drasztikusan csökkenti a könnyűelemekhez tartozó röntgenvonalak intenzitását. Ennek egy számunkra kedvező következménye, hogy például a Ca-hoz tartozó csúcs intenzitásának drasztikus csökkenésével együtt a csúcshoz tartozó pile-up csúcs is lecsökken, így az "alatta" elhelyezkedő Cu csúcs láthatóvá válik. A külső nyalábos elrendezésnél a Cu csúcs a pile-up miatt nem látható. A nehezebb elemekhez tartozó röntgenvonalak gyenge intenzitása a külső nyalábos elrendezés esetén a vastag levegő abszorbens jelenlétével magyarázható. Sajnálatos módon az esetleges fémszennyezőkhöz tartozó röntgencsúcsok éppen ez okból kifolyólag a külső nyalábos elrendezésnél csak nagyon kis intenzitással vannak jelen. A kihozott nyalábos méréseknél a spektrumban jól látható az Ar csúcs, amely annak a következménye, hogy a nyaláb gerjeszti a levegőben lévő Ar atomokat. (a levegő 1%-a Ar). A nitrogén és az oxigén vonalait nem látjuk, mert ezekhez az elemekhez tartozó kis energiás karakterisztikus röntgensugarak elnyelődnek a detektor ablakában. Megállapíthatjuk, hogy a külső nyalábos elrendezés előszelekciós mérésekre való alkalmazása a fent említett okok miatt nem túl szerencsés.

3.2. Vizsgálatok röntgenfluoreszcenciás módszerrel

A röntgenemissziós analitikai vizsgálatokat energiadiszperziv Si/Li/ félvezető detektoros spektrométerrel végeztük. A minta gerjesztése gyűrű alakú ^{241}Am izotóppal történt. A ^{241}Am alfa-bomló, felezési ideje 432,2 év. A radioaktív bomlás során keletkező ^{237}Np (Neptúnium) legerjesztődésekor karakterisztikus röntgensugárzás és gammasugárzás is keletkezik. A forrás 45 keV alatti röntgen- és gammavonalait megfelelő abszorbens alkalmazásával kiszűrtük a gerjesztő spektrumból, így a minták gerjesztését az izotóp 59,5 keV-es gamma-vonalával, valamint ón szekunder target 25,27 keV-es vonalával végeztük. A Si/Li detektoros röntgenspektrométer számos gyakorlati alkalmazási lehetősége közül megvizsgáltuk, hogyan használható a kapott biológiai minta analitikai feladatainak megoldására. A 4.a,b ábrán a vizsgált pikkely ^{241}Am-forrás 59,5 keV-es gamma-vonalával gerjesztett, az 5.a,b ábrán pedig ón szekunder targetes gerjesztéssel kapott spektruma látható. A mérési idő mindkét esetben 50000 másodperc volt. A gerjesztésre használt 59,5 keV-es gamma-vonalnak a mintán való Compton-szórása a 45-60 keV tartományban, míg a detektorba jutó (kb. 45-60 keV energiájú) fotonok a detektorban Compton-szórással meglökött elektronok révén a 0-10 keV-es tartományban igen magas hátteret okoznak. Szinte lehetetlenné teszik kis koncentráció meghatározását. Ahol az ^{241}Am-forrás 59,5 keV-es vonalát az ón szekunder target gerjesztésére használtuk, a kis energiás tartományban a háttér nagyságrendekkel csökkenthető.



4.a,b ábra. *Halpikkely 59,5 keV-es gerjesztő energiával felvett spektruma, és a spektrum kinagyított részlete*



5. a,b ábra. *Halpikkely ón szekunder target 25,27 keV-es gerjesztő energiájával felvett spektruma, és a spektrum kinagyított részlete*

4. Összefoglalás

Méréseink fő célja az volt, hogy egy adott halpikkelymintára vonatkozólag analitikai módszereket hasonlítsunk össze „teljesítőképességük" alapján. Ennek érdekében két különböző röntgenanalitikai módszert és ezeken belül 2-2 különböző mérési elrendezést hasonlítottunk össze: Röntgenfluoreszcenciás analízissel, mintegy „szelekciós vizsgálatként" ^{241}Am 60 keV-es vonalával, majd pedig szekunder targetes elrendezésben analizáltuk a pikkelyben felhalmozódott fémtartalmat. Ezt követően PIXE módszerrel kihozott nyalábbal, illetve belső nyalábbal végeztük el a nehézfémek detektálását. Mivel bizonyos fémeket nem tudtunk kimutatni a belsőnyalábos PIXE módszerrel, és ez volt az egyetlen módszer, ahol mennyiségi analízist tudtunk készíteni, így nem a detektálási határokat, hanem csak a vele arányos $3 \cdot \sqrt{N_B} / N_P$ mennyiséget használtuk az összehasonlításhoz, ahol N_B a csúcs alatti háttér terület, N_P pedig a tiszta csúcsterület.

Mn, Fe, és Zn elemek esetében a legalacsonyabb detektálási határokat a *belsőnyalábos PIXE elrendezéssel* értük el, a nagyobb rendszámú elemeket, ilyenek az Sn, Ba és az Pb, viszont csak *röntgenfluoreszcenciás* analízissel tudtunk kimutatni. A REA módszerrel kapott extrém magas ólomtartalomra az ad magyarázatot, hogy a 60 keV-es gammasugárzás gerjesztette az ólom mintatartót, így ez ólom hátteret adott a spektrumba. Ennek kiküszöbölése további fejlesztéseket igényel. REA esetén a Z<30 elemek kimutathatósági határai csökkenthetők, ha a méréseket vákuumtérben végezzük el. Méréseink alapján elmondhatjuk, hogy Z<31 elemek esetén a belső nyalábos PIXE módszer [2] használata célszerű, míg a Z>31 elemek esetén a röntgenfluoreszcenciás analízis egy hatékony előszelekciós eljárás.

5. Irodalomjegyzék

[1] Johansson T.B., Axelsson K.R., Johansson S.A.E., Nucl. Instr. Meth.,1970, pp. 84.

[2] Kertész Zs., Szikszai Z., Uzonyi I., Simon A., Kiss Á.Z. *Development of a bio-PIXE setup at the Debrecen scanning proton microprobe*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 231. 2005, pp.106-111.

[3] Nagy S., Dévai Gy., Czégény I. *Javaslat egy új mutató, a veszélyeztetettségi állapot (perniciozitás) bevezetésére a vízminősítésben és a halászatbiológiában*. Halászatfejlesztés 24. 2000, pp. 184-191.

