

Miskolci Egyetem

Műszaki Anyagtudományi Kar



Diplomamunka

Pecsmány Dániel János

2021.

Miskolci Egyetem
Műszaki Anyagtudományi Kar
Kémiai Intézet

**Poliuretán habképződés virtuális és ipari
optimalizációja
Diplomamunka**

Készítette: Pecsmány Dániel János
Konzulens: Prof. Dr. Viskolcz Béla

2021.

Igazolás

Alulírott Pecsmány Dániel János (Neptun kód: C6N1GK született: Eger, 1996.05.29) igazolom, és büntetőjogi felelősségem tudatában kijelentem, hogy a leadott diplomamunka a saját munkám.

Miskolc,

Pecsmány Dániel János, hallgató

Az igazolást átvettem.

Miskolc,

prof. Dr. Viskolcz Béla, Intézetigazgató

Alulírott Pecsmány Dániel János (Neptunkód: C6N1GK szül.hely: Eger, 1996.05.29) ezúton nyilatkozom, hogy a dolgozat nem tartalmaz a tudományos etikát, valamint vállalatok és intézmények érdekeit sértő bizalmas információkat, viszont mivel abban vállalatok és intézmények érdekeit sértő bizalmas adatok is szerepelnek, a Dolgozatom semmilyen formában nem hozható nyilvánosságra, az sem az Egyetemi Könyvtár részére, sem további felhasználásra „harmadik fél” részére át nem adható. Azt a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának Kémiai Intézetében elzártan kell tartani.

Miskolc,

Pecsmány Dániel János, hallgató

Az igazolást átvettem.

Miskolc,

prof. Dr. Viskolcz Béla, Intézetigazgató

I. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Megragadnám az alkalmat, hogy köszönetet mondjak ez úton is konzulensemnek. Hálás vagyok prof. Dr. Viskolcz Bélának, folyamatos támogatásáért, tématerületemen belüli útmutatásáért és a kutatási munkám célzott irányításáért. Köszönetemet fejezném ki továbbá Román Krisztinának, az ME-FIEK és a Wanhua Borsodchem Zrt. munkatársainak a munkámmal kapcsolatos segítségnyújtásért. Végezetül hálásan köszönöm családomnak és barátaimnak a támogatást, amely nélkül a diplomamunka nem készülhetett volna el.

Köszönet a Miskolci Egyetemen megvalósított GINOP-2.3.4-15-2016-00004 „Korszerű anyagok és intelligens technológiák FIEK létrehozása a Miskolci Egyetemen” projektnek, amely részeként az Európai Unió valamint a Magyar Állam támogatásával és az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósult meg.

II. TARTALOM

1.	Irodalmi áttekintés.....	1
1.1	Célkitűzés.....	1
1.2	Általános áttekintés	1
1.3	Poliuretán rendszer tervezése.....	2
1.3.1	Poliolok	3
1.3.2	Izocianátok	6
1.3.3	Katalizátorok és adalékanyagok.....	7
1.4	Laboratóriumi reaktivitásteszt.....	8
1.5	Nagynyomású ellenáramú keverés a Poliuretán iparban	9
1.5.1	Állandó nyomású injektorok	12
1.6	MDI alapú formahabok gyártásának jellemzése	15
1.6.1	Hidegen térhálósított formahabgyártás	16
1.6.2	Kettős keménységgel rendelkező habok	17
2.	Kutatási téma kidolgozása.....	20
2.1	Alkalmazott berendezések és szoftverek	20
2.1.1	Reakciós öntőgép	20
2.1.2	ABB Robot Studio 2019	21
2.2	Gyártástervezés és paraméterek meghatározása	22
2.2.1	Poliuretán lágyhab rendszer	22
2.3	Szimulációs optimalizáció	24
2.3.1	Gyártócella felépítése és konfigurálása (ABB Robot Studio 2019).....	24
2.3.2	Keverőfej konfigurálása (Create Tool)	25
2.4	Töltési optimalizálás és bejárési útvonalak tervezése.....	27
2.4.1	Töltési optimalizálás	27
2.4.2	Bejárési útvonalak tervezése és optimalizálása.....	29
2.4.3	A hígított poliól rendszer paramétereinek meghatározása és összehasonlítása a kiindulási rendszerrel (FOAMAT 285)	38
2.5	Mechanikai tulajdonságok összehasonlítása az új és alapreceptúrával gyártott minták esetében.....	39
2.5.1	Nyomófeszültség meghatározása (ASTM D 3574 Test C).....	39
2.5.2	Tépőszilárdság meghatározás (ASTM D 3574 Test F).....	40
2.5.3	Öregedés vizsgálat (ASTM D 3574 Test K) és Kolorimetria	43

2.5.4	Az öregített és referencia minták VOC vizsgálatai a vizsgált receptúrák esetén (VDA 277).....	44
3.	Összefoglalás és jövőbeli tervek	47
4.	Referenciák	49

III. ABSZTRAKT

A szimulációs programok elterjedésével a vegyiparban alkalmazott technológiák optimalizálására nyílik lehetőség. Az ezen a területen szerzett tapasztalattal, illetve az anyagszerkezetét befolyásoló fizikai és kémiai folyamatok ismeretében a gyártásra használt berendezés optimalizálható, illetve a berendezés által termelt haszon maximalizálható. A következőkben optimalizálni kívánt berendezés egy nagynyomású reakciós öntőgép gyártócellája. Az ABB RobotStudio 2019 programban felépítettem az iparicella virtuális mását és optimalizáltam a gyártócella elsőülés háttámla formájában történő injektálás bejárati programját. A szimulációban megtervezett robot programok feltöltése után a robotcellában található formahordozó berendezés paraméterkészletének beállítását és a cella adott poliuretán lágyhab rendszerhez hangolását követően a termék megfelelő mennyiségben és minőségben, gazdaságilag kedvező módon legyártható. A próbagyártás során a gyártási paraméterek és az előállított lágyhab termék minőség-ellenőrzésére anyagvizsgálati és szerkezetvizsgálati módszereket alkalmaztam. Ezekkel a szabványos vizsgálatokkal ellenőriztem a gyártási folyamatot, bizonyos esetekben további módosításokat végeztem a megfelelő minőséget eredményező végleges gyártási procedura kialakítása érdekében. Méréseimet kiegészítettem szabványos öregedési vizsgálatokkal, így élettartam tesztekkel jellemeztem a termék minőségének állandóságát. Az öregedés során, az anyagszerkezetben bekövetkező változásokat mechanika tesztekkel, valamint színméréssel vizsgáltam. Ezek mellett az autóipar szempontjából fontos előzetes VOC (illékony szervesanyag tartalom) méréseket is elvégeztem. A kutatás eredményeként egy olyan reprodukálható, és minőségbiztosítható termék (elsőülés háttámla) gyártási folyamatát optimalizáltam, amely a formát teljesen, az ipar igényeinek megfelelően, anyagszerkezeti hibák nélkül kitölti. A gyártott termékkel szembeni magas minőségi elvárások és alacsony előállítási költség figyelembevétele részét képezte a globális optimalizációs vizsgálataimnak. A végeredmény egy formára és minőségre optimalizált gyártási folyamat, ahol a rendelkezésre álló ismeretek függvényében a költségeket is minimalizáltam.