[4] Nagy S., A., Czégény I., Czédli H., Dévai Gy. *Adatok a tiszai halfajok nehézfém-tartalmának felméréséhez.* Halászatfejlesztés 27. 2002, pp.55-62.

[5] Rajta I., Borbély-Kiss I., Mórik Gy., Bartha L., Koltay E., Kiss Á.Z. Nucl. Instr. and Meth in Phys. Res. B 109/110. 1996, pp. 148-153.

[6] Szabó Gy., Borbélyné Kiss I. *PIXEKLM programrendszer PIXE spektrumok kiértékelésére, programleírás*, ATOMKI, Debrecen, 1999.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 357-362.

TÁVÉRZÉKELÉS ÉS INFORMATIKA A MEZŐGAZDASÁGBAN

Gindert-Kele Ágnes, Hagymássy Zoltán
egyetemi adjunktus, egyetemi docens
Debreceni Egyetem, Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Agrár-műszaki Tanszék, 4028 Debrecen, Böszörményi út 138. battane@agr.unideb.hu

Összefoglalás

A vezeték nélküli távadók mezőgazdasági alkalmazása a korszerű digitális elektronika fejlődésével és megfizethetőségével mindennapjaink lehetőségévé kezd válni. Az új technika alkalmazása különösen ott perspektivikus ahol nagy távolságokat kell áthidalni és szélsőséges időjárási körülmények fordulhatnak elő. A távadók jelentős területről képesek nagyszámú meteorológiai, talaj fiziko-kémiai és haszonnövényt jellemző adatot begyűjteni. Az adatok automatikus értékelését követően azonnali beavatkozással lehetőség nyílik a kármegelőzésre illetve kárenyhítésre pl. váratlan hőmérsékleti változások esetén. A gépesítés fokától függően optimálisan tervezhető többek közt az öntözés, a tápanyagutánpótlás és a kártevők elleni védekezés is. Megvalósított alkalmazási példákat mutatunk be távoli földrészekről, Európából illetve Magyarországról.

Kulcsszavak: *vezeték nélküli távadók, mezőgazdaság*

Abstract

Parallel to the progress and availability of recent digital electronics, application of wireless remote sensors becomes a real possibility for everyday agricultural applications. The new technique is especially promising in areas where long distances should be overcome and there are hectic weather conditions. Remote sensors and transmitters are able to acquire data on weather, on the physico-chemical properties of the soil and on the status of plants and crop. Following an automatic evaluation of the data, farmers can immediately act to prevent serious damage of their goods, for example in case of sudden temperature change. Depending on the progress of automatization, programmed irrigation, nutrient support and defense against pests is possible. We show some real implementations from oversea, Europe and Hungary.

Keywords: *wireless sensor networks, agriculture*

1. Bevezetés

A jelen összefoglaló munka célja az, hogy felhívja a figyelmet arra a nemzetközi tendenciára, hogy a mezőgazdaságban a rádiótávadók, illetve az informatikai rendszerekhez kapcsolt telemetriai rendszerek szerepe várhatóan növekedni fog. Nemzetközi együttműködésünk kapcsán merült fel az a gondolat, hogy ezek az egyre korszerűbb elektronikai eszközök nagy és kicsi országokban egyaránt hasznosak

lehetnek. A számos alkalmazási terület között lehet említeni a szélsőséges időjárási körülmények elleni védekezést, ami sok országot sújt - köztük Magyarországot is-hiszen a várható éghajlati változások a hektikus időjárású területek közé taszíthatják hazánkat.

1.1 Gyakorlati alkalmazások

Az Európai Unión belül igen nagyok a különbségek a termelés korszerűségét, intenzív jellegét és az átlagos földterület nagyságát tekintve. Az Únióban mintegy 183 millió hektáron gazdálkodnak, ám a földterület 85%-nak nagysága gazdaságonként kisebb, mint 20 hektár. Egy-egy gazdaság a tevékenységét rendkívül összetett kapcsolatrendszer keretében végzi. A tevékenység sikere nagymértékben függ attól, hogy a gazdák milyen biztonsággal tájékozódnak ebben a komplikált rendszerben, amibe beletartozik az EU, a honi agrártárca, a falugazdász és még sorolhatnánk [1]. Fejlettebb szinten egy gazdaság hatékony irányítása feltétlenül egy korszerű irányítási informatikai rendszer kiépítését igényli. Ehhez meg kell tervezni a szükséges erőforrásokat. Az informatikai rendszeren belül létre kell hozni a vezetői irányítási rendszert, aminek alapvető szerepe van a döntési rendszer formálásában és a szakemberek irányításában. Az informatikai rendszer gyorsasága és objektivitása a helyes döntéshozatalhoz hozzásegíti a gazdát, azonban nem veheti át helyette az irányítást.

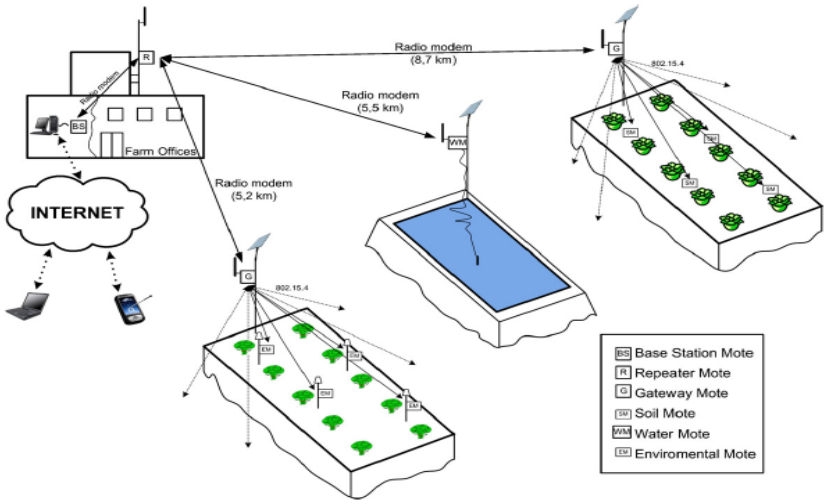
1. táblázat. *A gazdálkodók napi problémái*

Emberi tényezők, aktivitások	*Körülmények és problémák*
Központi döntések, (EU és hazai) Helyi szervezetek Gép és anyagbeszerzés Környezetvédelem Szomszédok	Időhiány a tervezéshez Bonyolult szabályozások Kereskedelmi partnerek Közvetlen értékesítés Környezetkímélő termelés
A gazdaság adatainak begyűjtése Termék eladás Alkalmazottak irányítása Bővítés, stb.	Túl sok, (összefüggéstelen?) információ Automatikus, koncentrált információ kell Felhasználóbarát szoftver

A termelés nem ember nélküli, legfeljebb nagymértékben gépesített és automatizált. Ez csak így történhet, hiszen a gazdálkodókat nem csupán a természeti környezet befolyásolja, hanem a napról-napra változó gazdasági és társadalmi környezet feltételrendszere is. Ez a „sokváltozós” környezet rugalmas irányítási rendszert kíván. Ha egy ilyen bonyolult környezetben a gazdálkodó konkrét napi problémáinak megoldásához túl sok és összefüggéstelen információt kap, akkor megeshet, hogy hibásan dönt. Ez azonban sok esetben elkerülhető lenne egy jól tervezett

adatgyűjtő és informatikai rendszer segítségével. Az 1. táblázat mutatja az emberi tényezők, aktivitások, körülmények és problémák sokaságát.

Ahhoz, hogy egy gazda egy nagyobb gazdaságban mindezzel a nehézséggel megbirkózzon, szüksége van egy jól működő informatikai rendszerre. Ebben a rendszerben nélkülözhetetlenek a termőterületről adatokat szolgáltató elektromos eszközök: érzékelők és távadók. Egy kertészeti rendszer sematikus ábráján például mintegy 5-10 km hatótávolságú vezetéknélküli eszközök szerepelnek. (1. ábra).



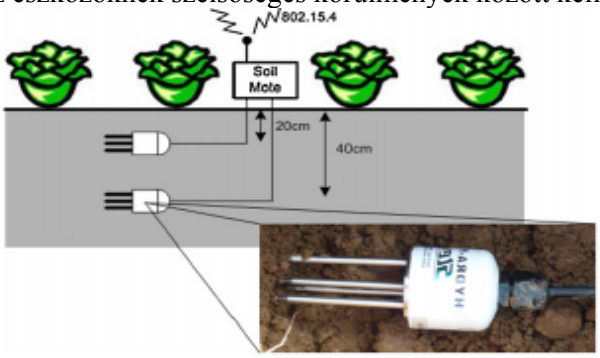
1. ábra. *Egy kertészeti szenzor és monitor rendszer. Forrás: [3]*

Ezeket az adatokat a gazdaság központjába továbbítják, ahonnan a további kommunikáció már a szokásos internetes hálózattal is megoldható. A kereskedelmi forgalomban kapható egyszerűbb érzékelő típusokból funkció szerint felsorolunk néhányat:

1. Relatív páratartalom és hőmérséklet mérése.
2. A víz vezetőképességének és hőmérsékletének mérése.
3. Páratartalom, vezetőképesség, sótartalom és hőmérséklet.

Ezeken kívül számos kis (230 m) és nagy (16 km) hatótávolságú eszköz kapható a víz és a talaj jellemzőinek valós idejű mérésére (1-3 s válaszidő) és az adatok továbbítására, ami további fejlesztésekre ad módot. Egy talajérzékelő pl. egyidejűleg szolgáltathat hőmérséklet, sótartalom, nedvesség, vezetőképesség adatokat akár különböző mélységből is (2. ábra). Egy vezetéknélküli távadóhoz akár több érzékelő is csatlakozhat vezetékesen. A drótnélküli érzékelő hálózat lelke az érzékelő és adatgyűjtő kártya, amelyet az adatfeldolgozó és továbbító (rádió) egység követ. Ezek a kombinált egységek egy elosztó számítógéppel kommunikálnak, amelyek a helyi (LAN, WLAN, stb.) vagy az internetes hálózaton keresztül elérhetők távoli számítógépekről. A hálózatoknak nagy megbízhatóságúaknak kell lenni,

ami önszervező, önkonfiguráló, önellenőrző és önjavító képességeket takar. Ez fontos, hiszen az eszközöknek szélsőséges körülmények között kell működniük.



(c) Detail of Hydra Probe II sensor

2. ábra. *Különböző mélységben elhelyezett talajérzékelők. Forrás: [3]*

Nagyon sokféle drótnélküli érzékelő kártya létezik a kereskedelmi forgalomban: gyorsulásmérő, barometrikus nyomásérzékelő, fénymérő, GPS helymeghatározó, hőmérséklet-, nedvesség-, hang-, mágneses fordulatszámmérő, mágneses térerő mérő, infravörös sugárzásmérő (piroelektromos), napsugárzás mérő, talajnedvesség-, talajhőmérséklet érzékelők, szélerősség, csapadékmennyiség mérők, földmozgás érzékelők.

A drótnélküli érzékelő hálózatok telepítése még épp csak elkezdődött a mezőgazdaságban. A jövő az olcsó, kicsi és kisfogyasztású berendezéseké. Követelmény a digitális jelátvitel (akár 2.4 GHz sávszélességig) 16 csatorna, 250 kb/s átviteli sebesség, akár 255 berendezés kiszolgálására is.

Lehetséges alkalmazási területek:

- Környezetvédelmi célú monitorozás
- Precíziós mezőgazdaság
- Gép és folyamatvezérlés
- Épület és berendezés automatizálás
- A termelési folyamat nyomonkövetése

A WiFi, Bluetooth és ZigBee kommunikáció közül elvileg bármelyik használható [4]. Ipari és mezőgazdasági környezetben a ZigBee a legrobusztosabb és a legegyszerűbb a jellemzően sok forrásból származó, de egyenként kis mérési adatcsomag átvitelére.

A drótnélküli gerinchálózat megbízható működéséhez számos eszközt kell telepíteni és egymással összhangba kell hozni őket. Célszerű lehet a csillag topológia alkalmazása, amikor major van a terület közepén, ahová a rádiótelemetriai adatok befutnak. Egy ilyen rendszer azután használható pl. a helyi meteorológiai viszonyok állandó figyelésére, és a fagyvédelmi eszközök automatikus üzembehelyezésére [2]. De alkalmazható egyéb, valós idejű távérzékelésre és szabályzásra is, vagy akár a termelési folyamat nyomonkövetésére és dokumentálására

is. Így pl. valós idejű „okos érzékelőket” lehet telepíteni a földeken, ami lehetővé teszi a programozott öntözést.