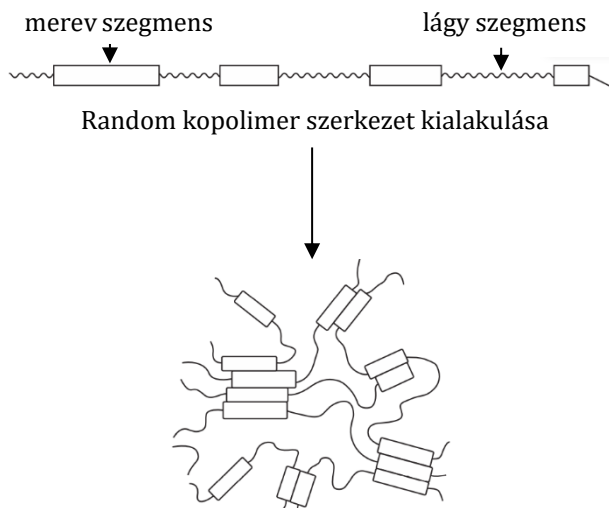
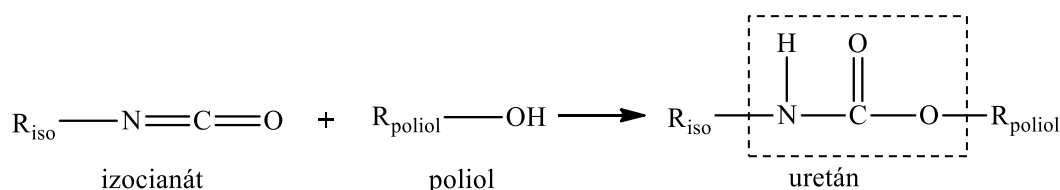
1. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

1.1 CÉLKITŰZÉS

Kutatási munkám célja MDI alapú poliuretán lágy-formahabgyártás során a töltési tulajdonságok javítására szolgáló optimalizáció fejlesztése. A gyártócella virtuális másának elkészítése után lehetséges az útvonalak optimalizációja. Az optimalizált útvonalakat a valódi gyártócellában ellenőrizzük. A virtuálisan optimált, valóságban tesztelt gyártási folyamat eredménye - egy konkrét elsőülés háttámla formahabgyártásán keresztül bemutatva - az ipari gyártáshoz szükséges paraméter készlet.

1.2 ÁLTALÁNOS ÁTTEKINTÉS

A Poliuretánok szűkebb értelemben véve a két alapkomponeus, poliól („A” komponens), illetve di- és poliizocianátok („B” komponens) poliaddíciós reakciójával létrejövő polimerek gyűjtőneve (1. ábra) [1][2].

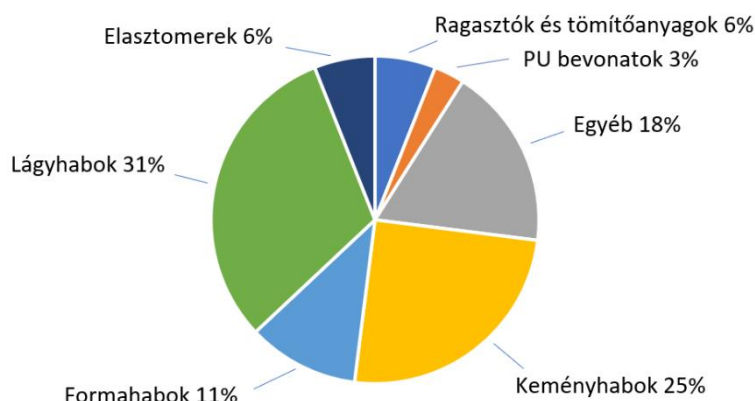


A poliuretán láncok statisztikus gombolyag szerkezete

1. ábra: A poliuretán láncnövekedés folyamata és a kopolimer szerkezet sematikus ábrázolása [1][3].

Tekintve, hogy két monomer vesz részt a polimerizációs reakcióban, így kopolimer szerkezetéről beszélünk. A különböző monomerszerkezetek különböző tulajdonságokkal rendelkező

szegmenseket alkotnak a poliuretán szerkezetben belül [2]. Ezen összetett anyagokat a kialakult szerkezet szerint csoportosítva megkülönböztethetünk: elasztomereket ($\rho \approx 1200 \text{ kg/m}^3$), integrálhabokat, kemény és lágyhabokat ($\rho \approx 10\text{-}100 \text{ kg/m}^3$), formahabokat. Ezek mellett gyakoriak még a tömítő, ragasztó, bevonatként használt poliuretán alapú készítmények a kereskedelmi forgalomban (2. ábra). Manapság találkozhatunk poliuretán termékekkel az élet minden területén. Ezen termékek napjainkban lehetővé tették az emberi életszínvonal folyamatos javulását, így válva az egyik legmeghatározóbb polimerré az iparban. A világszerte felhasznált poliuretán termékek összértéke 60,5 milliárd USD (2017) [1][3].



2. ábra: A poliuretánok globális felhasználása (2016) [1].

A legszélesebb körben felhasznált csoportot képezik a lágyhabok (31% (2016)). Ezen szerkezetek tulajdonságai reológiai és mechanikai értelemben véve is a felhasznált poliól és izocianát típusától, illetve a poliólhoz hozzáadott adalékanyagok mennyiségétől és minőségétől fog függeni [1]. Bár külön csoportba sorolható az ábra alapján, jelen kutatási munka a lágyhabokhoz tartozó formahab típusokkal foglalkozik (11% (2016)).

1.3 POLIURETÁN RENDSZER TERVEZÉSE

A poliuretán rendszerek tervezése esetén, fontos meghatározni az elérni kívánt célt, hogy milyen rendeltetése lesz a tervezett anyagnak. Ennek megfelelően kell megadni a poliól és izocianát monomereket, amelyek a fő láncalkotók lesznek. Továbbá a poliól komponenshez adott katalizátorok és adalékanyagok mennyiségének és minőségének függvényében tudjuk befolyásolni a keletkezett termék tulajdonságait. Ezen anyagok fogják meghatározni a keletkező termék struktúráját, hogy lágy-, félkemény-, keményhabot vagy elasztomert szeretnénk a polimerizáció eredményeként kapni. A poliólhoz adalékolt anyagokat 100 tömegrész poliólra (pphp) vetítve adják meg a rendszerházak, ehhez a sztöchiometrikus mennyiségű izocianát számításal meghatározható. Az ilyen komplex rendszerek tervezése

trendeken alapul, tehát az adalékanyagok arányának változtatásával a keletkezett termék tulajdonságait finomhangolni kell (1. táblázat). Habrendszerek esetén bonyolultabb összetételű poliold rendszert alkalmazunk, amelyben több különféle arányban lévő adalékanyag (cellanyitó poliold, felületaktív anyag, pigment, töltőanyag) van jelen, valamint minimum két féle katalizátort (habosodási-, gélesedési katalizátor), illetve keresztkötő komponens. Az elasztomer rendszerek esetén, a rendszer bonyolultsága nem ilyen fokú. Az alaprendszer szintéziséhez elegendő a gélesedés katalizálása, illetve a keménység befolyásolása (diol lánchosszabítókkal), a rendszer azonban sztöchiometriailag jóval érzékenyebb lesz [3][6][9].

1. táblázat: Lágyhab rendszerben található komponensek aránya [6].

Alapanyagok	Tömegrész (pphp)
Poliold (poliéter)	100
Víz	2 - 5
Fizikai habosítószert	0 - 15
Felületaktív anyag	0,4 - 1,5
Ón-katalizátor	0,2 - 0,4
Amin-katalizátor	0,05 - 0,5
Pigment	0 - 10
Töltőanyag	0 - 100

1.3.1 Polioldok

A szintézis egyik alapkomponensét a terminális hidroxil csoportokkal rendelkező polioldok képzik. A polioldok szerkezete és minősége nagyban befolyásolja a keletkezett termék reológiáját és mechanikai tulajdonságait [3][5][6].

A klasszikus makromolekuláris kémiára jellemző számos általános tulajdonság köthető a poliuretán szerkezetéhez, amit közvetlen az oligo-poliold struktúra határoz meg [4]:

Molekulatömeg (MW)

Az oligo-polioldok molekulatömege 400-6500 dalton közé tehető. Rövid oligo-polyol lánct (rövid láncegységek hidroxil csoportonként, vagy alacsony ekvivalenstömeg) esetén megnövekszik a lánctban lévő urea és uretán kötések aránya. A lánctok között ébredő magas kölcsönhatásienergia (hidrogén kötések révén) egy kemény szerkezetet eredményez pl. keményhabok [2]. Ezt magas funkcionalitású oligo-polioldok alkalmazásával fokozzák. Összevetve, a hosszú láncttal rendelkező oligo-polioldok (hosszú láncegység hidroxil csoportonként, vagy nagy ekvivalenstömeg) esetén az uretán, illetve urea kötések aránya a rendszerben alacsony, illetve kölcsönhatási energia értéke ezek között a lánctok között

jelentősen csökken. A polioliol lánc nagy mozgékonyságának, rugalmasságának és alacsony Tg-jének köszönhetően nagyon rugalmas PU szerkezetet kapunk eredményül [3][5].