A drótnélküli érzékelő hálózatok telepítése Magyarországon még kísérleti jellegű. Külföldön ott elterjedtek, ahol nagy, távoli művelt területek vannak, és a munkaerő viszonylag drága. Alkalmazási példaként említhető a differenciális GPS, az öntözési rendszerek mobil telefonos ellenőrzése és vezérlése, talajnedvesség érzékelő hálózat, értékes gabonák és gyümölcsösök klíma kontrollja valamint a berendezések és a dolgozók valós idejű ellenőrzése. Számos tudományos kérdés megoldásához segítséget adhatnak a telemetrikus rendszerek. Így pl. az időjárás és a növénybetegségek kapcsolata nem kielégítően ismert. Fontos lehet pl. az aktív gyökérzónák és az öntözési technológia összefüggéseinek felderítése. A túlöntözés hatásai (só, tápanyagkivonás, oxigénhiány, baktériumflóra) sem teljesen felderítettek.

3. ábra. *Komplett precíziós gazdálkodási rendszer az IKR-nél*

A drótnélküli érzékelő hálózatok alkalmazása további lehetőségeket teremt a helymeghatározáson alapuló (precíziós) mezőgazdasági módszerek fejlesztésére és kiterjesztésére is. A precíziós gazdálkodás figyelembe veszi az üzemi gazdálkodás alapegységén, a táblán belüli különbségeket, a helyi viszonyokhoz és az adott növény igényeihez igazodik, ehhez állapítja meg a talajművelési, tápanyagpótlási, növényvédelmi, stb. feladatokat. Első lépésként meghatározott útvonal mentén bejárva a területet a talajtani adottságokat mérik fel. Folyamatos GPS-kapcsolat

mellett egy memóriaegység összegyűjti az adott pontok adatait. Ezeket az adatokat számítógépre viszik, és ezután egy speciális program kialakítja a szükséges beavatkozások legoptimálisabb rendszerét.

A táblán belüli különbségek érvényesítéséhez a műholdvezérléssel támogatott párhuzamos nyomkövetés, az automata kormányzás vagy a tanítható fordulási rendszerek nagy segítséget nyújtanak. Komoly műszaki háttérre van szükség az erő- és munkagépek közötti kommunikáció biztosításában is. Ezeknek olyan elektronikus eszközökkel kell rendelkezniük, amelyekkel lehetővé válik a precíziós technológia megvalósítása (3. ábra).

Miért is célszerű propagálni a távérzékelős és precíziós mezőgazdasági módszereket hazánkban? Azért, mert alkalmazásával a termelés gazdaságossága fokozható, javítható a műtrágya, a vetőmag, a növény védőszer és az öntözővíz felhasználás hatékonysága, és csökkenthető a környezet terhelése. A nyomon követhetőség egyik eredménye a termelt növények, termények minőségének javulása, ami a piacra juttatás fontos kritériuma.

2. Összefoglalás

A számítástechnika fejlődésével lehetővé vált, hogy a mérés, az adatgyűjtés és az információk felhasználókhoz juttatása automatikusan, emberi beavatkozás nélkül történjen meg. A méréseket és az adatok rögzítését különböző felszereltségű automata adatgyűjtő állomások végzik tetszőleges gyakorisággal. Az adatok értelmezése és felhasználása nagy megbízhatóságú, felhasználóbarát szoftverekkel kell, hogy történjen, ami lehetővé teszi a hatékony irányítási rendszer kialakítását. Összegzésképpen azt mondhatjuk, hogy a távérzékelők, a távadók és az ezekre alapozott informatikai rendszerek egyre nagyobb szerepet kapnak a jövő mezőgazdaságában.

3. Irodalomjegyzék

[1] C.G. Sørensen, S. Fountas, E. Nash, L. Pesonen, D. Bochtis, S.M. Pedersen, B. Basso, S.B. Blackmore, *Conceptual model of a future farm management information system*, Computers and Electronics in Agriculture 72 (2010) 37–47.

[2] Newell R. Kitchen, *Emerging technologies for real-time and integrated agriculture decisions*, Computers and Electronics in Agriculture 61 (2008) 1-3

[3] J.A. López Riquelme, F. Soto, J. Suardíaz, P. Sánchez, A. Iborra, J.A. Vera, *Wireless Sensor Networks for precision horticulture in Southern Spain,* Computers and Electronics in Agriculture 68 (2009) 25–35.

[4] E.S. Nadimia,b,Ã, H.T. Søgaardc, T. Bakb, *ZigBee-based wireless sensor networks for classifying the behaviour of a herd of animals using classification trees,* Biosystems Engineering 100 (2008) 167– 176.

Miskolci Egyetem, Interdiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, pp. 363-370.

A SZŐLŐHEGYEK ÉS PAJTÁK EGYMÁSHOZ VISZONYÍTOTT ELHELYEZKEDÉSE ÉS KAPCSOLATA

Kántor Anita
tanársegéd
Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Építészmérnöki Tanszék,
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4., kiskantor@hotmail.com

Összefoglalás

Az Érmellék sajátos földrajzi helyzete folytán átmenetet képez a Bihari-hegység és az Alföld között. Amíg az itteni, történelmi borvidéken kialakult lyukpincék típusait elsősorban a geológiai és terepviszonyok határozták meg, addig a szőlőspajták létrejötténél elsősorban a társadalmi-gazdasági tényezők voltak az elsődlegesek. Tanulmányom azt vizsgálja, hogy a történelmi borvidéken a XIX. században létrejött szőlőspajták és a jóval szerényebb múltra visszatekintő Debrecen-környéki szőlőskertek pajta-típusai, valamint a szőlőkben való elhelyezkedésük között milyen hasonlóságok, különbségek és egymásra hatások mutathatók ki.

Kulcsszavak: *népi építészet, borospincék, szőlőspajták, Érmellék*

Abstract

Given its special geographical location, the Érmellék is a border land between the Bihar mountains and the Hungarian Great Plain. The types of underground cellars hollowed into sand or earth, characteristic to this historical wine-growing region, were determined by geological and terrain conditions, while the construction of wineyard barns was mainly influenced by social-economic conditions. In this study I analyze the similarities and differences between the vineyard barns characteristic to this historical wine-growing region dating back to the 19th century and the barn types of the vineyards surrounding Debrecen, which have a much more modest historical background. Also I look into the similarities and differences in the location of the two barn types.

Keywords: *folk architecture, wine-cellars, vineyard barns, Érmellék*

1. Bevezetés

Régóta közismert a kapcsolat Debrecen és az Érmellék között. A szőlőtermelés és a borkereskedelem Debrecen XVI-XVIII. századi gazdálkodásának igen fontos része volt. A XVI-XVII. század fordulóján a debreceniek fő érdeklődése még nem az Érmellék, inkább a Bihari-borvidék felé fordult, ott voltak extraneus szőlőbirtokaik. A XVII. század folyamán azonban megváltozott a helyzet, s egyre nagyobb hangsúllyal jelenik meg az érmelléki szőlőtermesztés Debrecen borkereskedelmében. A század végére kitűnik, hogy szőlőbirtoklásuk is egyre jelentősebbé vált ezen a területen. A XVIII. század folyamán pedig a környező települések is egyre inkább bekapcsolódnak ebbe a folyamatba.

2. Észak-Tiszántúl szőlőtermesztésének rövid története

Az Alföld, amelyhez a hajdúsági és bihari tájakat, valamint az Érmellék nagy részét is sorolhatjuk, Magyarország legnagyobb, ugyanakkor legfiatalabb bortermő vidéke, hiszen a dunántúli történelmi tájakhoz viszonyítva, még a Duna—Tisza közi szőlőkultúra is csak a XII—XIV. századig nyúlik vissza. Az Alföldön a szőlőművelés kertes formája alakult ki. A kert elnevezés a dunántúli és hegyvidéki szőlővidékeken nem ismert, itt a hegy, szőlőhegy a közhasználatú kifejezés. Az Alföldön a hegy és kert terminológiák egyformán ismertek. A Duna-Tisza közén általában a hegy kifejezést használják, míg, a hajdúsági és a nyírségi területeken a kert elnevezés terjedt el. A Rétközben és a bihari területeken a két terminológia keveredve, egymás mellett él. Tanulmányom a Tiszántúl ezen területén – Hajdúság, Nyírség, Észak-Bihar és Érmellék - található szőlőskerti építményeket – elsősorban a pajtákat – vizsgálja és hasonlítja össze.

Amíg a Duna—Tisza közi szőlőkultúra a XII—XIV. századig nyúlik vissza, addig a hajdúsági, nyírségi szőlőtermesztés csírái csak a XVI-XVIII. század folyamán jelennek meg. Alpáron már 1077-ben említenek szőlőt, Kecskeméten pedig a XIII. században telepítik az első szőlőket. A Hajdúság területéről az első okleveles adat 1566-ból Debrecenhez fűződik. A hajdúvárosok szőlőművelése a XVIII. század elején kezdődik, ekkor a legjelentősebb szőlőtermeléssel Hajdúböszörmény, Hajdúnánás és Vámospércs rendelkezett. A hajdúböszörményi szőlőket először az 1715-ös és 1720-as összeírások említik, kialakulásuk három szakaszban történt. Itt nem az ólaskertekből alakultak ki a szőlők, mint Hajdúdorogon, hanem azokat a belső legelő szántóföldi művelésre alkalmatlan, homokos részeiből hasították ki. Az első szőlőskertek közvetlenül a város alatt, az ólaskertek szomszédságában jöttek létre [3]. Hajdúnánás szőlőskertjeinek kialakulása két nagyobb szakaszban történt. 1707 és 1760 között a város keleti határában osztották ki előbb a Csutkás-, a Vén-, majd a Téglaskertet. Újabb szőlőskert létrehozására több mint egy évszázad múlva került sor, amikor is a település nyugati határában kijelölték az Újszőlő helyét [2]. Az észak-bihari részeken - Konyár, Esztár, Hencida, Váncsod, Berettyóújfalu, Hajdúszovát, Derecske, Szentpéterszeg községekben – a szőlőművelés gazdasági szempontból nem volt számottevő, különösen a XVIII. század végéig. Ebben az időszakban kezdődik meg a szőlőskertek többségének telepítése, s alakul ki a kerti szőlőművelés, községenként egy-két szőlőskerttel. Az 1850-es években már Észak-Bihar minden községében van szőlőskert [6]. Az Érmellék részét képező, de területileg még az Alföldhöz tartozó létavértesi Mosonta-kert kialakulása 1837 és 1838 közé esik (BmT 56 és BmT 69 kéziratos térképek alapján). S bár az Érmellék, mint történelmi borvidék meglétét a XIII. század elejétől egyre szaporodó, a szőlő és bor itteni jelenlétét kimutató dokumentumok igazolják, az újabb szőlőskertek kialakulása csak a XIX. század végére – a filoxéravész utáni időre – tehető [1].

A pajták összehasonlításának gondolata akkor vetődött fel bennem, amikor Égető Melinda könyvét olvastam az alföldi paraszti szőlőművelésről, melynek

egyik fejezetében a szőlőskert-szőlőhegy fogalmak történelmi vonatkozásait tárgyalja [5]. A szőlőhegy-szőlőskert terminusok földrajzi elterjedésének térképre vetítésével, a két fogalom tartalmi elemzésével, valamint a szőlőhegyek és szőlőskertek tényleges külső képének összevetésével az alföldi szőlőkultúrán belül két régió körvonalait határozta meg:

1. A „szőlőhegy" terminus által lefedett területen azok a Duna—Tisza közi tiszántúli települések, melyek a hódoltság alatt folyamatosan vagy kisebb-nagyobb megszakításoktól eltekintve lakottak voltak, egy gyökereiben középkori eredetű borkultúrát mentettek át a 18. század elején induló új történeti korszak számára; [5]
2. A „szőlőskert" terminussal, a kertgazdaságok jelenlétével és a népi kultúra számos más elemével jellemezhető terület első megközelítésben az alföldi szőlőkultúrának a Debrecen vonzáskörében kialakult újkori (= török hódoltság utáni) rétegét látszik jelezni. [5];

A térképen markánsan kirajzolódik a két fogalom használatának határa és a fogalmak keveredése a határok mentén. Az egyik legnagyobb keveredést mutató hely pontosan az általam kutatott Érmellék területére esett. Kíváncsi lettem, hogy vajon a szőlőhegyeken és szőlőskertekben egyaránt megtalálható szőlőspajták kialakításában nyomon követhető-e a két terminus, s ha igen, kimutatható-e ugyanaz a keveredés, egymásra hatás, mint a nyelvi jelenség esetében. Egyáltalán lesz-e különbség a pajták felépítése között, s ha igen, valóban magyarázható-e professzorasszony állításával vagy más hátteret kell mögötte keresnünk?
A kérdés megválaszolásához vizsgálataim három területre terjedtek ki a pajtákkal kapcsolatban:

- az épületszerkezetekre és az anyaghasználatra
- az alaprajzi kialakításra, valamint a szobák és a pincék kapcsolatára (amennyiben ez értelmezhető)
- a pajták elhelyezkedésére a szőlőben

Mivel kutatásaim az Érmellékre korlátozódnak, ezért az összehasonlításhoz már korábban készült kutatási anyagokat használtam fel. A vizsgált települések és területek: Hajdúböszörmény (Dám László), Hajdúnánás (Buczkó József), Létavértes (Pataky Emőke), az észak-bihari települések (Kurucz Albert), a nyírségi területek települései (Dám László), az érmelléki területek (saját kutatásaim mellett Varga Gyula és Borbély Gábor eredményei).