Intermolekuláris erők

A poliuretán láncok között lévő másodrendű gyenge kötések (vonzó kölcsönhatás a polimermolekulák között) nagyon fontos szerepet képviselnek a szilárd polimer tulajdonságainak tekintetében és a mechanikai, termikus, kémiai és elektromos ellenállóképességében. A másodrendű kötőerők (pl. Van der Waals kötőerők, London diszperziós kölcsönhatás, hidrogén híd kötés ...stb.) összeadódva adják a láncok közötti kohéziós energiát. Az erősebb kohéziós energia jobb fizikai-mechanikai tulajdonságokhoz vezet. Természetesen a poliuretánokban az uretán és karbamid kötések interakciója, valamint az izocianát aromás gyűrűi járulnak hozzá a legnagyobb mértékben a kohéziós energia növekedéséhez (ezek a hatások kumulatívak). Általános szabály, hogy a laterális szubtituensek és a térhálósodás csökkentik az intermolekuláris kölcsönhatásokat [5].

A lánc merevsége

Rugalmas kötések esetén (pl. éter kötések a láncban), a molekula egységek kötés körüli szabad rotációja (pl. C-O kötés körül) lehetővé teszi a molekuláris rugalmasságot. Ebből következik, hogy ezek a polimerek lágyabbak, rugalmasabbak, alacsony olvadásponttal és Tg-vel rendelkeznek. A molekuláris rugalmasság attól függ, hogy mekkora a rotációs szabadság az egyszeres kötések körül a polimer molekula főláncában. Ezeket a szabad rotációs pontokat korlátozva a rugalmasság romlik. A Tg erősen kötődik a polimer lánc rugalmasságához. Egy alacsony Tg-vel rendelkező oligo-polioliol szegmens alkalmazásával, a poliuretán a rugalmasságát még alacsony hőmérsékleteken is képes megőrizni [3][5].

Kristályosság

A poliuretánok kristályosodása során a láncokat alkotó csoportok szabályos rendben, ún. kristályos régiókba rendeződnek. Ezen régiók arányának növekedése a polimer láncok mozgékonyságának csökkenéséhez vezet. Eközben a termék keménysége, szakítószilárdsága, olvadáspontja növekszik. Az oldhatóság, rugalmasság és a rugalmas deformáció (nyúlás) mértéke azonban csökken. Kristályos szegmenseket tartalmazó poliuretánok kristályos oligo-poliolokból állíthatók elő. Bár az oligo-poliolok többsége amorf folyadék, azonban néhány közülük kristályosságot mutat, mint pl.: politetrametilén-glikolok, poli(ϵ -kapolakton)-

poliolok, poli(etilén-adipát)glikolok, valamint különböző poliészter-poliolok és polietilén-glikolok [5].

Térhálósodás

A poliuretán láncok között kialakuló keresztkötések a molekuláris mozgékonyagra és rugalmasságra negatív hatással vannak. A folyamat során a merevség, a lágyulási pontok száma és a rugalmassági modulusz nő, valamint csökken a rugalmas deformáció mértéke és az oldószerekkel szembeni duzzadás (csak a lineáris polimerek oldhatóak, térhálós polimerek csak duzzadni képesek oldószerek hatására). A térhálósodási fok legfőképpen az oligo-poliolok funkcionalitásától függ, valamint az elágazási pontok közötti molekulatömegtől (valójában az oligo-poliol molekulatömegétől függ) [3][5].

A poliolok csoportosíthatók továbbá láncalkotók szerint poliéter, illetve poliészter típusú poliolkra. A szintézis alapján történő csoportosítás szerint: gyűrűs monomerekkel történő, vagy gyűrűfelfnyílásos polimerizációval előállított, anionos-, kationos-, koordinációs mechanizmuson alapuló és polikondenzációs reakción alapuló poliolkat különböztethetünk meg. Ezen monomer szerkezetek alkotják a poliuretánlánc lágy szegmensét [3][6].

A kialakult habszerkezet nagyban függ a poliolhoz hozzáadott egyéb komponensek mennyiségétől és minőségétől. Az OH-szám a receptúra tervezés egyik alapja, ez az érték az egyenérték komponensere vetített hidroxil funkciócsoportok (-OH) mennyiségét jelenti, amit kálium-hidroxidra vonatkoztatva adnak meg. Ezen paraméter segítségével meghatározható az ekvivalens tömeg, amellyel az adott izocianát reagál. A poliolhoz kevert keresztkötők, illetve lánchosszabítók módosíthatják az alapanyag OH-számát, amely alapvetően befolyásolja a keletkezett termék mechanikai tulajdonságait. A nyomószilárdság és a szakítószilárdság csökkenő ekvivalens tömeg mellett növekszik (OH-szám nő). A lágyhabok esetén alkalmazott OH-szám 40-250 közé tehető. A poliolkok funkcionalitásának növekedésével javul hőállóságuk és szerkezeti stabilitásuk. Az általunk is alkalmazott poliéter típusú alapmátrixal rendelkező poliolkkal rugalmasabb és hidrolízis állóbb habszerkezeteket lehet kialakítani, azonban ezen szerkezetek stabilizátorok hiányában, fotooxidációval szembeni ellenállóképességet nézve elmaradnak a poliészter-poliolkhoz képest [3].

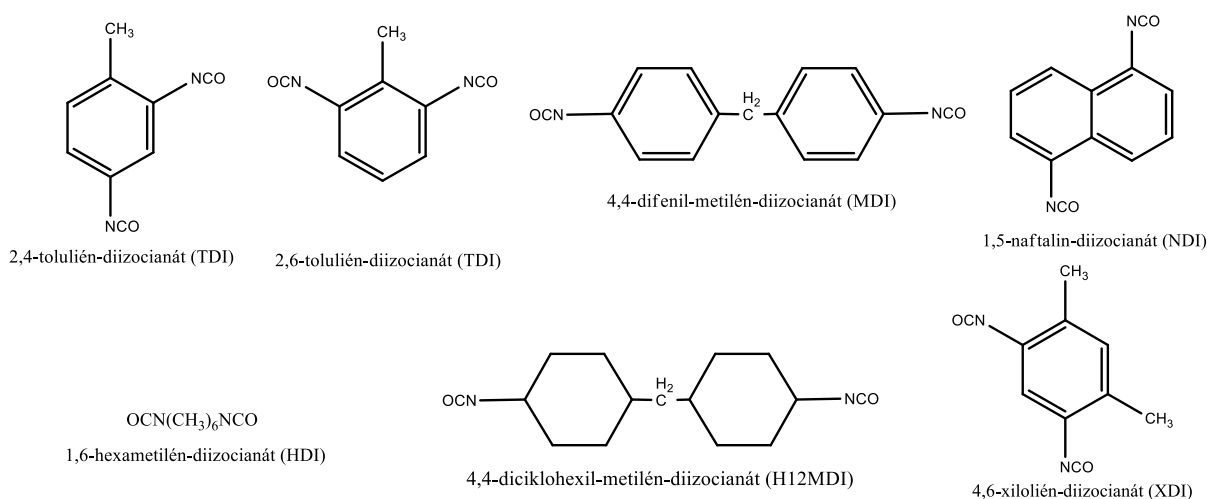
OH-szám meghatározása a funkcionalitás ismeretében additívok esetén [mgKOH/g] [3][6]:

$$OH_n = \frac{M_{KOH} \cdot \text{Alkohol funkcionalitása}}{M_{Alkohol}} \cdot 1000$$

A poliolkok OH-számából történő ekvivalenstömeg meghatározása [g] [6]:

$$m_{poliol} = \frac{M_{KOH} \cdot 1000}{OH_n}$$

1.3.2 Izocianátok



3. ábra: A kereskedelmi forgalomban lévő legfontosabb izocianát vegyületek [2][3][2].