3. A szőlőspajták elhelyezkedése a szőlőhegyen

A szőlő művelése a falu határában összefüggő területen történik. A szőlőskerteket a legtöbb községben a településekhez legközelebb eső határrészeken telepítették. A kertekben az egyes szőlőterületek a dűlők mentén helyezkednek el. Az észak-bihari területeken a legtöbb kertben egy dűlőút megy végig, s ennek két oldalán fekszenek a szőlőparcellák. Amelyik kertben több dűlő van, ott a dűlőket elnevezték. Az egyes szőlődarabokat több kertben két-három kisebb területre osztják. Ezeket járá-

soknak hívják. Az egyes járásokat keskeny út választja el [6]. Az érmelléki szőlőkben az utakat úgy képezték ki, hogy a dűlők véggel összeérjenek, tehát csak az egyik végükön vezet út. A szőlőtulajdonosok a dűlő felől Észak-Biharban 5—6 méter [6], az Érmelléken a nyilasok elején a szekérutak mellett 5-10 méter mélységben nem telepítenek szőlőt. Ezeken a területeken zöldségféléket, vagy földiepret termelnek, s rendszerint ide építették a pajtákat. A borospincékkel ellentétben a pajták mindig a szőlőben épültek.

Történeti adatok hiányában nehéz megállapítani, hogy a szőlőskertekben mikor kezdenek kunyhókat, illetve pajtákat építeni. Hajdúböszörményben a kezdetlegesebb építmények tulajdonképpen földre állított nyeregtetőből állnak. Ajtajuk mindig a szőlőre néz, ablakuk nincs. A fejlettebb, fallal rendelkező szőlőbeli hajlékok mindig a dűlőutak mellett állnak. Találunk köztük olyanokat, melyeknek rövid homlokzatuk párhuzamos az úttal, ajtajuk és ablakuk a hosszabbik oldalon a szőlő felé néz. Ezt az elhelyezési formát a kertbirtokosság, majd később a hegyközség szabályzatai (1900) elő is írták Hajdúböszörményben [3]. A pajtáknak ugyanez az elhelyezése jellemző az Érmelléki területeken is – Albis, Hegyközszentmiklós, Ottomány. Ez a forma eltér nemcsak a szomszédos hajdúvárosok, hanem a bihari szőlők építményeinek elhelyezési rendjétől is, mert ezeken a területeken a pajták a dűlőúthoz viszonyítva többnyire hosszabbik oldalukkal párhuzamosan, háttal állnak. Hajdúnánáson a pajtákat szinte kivétel nélkül háttal a dűlőutakra, vagyis arccal a szőlőföld irányába építették. Elhelyezkedésükre ugyan semmiféle írásos rendeletet nem találtunk, a térképek ellenben azt bizonyítják, hogy általános érvényű építkezési szokásról volt szó [2]. Létavértesen [7], Bihardiószegen és Székelyhídon a két elrendezés keveredését láthatjuk – az egyik dűlőben a pajták hossztengelye párhuzamos az úttal, míg a másikban merőleges arra.

4. A szőlőspajták (kunyhók) alaprajzi kialakítása

Szőlőgazdasági épületeink, különösen a bor tárolására szolgáló építmények, tükrözik a borkészítés, bortárolás és borkezelés hagyományos gyakorlatát. A szőlőbeli épületek rendeltetése a borvidékeken más volt, mint az alföldi szőlőskertekben, hiszen itt ezek sohasem szolgáltak állandó lakásul. A szőlőkunyhók az alföldi házépítés egy régi, a lakóházhoz hasonló formáját mutatják. A fiatalabb, kétosztatú pajták természetesen még közelebb állnak a régi alföldi lakóházakhoz építési technikájukkal, beosztásukkal egyaránt. Ahogy a lakóházak kutatására, úgy a pajtákéra is érvényes, hogy csak az alaprajzi elrendezésük alapján nem biztos, hogy lehet fejlődéstörténeti sort felállítani. Az alaprajzi beosztást, a funkcionális tagolódást mindig az adott terület földrajzi, gazdasági-társadalmi, valamint etnikai viszonyainak függvényében kell vizsgálni.

Az átlagos alföldi ház soros elrendezésű, szobából, konyhából és kamrából álló lakóépítmény. A szegényparasztok, cselédek, napszámosok és a kettő-négy holddal rendelkező kisparasztok két- és háromosztatú házakat építettek. Viszont a korábbi évszázadokban nem lehetett ritka az egyetlen helyiségből álló lakóépület

sem [4]. Mint említettem, a kunyhók mindig a dűlőutak mentén épültek és beosztásukban az alföldi háztípus soros elrendezését követik. Az észak-bihari területeken a legtöbb kunyhó egy helyiségből áll, s a kétrészesek későbbi építésűek. Valamennyi szögletes alaprajzú. Ha a kunyhó egy helyiségből áll, annak neve konyha. Ha kétosztatú az épület, akkor a tűzhelyes részt konyhának, a másikat pedig háznak, pajtának, vagy szobának hívják. A kunyhók bejárata a szőlő felőli oldalon van, ritkábban az épület végén [6]. Hajdúnánáson az egy helyiséges kunyhók bejárata a rövidebb oldalon van [2].

A hajdúböszörményi szőlőspajták többsége is egyosztatú. A kevés két-, illetve háromosztatú pajta már újabb forma, a múlt század húszas éveiben kezdett megjelenni. Ha a pajta egyosztatú, belsejét is pajtának nevezik, ha azonban két- vagy háromosztatú, a lakóhelyiség a ház, a tűzhellyel ellátott helyiség pedig a pitvar nevet viseli. A háromosztatú építmények harmadik helyisége nyitott falú szín [3].

Az Érmellék pajtái között ma már csak elvétve látunk egyosztatút, bár Varga Gyula megemlíti őket tanulmányában [8]. Ezek is inkább az Alföld felé átmenetet képező települések szőlőskertjeiben álltak. Az ilyen pajták egyetlen helyiségét borháznak hívták. A leggyakrabban előforduló típus a kétsejtű pajta, melyhez pince is kapcsolódik. Az Érmellék Alföldhöz közelebb eső területein a pince mindig a pajta mellett helyezkedik el. A pajta két helyisége közül az egyik az ablak nélküli „pitar", tüzelőhellyel, ez egyben a borház és a tárolóhely is, a másik helyiség még egy tüzelővel a melegedő-alvó helyül szolgáló ház vagy szoba, egy vagy két oldalán egy-egy kisablakkal [7]. Az Alföldtől távolabbi területeken a borospincék a pajták alatt kaptak helyet. A korábban említett pajtáktól eltérően a pince nem a présházból, hanem egy külön helyiségből közelíthető meg, lépcsőn vagy rámpán keresztül. A pince fölötti helyiség - ahová belépünk - elnevezése présház vagy pajta, ahonnan a pince megközelíthető, a gátor. A gátor bejárata nem a hossz-, hanem a pajta rövidebb oldaláról nyílik. A kétosztatú szőlőkunyhók megfelelőit ugyan a Debrecen környéki és az észak-bihari szőlőskertekben is megtaláljuk, ám több lényeges eltéréssel.

Ritkábban fordul elő a háromsejtű pajta, az is többféle változatban. A nyugati terasz pajtáinál a szoba és borházhoz (közös falán van a kéményes tüzelőhely) harmadikként egy szín csatlakozik külön bejárattal. Ez utóbbi teljesen alápincézett, s lejárata a ház előtti tornácvégből nyílik [7]. Ezzel szemben a keleti terasz háromsejtű pajtái tulajdonképpen a már korábban megismert kétsejtű pajták bővített változatai, ahol a présház és a szoba kettéválik. A hosszoldali tornácról a bejárat mindig a présházba vezet, ahonnan a szoba nyílik.

Összegezve: a Kecskemét környéki, a hajdúsági és az észak-bihari szőlőskertek építményei többségükben egyosztatúak. A Nagykunságban és Hajdú-Bihar megye keleti részén, Nagyléta és Vértes környékén, valamint az Érmelléken pedig a két- vagy háromosztatú pajta az uralkodó forma.

5. A szőlőspajták (kunyhók) szerkezeti kialakítása

Az Alföld bihari és hajdúsági részén a sövény-, a vert- és vályogfal a legjellegzetesebb faltechnikák. Hajdúnánáson a kunyhó fala vályogból készült, a vírtelkek, azaz a tűzfalak pedig dorongpaticsból [2]. Amíg ez az építménytípus sem az Érmelléken, sem Észak-Biharban nem jellemző, addig ehhez főként megjelenésében hasonló pajtákat találunk a hajdúvárosok közül Hajdúszoboszló és Hajdúböszörmény szőlőskertjeiben. Hajdúböszörményben a szőlőspajták építkezésében a legrégibb technikák a paticsfal – a szőlőbeli pajták csaknem 50 százaléka ezzel a technikával készült - és a sárfal (fecskerakás) – a jelenlegi pajták mintegy 20 százaléka épült sárfallal -, ritkán alkalmazzák a vertfalat [3]. A hajdúnánási pajták építőanyaga az 1880-as évektől kezdve kizárólag a vályog. Általában a nagyméretűt használták (38x15x18 cm), de az egyosztatú kunyhókhoz elegendő volt a kisméretű is (30x15x15 cm). A szőlőkunyhók némelyikénél szigetelést is alkalmaztak. Minden esetben nádból készítették úgy, hogy a talaj szintjéhez közel lévő sorokba ujjnyi vastagon raktak belőle, míg fölfelé haladva egyre ritkábban és csak vékonyan. Ez egyben a falkötést, ezáltal a szilárdítást is szolgálta, amit még tovább növeltek azáltal, hogy a sarkokon derékszögben behajlították a nádszálakat [2]. Az Érmelléken a kötött talajú szőlőkben a legelterjedtebbek a vertfalu pajták voltak, a homoki szőlőkben pedig vesszőpatics falakat készítettek. A vertfalakat a XX. században a vályogfal váltotta fel [8]. Az albisi pajták nagy része szintén vertfallal készült, amelybe a szilárdság növelése érdekében szőlővenyigét fektettek, ami egyedülálló az eddigi náddal való erősítéssel szemben.

A vizsgált területeken az 1920-as évekig mindenütt a felvert nádfedés volt jellemző. Eltéréseket csak a tetőformák kialakításában, az oromzatok (vértelkek) szegésében és a kontycsúcs kialakításában találunk. Az Érmelléken, valamint a hajdúsági és bihari szőlőspajták körben kontyolt kialakítású tetőformájától eltérően Hajdúböszörményben a szegényebb rétegek körében a kontyolatlan nyeregtető az uralkodó forma. A sátortetős pajták tulajdonosai mind nagygazdák, akik mesteremberekkel építtettek [3]. Hajdúnánáson a szőlőskerti építmények nádazatát az 1920-as években cserépre váltották. A korcolt, felvert nádtetőt a széleken keresetlen formájú deszkaoromzat védi, amit igényesen kovácsolt oromvasak erősítenek a tetőlécekhez. Miután a kunyhók tetejének fedésével elkészültek, utolsó momentumként a tetőcsúcsokon beszúrták a két kihegyezett ösztörűfát. Ennek alkalmazása a hajdúnánási szőlőskertek építményein kívül másutt nem ismeretes [2].

A lakóépületekhez hasonlóan a szőlőspajták kialakításában is igen elterjedt építészeti elem a tornác, amely szerkezeti és alaprajzi szempontból is a pajta szerves részét képezi. A Nyírség népi építészetétől eltérően a tornác jelentős szerepet játszik a Sárrét, a Hajdúság vagy a Nagykunság lakóépületeinél. Alkalmazása a kisnemesi és mezővárosi építészetben már a XVIII. századtól nyomon követhető – Debrecenben pl. már a XVI-XVII. században építettek tornácos házakat -, a falusi lakosság körében azonban csak a századforduló évtizedeiben indul meg építése [4].

Elterjedésének legjelentősebb területei még a felsoroltakon kívül az észak-bihari és érmelléki községek, valamint Nyíregyháza és környéke.