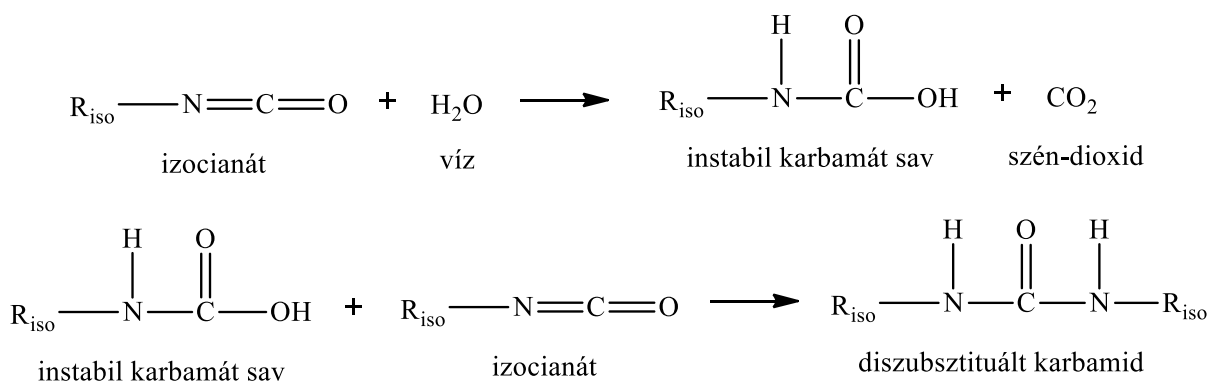
A poliuretán szintézis másik fontos komponensét alkotják a mono-, di- és poliizocianátok, amelyek a (-NCO) izocianát csoportokon keresztül reagálnak a poliolk komponenssel. A kereskedelmi forgalomban lévő szerves izocianát vegyületek között találhatunk alifás (etilén-diizocianát), cikloalifás (ciklobután-1,3-diizocianát), aromás (2,4- és 2,6-toluidiisocianát) di- és poliizocianátokat (pMDI: polifenil-polimetilén-poliizocianát) (3. ábra). Ezen vegyületek közül a metilén-difenil-diizocianát (MDI), illetve a toluén-diizocianát (TDI) a legnagyobb mennyiségben gyártott két alapkompone. Ezek az izocianát komponensek alkotják a poliuretán lánc merev szegmensét, amely lényeges a mechanikailag stabil struktúra kialakításához és egyik meghatározója a felhasználás jellegének. Egyes esetekben a mechanikai tulajdonságok beállításához (vagy finomhangolásához) különböző izocianát izomer keverékeket alkalmaznak. Felhasználást tekintve a lágyhabok esetében az MDI alapú termékek kerülnek előtérbe (polifenilén-polimetilén-poliizocianát (pMDI), 2,4-, ill. 2,6 metilén-difenil-

diizocianát). A kívánt termék a megfelelő, amin foszgénnel való reakciója során, a szintézis körülményeinek biztosításával (ODCB (orto-diklór-benzol), 140 °C - MDI gyártás esetén) állítható elő [7]. A tiszta MDI sárgásfehér kristályos anyag, olvadáspontja 38 °C, állás közben oldhatatlan dimerré alakul. A keletkezett dimerek magasabb olvadásponttal rendelkeznek, a növekvő móltömeg miatt. A technológiai, ill. feldolgozó rendszerben a keletkezett anyag oldhatatlansága miatt a szűrőkben megakad, amely az oligomerek arányát növelve rontja a reaktivitást. A könnyebb kezelhetőség és a technológiai rendszer védelme érdekében a gyártó cégek az izocianát termékeiket módosítják. A módosítás során az egészségügyi kockázatok csökkentése érdekében az izocianát egy részét poliollal reagáltatják el melynek során kisebb mennyiségű reaktív csoportot tartalmazó komponens rendszert kapnak. Ezeket a termékeket prepolimereknek (~15-33% közötti NCO funkciós csoport tartalom) nevezzük [3][6].

Mechanikai tulajdonságokat a keletkezett habszerkezetben jelen lévő merev és lágy szegmensek aránya határozza meg. A sztöchiometrikus mennyiségtől eltérő tömegű izocianát bekeverésével a merev szegmensek aránya megváltozik. Ezt a paramétert NCO-indexnek nevezi az irodalom. A lágyhab gyártás során általánosan használt az 1,05-ös NCO-index, amely a sztöchiometrikus mennyiségnél több reaktív -NCO csoportot tartalmazó izocianát hozzáadását feltételezi. Ezek a csoportok polikarbamid merev szegmenseket képezve a hab belsejében növelik a hab keménységét [3]. Csökkentve az index értékét (NCO-index <1) a lágyszegmensek mennyisége növekszik meg, amely a hab nyomószilárdságának csökkenését eredményezi, valamint ezzel párhuzamosan a szakítószilárdság növekedését [6][8].

1.3.3 Katalizátorok és adalékanyagok

A lágyhab rendszereknél használt katalizátorokat két csoportra oszthatjuk: gélesedési, illetve habosodási reakciót katalizáló vegyületekre. Gélesedési reakció esetén a polimer lánc növekedését segítjük elő (1. ábra), azaz az izocianát és a poliollal közötti reakciók sebessége növekszik meg az alacsonyabb energiájú reakcióúton keresztül. Az ilyen katalizátorok a szerves ón- vegyületek: dibutil-ón-dilaurát, dibutil-ón-karboxilát. A katalizátorok másik csoportja, a már említett habosodási reakcióra van hatással, melynek során az izocianát és a víz (mint habosítószer) között lejátszódó reakció sebessége növekszik meg (4. ábra). A felhasznált katalizátorok ebben az esetben tercier-aminok pl.: DABCO (trietilén-diamin). Fontos, hogy ezen reakciók a katalizátorok arányában megfelelő egyensúlyban fussanak le a stabil szerkezet kialakulásának érdekében. A kétféle katalizátor és a hozzáadott víz mennyisége együttesen befolyásolja a keletkezett habszerkezet tulajdonságait [3][6].



4. ábra: Izocianát és víz reakciója. (Habosodási mechanizmus)[1].

A poliol alapmátrixba kevert adalékanyagok közül párat kiemelve [3][6]:

- Keresztkötők (dietanol-amin - katalitikus hatása is van).
- Láncösszetartók (glicerin, monoetilén-glikol).
- Felületaktív anyagok (csökkentik a habosodás közben a reakcióelegy felületi feszültségét, így elősegítve a makroszkopikusan homogén cellaszerkezet kialakulását a habosodás során – polysziloxánok).
- UV-stabilizátorok (Benzofenonok, Ni-fenolátok, fém-dialkil-tiokarbamátok).
- Égésgátlók (antimon-hidroxid, halogén (Cl, Br) - vegyületek).
- Töltő és vázanyagok (dolomit, kalcium-karbonát).

1.4 LABORATÓRIUMI REAKTIVITÁSTESZT

A habképződés kinetikai jellemzésére alkalmas módszer az ún. reaktivitás teszt. Ennek során a különböző adalékanyagokat és katalizátort tartalmazó „A” – poliol komponenst a számítással meghatározott megfelelő arányban a „B” komponenssel össze kell keverni mechanikus keverővel magas fordulatszámon (2000-6000 rpm). Ennek során az izocianát és a poliol monomer kellően közel kerülhet egymáshoz, hogy a katalizátor jelenlétében zajló polimerizáció és egyéb reakciók letudjanak futni. Lágyhab szerkezet esetén a keverést követően a habosodási és gélesedési reakciót tudjuk lekövetni [3][6].

A poliuretán képződés kinetikájának jellemzésére gyakorlatban a következő paraméterek nélkülözhetetlenek, amelyek tudatában a gyártó berendezés optimalizálható [3][6]:

- **Keverési idő:** Az „A” és „B” alapanyagok megfelelő keveréséhez alkalmazott időintervallum.