Hajdúböszörményben a legrégibb pajták mind tornác nélküliek, ilyenkor a falat és a bejáratot csak a kissé megnyújtott eresz védi. A tornác a szőlőbeli építmények esetében csak a múlt század közepén kezd elterjedni, s mindig csak az épület egyik oldalán alkalmazzák. Két fő típust figyelhetünk meg: az egyik a hosszúereszes tornác, a másik a rövidereszes vagy előtornác. A hosszúereszes tornác típusai a következők: 1. félig nyílt tornác oszlopok nélkül vagy oszlopokkal, amit valamelyik rövidhomlokzat fala zár le, 2. zárt tornác, melyet a két rövidhomlokzat zár le, 3. lopott tornác, melyet a két- vagy háromosztatú pajta egyik helyiségéből vesznek el, szélessége megegyezik a helyiség szélességével, az egyik rövid homlokzat és a második helyiség fala határolja. Az előtornácnak két típusa ismeretes: 1. félig nyílt előtornác, egyik oldalát a hátsó főhomlokzat zárja le, 2. zárt előtornác, mely a két főhomlokzat fala által határolt. Az előtornác újabb jelenség Hajdúböszörményben, melyeket a XX. század elején kezdték építeni. Alkalmazása gyakori Kecskemét környékén, Hajdú-Biharban pedig elterjedése Derecskén és Mikepércsen jelentős [3]. A létavértesi Mosonta-kert XIX. századi szőlőspajtáinak kialakítása jelentős szlovák (tirpák) hatásról tanúskodik, melyre a betelepítések adnak magyarázatot, amikor a Rákóczi-szabadságharc után megfogyatkozott lakosság pótlására szlovák telepeseket hívtak és telepítettek le ezen a területen. Ezekre e szőlőspajtákra jellemző, hogy csak oldaltornáccal rendelkeznek, homloktornáccal soha. A tornác vagy féltornác vége le van falazva, az oszlop-gerenda csatlakozások pedig sokszor darulábas kialakításúak (emellett gyakran szerepel a T csatlakozás is). Ezek a jellegzetességek jól megfigyelhetők mind a Nyíregyházán és a környező bokortanyákon épült tirpák lakóházaknál, mind a Szarvas környékieknél. Ezek analógiájára épülhettek a Mosonta-kert szőlőspajtái. Az Érmelléken a régi típusú kétosztatú pajtákat eredetileg tornác nélkül építették. Később már gyakoribbak a 3-4 faoszloppal ellátott tornácos pajták. A lakóház építészetben az épület rövid és egyik főhomlokzatát határoló, valamint a házat körbevevő tornác csak a kisnemesi építészetben ismert. Ezeknek a tornáckialakításoknak az Érmellék észak-keleti területén való elterjedése a szatmári területekkel való erős kapcsolatokra vezethető vissza, amely az alföldi, észak-erdélyi és kárpátaljai házkultúrák átmeneti területét alkotja. Építészetének jellemző vonása a tornácok általános alkalmazása, ahol gyakoriságát tekintve is jelentős az elő- és főhomlokzati, illetve végtornácok és azok kombinációjából létrehozott változatok alkalmazása.

6. Összefoglalás

Visszatérve feltett kérdésünkre, hogy a szőlőhegyeken és szőlőskertekben egyaránt megtalálható szőlőspajták kialakításában nyomon követhető-e a kétféle nyelvi terminus és kimutatható-e a keveredés, egymásra hatás az átmeneti zónában, azt válaszolhatjuk, hogy építészetileg elsődleges hatásként mindenképpen a társadalmi berendezkedés, szerkezetileg pedig a természeti adottságok tükröződnek a pajták

kialakításában. Ha viszont azt vesszük figyelembe, hogy a Debrecen környéki szőlőspajtákban bort sohasem tároltak - mivel a kitaposott szőlőt és a mustot hazaszállították -, így nem is kapcsolódik hozzájuk pince, az Érmellék, mint történelmi borvidék területére eső pajták legnagyobb részénél pedig megtaláljuk a pajtához kapcsolódó pincét, akkor ebben a vonatkozásban a két terminus jelenléte és keveredése kimutatható. Az átmeneti zónában pedig a keveredés a pincék pajtához viszonyított más elrendezésében jut kifejezésre. A szőlőspajták szőlőben való elhelyezésében látható különbség és keveredés viszont inkább a debreceni polgárok Érmelléken vásárolt extraneus birtokaival magyarázható.

7. Irodalomjegyzék

[1] Borbély, G.**,** *Szőlő és bor az Érmelléken.* Partiumi Füzetek 57. Kiadja a Partiumi és Bánsági Műemlékvédő és Emlékhely Társaság, a Királyhágómelléki Református Egyházkerület és a Nagyváradi Római Katolikus Püspökség, Nagyvárad, 2009., pp. 5-44; 68-121.

[2] Buczkó, J., *A hajdúnánási szőlőskertek népi építkezése*. Nánási Füzetek 11. Hajdúnánás, 1992., pp. 3-91.

[3] Dám, L.**,** *A hajdúböszörményi szőlők népi építkezése.* Tanulmányok Hajdúböszörmény néprajzához II. Debrecen, 1972., pp. 3-75.

[4] Dám, L.**,** *Lakóházak a Nyírségben.* Studia Folkloristica et Ethnographica 6. A Kossuth Lajos Tudományegyetem Néprajzi Tanszékének Kiadványa. Debrecen, 1982., pp. 115.

[5] Égető, M.**,** *Az alföldi paraszti szőlőművelés és borkészítés története a középkortól a múlt század közepéig.* Néprajzi tanulmányok. (Szerk.: Kisbán Eszter) Akadémiai Kiadó, Budapest, 1993. pp. 267.

[6] Kurucz, A**.,** *Az észak-bihari szőlőművelés és borgazdálkodás.* Hajdú-Bihar Megyei Múzeumok Közleményei 5. szám. Debrecen, 1964. pp. 103.

[7] Pataky, E., *Az Öregkert dűlőiben.* (A létavértesi Mosontakert népi építészete és műemlékvédelme). Piremon Nyomda, Létavértes, 2000. pp. 35.

[8] Varga, Gy**.,** *Az érmelléki szőlőkultúra*. In: Bihari dolgozatok. A Bihari Múzeumok Közleményei 3. (Szerk.: Héthy Zoltán). Berettyóújfalu, 1976. pp. 101.