- **Start-idő:** Azt az időtartamot definiálhatjuk így, ami a komponensek keverésétől a reakcióelegy viszkozitásának változásáig tart (egyed rendszerek esetén megegyezik a habemelkedés kezdetével).
- **Gélesedési idő /kötési idő/:** A keverés kezdete és folyóképesség megszűnése között eltelt idő. A reakcióelegyből ettől az időpillanattól lehet szálát húzni (elasztomerek).
- **Emelkedési idő:** A keverés kezdete és a habemelkedés vége között eltelt idő.
- **Formaállóság ideje:** A keverés és a formából történő anyagszerkezeti benyomódásoktól mentes eltávolíthatóság között eltelt idő.
- **Ragadásmentesség ideje:** A keveréstől a minta ragadásmentességéig tartó időintervallum. A polimerizáció végét határozhatjuk meg.
- **Érési idő:** Az adott termék állás közben tovább keményedik, mivel a szabad izocianát csoportok reagálnak a levegő víztartalmával polikarbamidot képezve a nyíltcellás szerkezetben. Ennek a gyártástól számított a folyamat befejeződéséig tartó időintervalluma az érési idő.

Napjainkban ezen paraméterek mérése egyszerűen gépesíthető (FOAMAT 285), melynek során a habminősítés pontosan, emberi hibától mentes módon elvégezhető. Továbbá ezek mellett bővebb információ nyerhető a sebességi lefutásról és zsugorodási tulajdonságokról is [27][28].

1.5 NAGYNYOMÁSÚ ELLENÁRAMÚ KEVERÉS A POLIURETÁN IPARBAN

A statikus keverés egy fajtája. A folyamat során speciális kialakítású állandó nyomású injektorok alkalmazásával, a két komponens keverését a nagy alapanyagnyomás (100-250 bar) hatására keletkező kinetikus energia teszi lehetővé. Az injektorok nyitásakor a nyomási energiából sebességi energia (elérheti a 150-170 m/s-ot is) lesz, azonban a geometriából kifolyólag bizonyos mértékű veszteségre kell számítani. Az adott alapanyagnyomáson elérhető áramlási sebesség a sűrűség függvényében változik [6][12][13].

A megfelelő keveredési hatásfok eléréséhez elengedhetetlen az injektorok nyomásának beállítása. A folyamat során a nyomás növekedésével a kiáramló komponens sugár sebessége arányosan növekszik. A nyomás és az áramlási sebesség közötti kapcsolat leírható a Bernoulli egyenlettel [12][15].

Izocianát komponens (Ongronat TR 4040) kiáramlási sebességének meghatározása Bernoulli-egyenlet segítségével [15][16]:

$$P_1 = 140 \text{ bar} = 14000000 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 101325 \text{ Pa}$$

$$\rho_{ISO} = 1220 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_{ISO} v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho_{ISO}}} = \sqrt{\frac{2(14000000 \text{ Pa} - 101325 \text{ Pa})}{1220 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 150,946 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A magas kinetikai energia, valamint a kialakuló áramlási turbulencia az egymással szemben injektált komponensek nagy hatásfokú keverését teszi lehetővé [15][18].

A keveredés hatásfoka függ a nyomás sebességi energiává való alakításának hatásfokától és a keverőkamra kialakításától. A bemeneti nyomás beállítása és szabályozása alapvető a legjobb keverési teljesítmény elérésének érdekében. A keveredés hatásfoka három fontos paramétertől függ, amit a nyomás befolyásol [15]:

A komponensek ütközési frontja

Kísérleti tesztekkel igazolható, hogy az ütközési frontnak a hengeres kialakítású keverőkamra közepén kell elhelyezkedni a legnagyobb keverési hatékonyság elérésének érdekében [17]. Figyelembe kell venni azonban, hogy a két sugár ütközése során keletkezett energia ellenére is megtartja lendületét. Ezen kívül figyelembe kell vennünk, hogy mindegyik alapanyagsugár az energiáját (sebességét) az útja során az injektortól vett távolságának függvényében osztja el. Ezek szerint könnyen belátható, hogy a két sugár ütközési helyzete a keverőkamrában a sugarak kölcsönös specifikus energiájától függ (a sebességétől és tömegáramától) [15].

$$\rho_1 Q_1 V_1 = \rho_2 Q_2 V_2$$

Ebben az esetben, ha azonos nyomáson vesszük az alapanyagok injektálását, akkor a poliol kissé gyorsabban halad, mint az izocianát ($\rho_{poly} < \rho_{iso}$), ekkor a két sugár a keverőkamra közepén fog találkozni. Ez akkor valósul meg ha a komponenseket 1:1 arányban keverjük, tehát az anyagáramok azonosak [15].

Azonban azonos sebesség esetén, tekintve, hogy az izocianát nehezebb, az ütközés során a front a kamra közepétől a poliol ág felé fog eltolódni. Ugyan ezt a hatást érjük el, ha az alapanyagok tömegáramát változtatjuk. Az ütközési front mindig az alacsonyabb tömegáramú ág felé mozdul el [15].

A poliuretán receptúrák tervezése során a sztöchiometrikus reakcióhoz a keverék általában 2:1 arányú (poliol-premix : izocianát) elegyként számítható. Ebből következik, hogy a gyengébb áram lendülethiányát kompenzálni kell a nyomás növelésével [15].

Viszkozitás kompenzálása

A poliol-premix viszkozitása jóval nagyobb, mint az izocianaté, ezért ezt a szivattyúk méretezése során figyelembe kell venni. A komponensáramok nyomását az adagolószivattyúk közelében mérik, azonban a viszkozitásukból eredő nyomásveszteség miatt az injektoroknál mérhető valós komponensnyomás alacsonyabb ennél az értéknél. Ez a nyomásesés a csővezeték méretétől, a folyadék hőmérsékletétől és az áramlás sebességétől függ. Általában nem szükséges teljesen kompenzálni ezeket a nyomásveszteségeket, mivel minél nagyobb az áramló közeg sebessége annál nagyobb a keverésre rendelkezésre álló kinetikus energia [15].

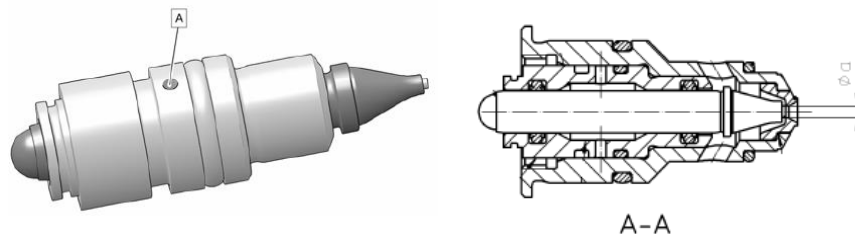
Az ún. előáram kompenzációja

Az előáram kialakulása szorosan összefügg a nagynyomású keverőfej felépítésével. A két komponensáram arányának különbségéből adódik az injektorok nyitása során előidézett gyors átmenet közben. A folyamat során az injektorok nagynyomású recirkulációs üzemenetből, injektálási üzemenetbe mennek át, melynek során a dugattyú néhány milliszekundumra zárja az anyagáramok injektorait. Ez a folyamat nyomásnövekedés eredményez az alapanyagrendszerekben, amely az ismételt nyitás hatására kompenzálódik, melynek során az alapanyagok keverési aránya eltolódhat. Abban az esetben, ha a visszatartott anyagmennyiségek nagyok, akkor az arány eltolódik, ami a poliuretán hab belsejében anyagszerkezeti hibát okoz (eltérő szerkezettel és tulajdonságokkal rendelkező inhomogenitás a habszerkezetben) [15].

Azonban, ha a felgyülemlett anyagmennyiség többé-kevésbé arányos és meglehetősen alacsony, akkor a keverési arány nem változik [15].

Az előáramlások kompenzációja nagyon fontos, de nem könnyű meghatározni. Nagyfokú szakértelemre van szükség a habosítási paraméterek beállításához és az előáramok kiiktatásához. Anyagáram továbbító horonyok nélküli keverőfejben, a recirkulációt és az injektálás szabályozását az injektorok végzik. A folyamat során az áramlások elterelését és a beállított nyomást is szabályozni kell [15].

1.5.1 Állandó nyomású injektorok



5. ábra: A 2,0 mm-es tűszelep (Hennecke GmbH)[15][13].

A fúvóka tűjének kívánt keresztmetszetét a kiadagolásnál alkalmazott térfogatáram határozza meg (cm^3/s). A tartomány a rendelkezésre álló sűrűség adatok segítségével megadható a tervezett receptúrának megfelelően. A keverőfejben található injektorok 0,4 - 3 mm közötti átmérővel rendelkeznek, ami az injektorba épített tűszelep tűjének átmérőjét jelenti (5. ábra) [13][18].

1.5.1.1 Működési elv

Az injektorban található axiális (tengely irányban) irányú mozgásra képes dűzni erőkiegyensúlyozottan, az injektorban található rúgó által kifejtett rúgóerő és a közeg szivattyúk által kialakított torlónyomása között helyezkedik el. A házban található rúgó manuálisan adott nyomásértékre van beállítva (állítóanya segítségével). Ezt az értéket elérve nyit és változó térfogatáram mellett is képes stabilan tartani a közeg nyomását. Kikapcsolt állapotban a rúgó a közegnyomásnak megfelelő erővel zárja az injektort (~ 140 bar) [18].

A rúgókiegyensúlyozott rendszer működésének statikus egyenletei [15]:

$$Q_i(y) = C_n A(y) \sqrt{\frac{2}{\rho} P_i}$$

$Q_i(y)$: a sugár tömegárama (nyomás függő tag)

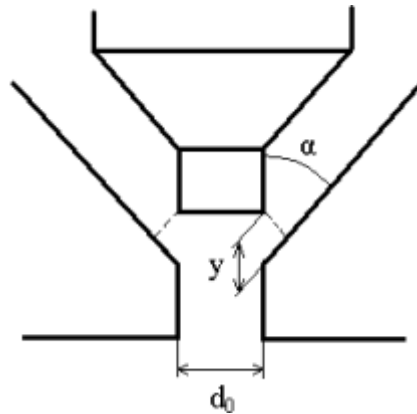
y : a tű elmozdulása

C_n : a sugár alaktényezője ($0,8 < C_n < 1$)

$A(y)$: átfolyási keresztmetszet (kör alakú)

ρ : a komponens specifikus tömege

P_i : az injektorban ébredő nyomás



6. ábra: A tű illeszkedése a fűvóka aljzatba [13].

Amennyiben a tű fordított kúpos aljzatba illeszkedik α félszöggel és a tű vége henger alakú (6. ábra), akkor $A(y)$ az injektor nyitó zónája egy kúpos felület, amelyet a következő egyenlettel fejezhetünk ki [15].

$$A(y) = d_0 \pi \sin(\alpha) y$$

d_0 : a tű átmérője

α : a tű kúpos felülete és a tengely közötti szög

Az egyenlet az alábbiakban módosul [15]:

$$Q_i(y) = C_n d_0 \pi \sin(\alpha) y \sqrt{\frac{2}{\rho} P_i}$$

A rúgóerő nyomással szembeni egyensúlya [15]:

$$P_i A_u = F + Ky + Kz$$

F_0 : rúgóerő

Ky : a rúgóra ható erő

F : a folyamatot kontroláló erő

$$y = \frac{P_i A_u - F - Kz}{K}$$

Lineáris egyenletté való transzformáció után [15]:

$$\Delta y = \frac{\Delta P_i A_u - F - Kz}{K}$$

$$\Delta Q = d_0 \pi \sin(\alpha) \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{P_{i0}} \Delta y + d_0 \pi \sin(\alpha) \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{P_{i0}} \frac{y_0}{2P_{i0}} \Delta P_i$$

$$\Delta Q_i = C_p d_0 \Delta y + C_p d_0 C_{eq} \Delta P_i$$

$$C_p = d_0 \pi \sin(\alpha) \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{P_{i0}}$$

$$C_{eq} = \frac{y_0}{2P_{i0}}$$

ρ : az alapanyag sűrűsége

y_0 : a tű egyensúlyi helyzete

P_{i0} : az injektorban ébredő egyensúlyi nyomás

Aktív nyomás szabályozás



7. ábra: a) Közvetett nyomás szabályozás a rúgón beállított erő segítségével. b) Közvetlen nyomás szabályozás fluidumok segítségével (olaj vagy sűrített levegő) ami nyomást gyakorol a tűre. c) A tű helyzetét közvetlenül vezérlő rendszer [15].

Amennyiben a keverési arány és a térfogatáram lövésről lövésre változik, akkor fontossá válik a nyomás szabályozása és fenntartása az injektor bemeneténél. Mivel [15]:

- Garantálja az alapanyagsugarak megfelelő kinetikus energiáját az ütközéshez.
- Megfelelően beállítható vele az ütközési front.
- Megfelelően kompenzálja az előáramokat.

Alapvető működtető rendszereket az alábbiak szerint csoportosíthatjuk (7. ábra) [15]:

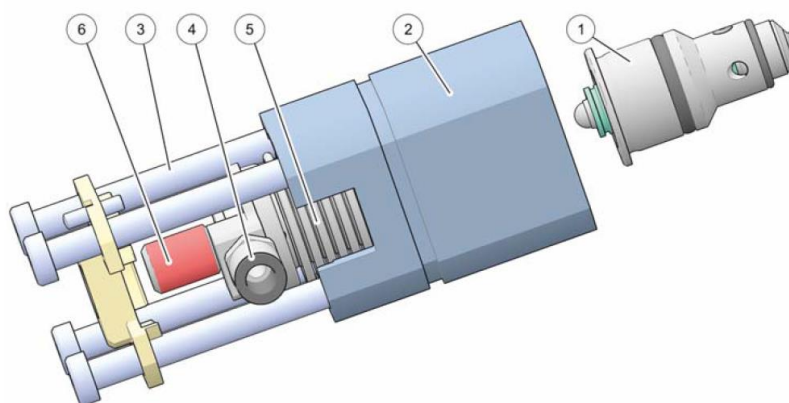
- A tűre ható erőt közvetetten szabályozzák.

- A tűre ható erőt közvetlenül szabályozzák.
- A tű helyzetét szabályozzák.

Az adagolórendszerek gyártói az aktív nyomásszabályozók két fő kategóriáját kínálják [15]:

- Nyitott körben működő
- Zárt körben működő

A nyitott körben működők csupán a szoftver táblázatokból kiválasztott pozíciókat és erőt állítják be a kívánt értékre. A zárt körben működők, mérik a nyomást az injektornál vagy a szivattyúk közelében és ennek megfelelően szabályozzák a tűre ható erőt a nyomás fenntartásának érdekében változó térfogatáramok mellett (8. ábra) [15].



8. ábra: Pneumatikus állandónyomású fúvóka Hennecke - Topline HK - MT 22/6-os keverőfejhez. (1 – összeszerelt injektor, 2 – ház, 3 – rögzítőcsavar, 4- 18 bar-os sűrített levegő csatlakozás, 5 – Nyomórúgó, 6 – Nyomás szabályzó csavar [18].

1.6 MDI ALAPÚ FORMAHABOK GYÁRTÁSÁNAK JELLEMZÉSE

A formahabok előállítása széles körben alkalmazott technológia. Ezen habok habgyártás koncepciója egyszerű: a hab alkotóelemeit összekeverjük és beinjektáljuk egy előre elkészített formába (temperált), amelyet a reakcióelegy polimerizációja során keletkezett habszerkezet tölt ki teljesen. A hab meghatározott tartózkodási idővel rendelkezik ezután az idő után eltávolítható. A formából való eltávolítást követően a habot félretesszük, hogy a kikeményedés befejeződjön. Az ipari gyakorlatban a formahabgyártási technológiát a feldolgozás és a tulajdonságok reprodukálhatósága szempontjából kellő körültekintéssel optimalizálják. A formába injektálási műveleteknél a formákat olyan karuszel vagy ovális gyártósor-szerelvényekre helyezik, amelyek úgy forognak, hogy a hab tartózkodásának időzítése illeszkedjen adott ciklusban a termék gyártásához szükséges időhöz, és az öntőforma töltéséhez.

Ezek mellett gyakori az ún. ingázó formahabgyártó-gép elrendezés, amelyben a keverőfej az egyes fix állású formahordozókban lévő formák felé vihető [3][9].

Az öntés során alkalmazott befecskendezési és kikeményedési sebességet az alkalmazott receptúra határozza meg. A gyártás során alkalmazott folyamat részparaméterei is befolyásolják az alapanyagrendszert. Például abban az esetben, ha a formákat melegítik kevésbé reaktív rendszert lehet alkalmazni, de gyakori a többféle receptúrával történő töltés is a kívánt eredmény elérésének érdekében [3][9].

A legfontosabb tulajdonságok és receptúra összetevők, amelyekkel módosítható a keletkezett termék tulajdonságai [9]:

- Habsűrűség (a receptúrában található vízmennyiség növelésével növelhető, azonban ez növeli a keményszegmensek mennyiségét is)
- Cellanyitás és cellaszerkezet (a felületaktív anyag és a katalizátor aránya, mennyisége és minősége szabja meg, valamint a cellanyitó poliál aránya)
- Izocianát típus és index (habkeménységet befolyásoló tényező)
- Poliál funkcionalitás és ekvivalens tömege (lágyszegmensek arányát befolyásoló tényező)
- Adalék és töltőanyagok (befolyásolják a gyártott termék viszkozitását és a tartózkodási időt)

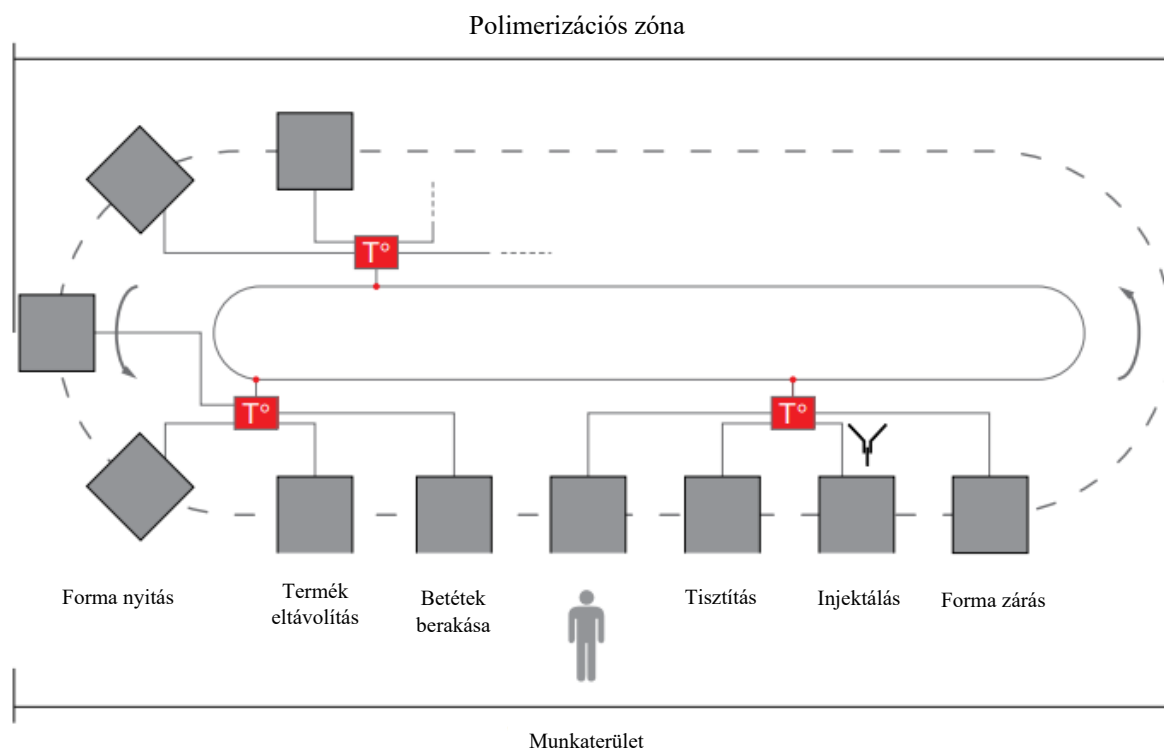
1.6.1 Hidegen térhálósított formahabgyártás

A hidegen térhálósított habok (nagyrugalmas habok) nem igényelnek magas hőmérsékletet a térhálósodás során. Ahhoz, hogy elérjük az optimális bőrfelületet, a formahőmérsékletet állandó értéken kell tartani, ami az alkalmazott PU rendszertől függően 40-70 °C a reakció elegy beinjektálása után. A temperálás folyamata elvégezhető kemencében, forróvíz keringeteses, vagy elektromos fűtéssel [6][10].

A hidegen térhálósított formahab gyártásának lépései (9. ábra) [10]:

1. A reakcióelegy a 40-70 °C-os hőmérsékletű formába történő injektálása.
2. A hab térhálósodása.
3. A forma nyitása és a termék eltávolítása.
4. A forma tisztítása és a formaleválasztó felvitele.
5. Betétek pozícionálása és formatöltés.

A melegen térhálósított habokhoz képest ezek a habok tartalmaznak bizonyos mennyiségű zárt cellát, amelyet a gyártás követően meg kell nyitni, a beszívódás elkerülése és a kívánt mechanikai tulajdonságok kialakulása érdekében [10]. A cellák megnyitása kivitelezhető mechanikus módon (hengerek között, összenyomással vagy sűrítettlevegő segítségével), illetve abban az esetben, ha tartalmaz a termék kemény magokat (pl. fém betéteket), akkor vákuum segítségével [6][10].



9. ábra: A hidegen térhálósított formahabok gyártásának folyamata [10].

A melegen térhálósodó formahabgyártásához képest a formákban a folyamat során 1,3- 2,5 bar nyomás keletkezik. A stabilitás érdekében a formának ellenállónak kell lennie a nyomással szemben és a formaüregnek zárva kell maradnia (mechanikusan vagy pneumatikusan). Ez természetesen meglátszik a formák költségein is. Ennek ellenére a rövidebb ciklusidő miatt kevesebb formára van szükség ugyan azon termelékenység mellett [6][10].

1.6.2 Kettős keménységgel rendelkező habok

Ahhoz, hogy a habok komfort teljesítményét növeljék, kettős vagy multi- keménységgel rendelkező habokat fejlesztettek ki mindkét habosítási technológiában (10. ábra) [10].

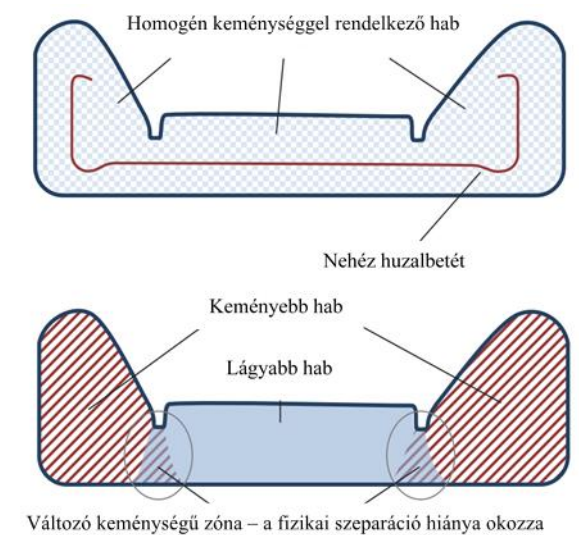
Az ülés terhelése felületenként változik. Az ergonómiai szempontokat figyelembe véve a keménység ülésrészenként terhelésre szabható azokon a területeken, ahol több vagy kevesebb

alátámasztásra van szükség. Ehhez meg kell állapítani a területenkénti ideális testnyomást (ergonómia, vérnyomás...stb. szempontjából). Ezen felül az oldaltámasz, vagy az ülés oldalsó



10. ábra: Kettős keménységgel rendelkező első ülés ülőlap CAD terve [10].

részei fogják a vezetőt támasztani, ha a gépjármű fordul, így ezek a részek nagyobb terhelésnek lesznek kitéve [10][11]. Ezt megelőzően különböző fémbetétek (pl. fém huzalok) segítségével növelték az egyes ülésrészek alátámasztó képességét. Ez a folyamat számos rejtett költséget (huzal ára, kezelése, tárolása) magában hordozott, illetve plusz egy technológiai lépésként növelte a ciklus-időt a habgyártás során. Ezt ellensúlyozva rájöttek, hogy ezek a betétek keményebb PU elemekkel helyettesíthetők, így növelve a keménységet, ezzel az ülés alátámasztó képességét [10].



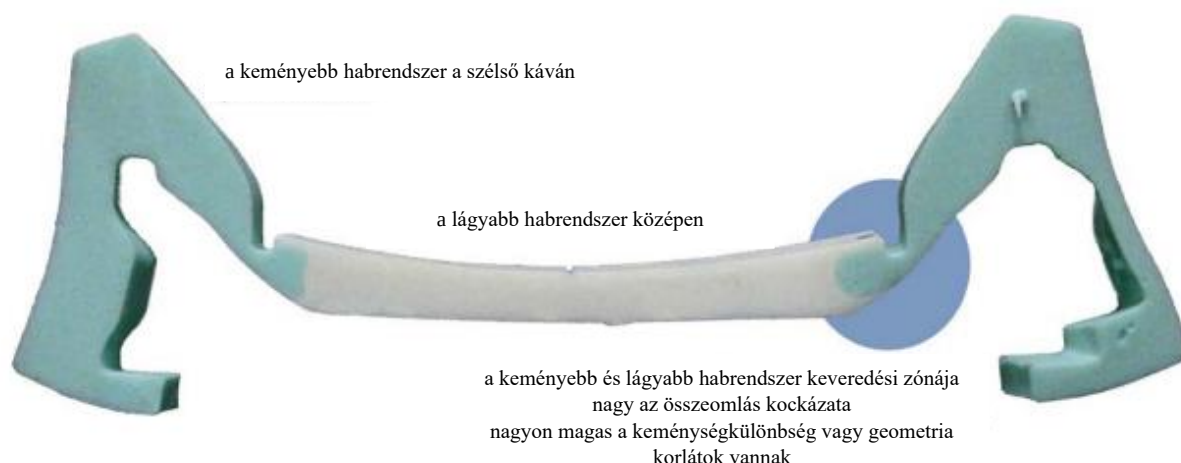
11. ábra: A kettős keménységgel rendelkező hab metszeti szerkezetének összehasonlítása egy homogén huzal erősített habszerkezettel [10].

A kettős keménységgel rendelkező habtermékeket úgy állítják elő, hogy a belső puhább habrészt egy külső keményebb hab határolja (11. ábra). A kétféle PU rendszert egy cikluson belül injektálják a formába a gyártás során. A kettős keménységgel rendelkező habok gyártása világszerte elterjedt. Ezek a termékek a tervezési, költség, és feldolgozási követelmények szigorodásával egyre nagyobb teret hódítanak a piacon. Ez az effektus segíti elő a technológia

fejlődését, mivel a habosító berendezéseket úgy kell majd a jövőben megtervezni és gépesíteni, hogy alkalmasak legyenek ne csak kettős, hanem multi-keménységgel rendelkező termékek előállítására [10].

Kémiai oldalról megközelítve egyszerűen tudunk előállítani keményebb, illetve lágyabb habot akár egy PU rendszerrel történő gyártás során is (NCO-index változtatása). A kétféle keménységgel rendelkező habok esetén a különféle anyagrendszerek összefolyását a szerszám kialakítása, a különböző sűrűség és a betétek/ elválasztó panelek korlátozzák [10].

Nem megfelelő tervezés esetén a reakcióelegyek összefolynak, így pl. a kemény habrendszer behatolhat a lágyhabrendszerbe (12. ábra). Az ilyen átfedő keménység területeit az alkatrészrajzon meg kell adni, valamint méretük és elhelyezkedésük formánként eltérhet. A kemény és a lágy részek közötti tökéletes szeparáció csak a különálló részek kombinálásával (részenként gyártás) oldható meg [10].



12. ábra: Kettős keménységű habtermék gyártási problémáit szemléltető metszeti kép [10].

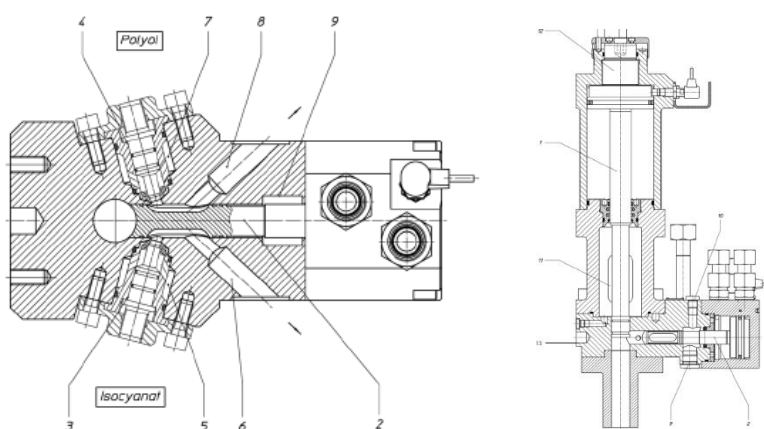
Mivel a kettő, vagy többféle reakcióelegyet több különböző öntési minta segítségével adagolják a formába, az alapanyagrendszereket úgy kell megválasztani, hogy elkerüljük az összeomlást a kemény és a lágy területek között a habrendszerek érintkezésekor [10].

2. KUTATÁSI TÉMA KIDOLGOZÁSA

2.1 ALKALMAZOTT BERENDEZÉSEK ÉS SZOFTVEREK

2.1.1 Reakciós öntőgép

A reakciós öntőgépként nevezzük azon berendezéseket, ahol az alapanyagok bemérését és keverését egy erre kialakított technológiai rendszer végzi, így csökkentve az emberi hibát és növelve a termelékenységet. Megkülönböztetünk kinyomású berendezéseket, ahol a keverés mechanikusan történik, illetve nagynyomású ún. nyomásos összelövással dolgozó berendezéseket (statikus keverés) [6][12].



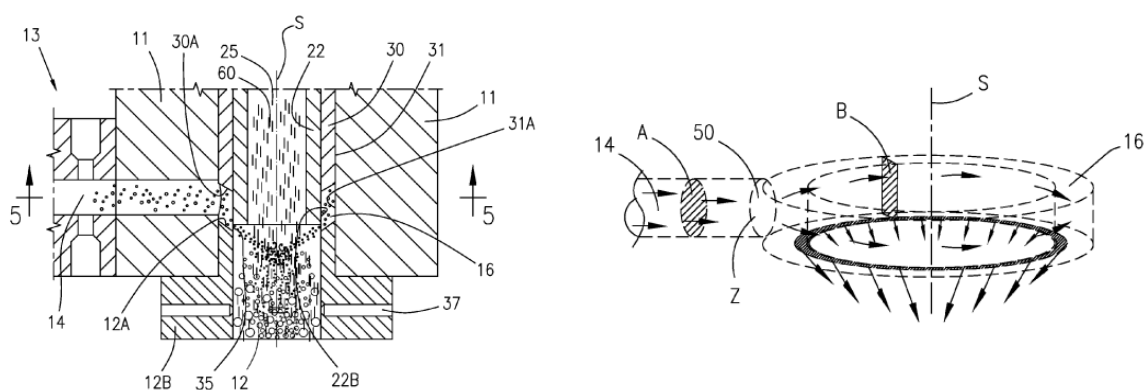
13. ábra: A keverőfej metszeti rajzai. Bal oldalt vízszintes metszet, jobb oldalt függőleges metszet [13].

A folyamat során az alapanyagokat minimum 2 napitartályból szivattyú rendszer szállítja a keverőfejig. A nagynyomású technológia esetén (Topline HK), a keverőfejben található állandó nyomású injektorok (18 bar) segítségével történik az alapanyagok keverése az egymással szemben történő injektálás hatására nagy nyomáson (140-250 bar, zárt szabályozási körben). A kialakult kinetikus energia és áramlási turbulencia hatására nagy hatásfokú keveredés érhető el (13. ábra). A megfelelő alapanyagnyomás biztosításához a rendszerben a napitartályokhoz nyomó és recirkulációs ágak is tartoznak, 1-1 alapanyagkörhöz mind a kettő alapanyagtípus esetén. A recirkulációs ágakban egy kört alkotva a tartálytól a szivattyúkon keresztül a fejig kering az alapanyag, majd a fejen keresztül vissza a tartályba [6][12].

A megfelelő keverési arányok meghatározása után a berendezést adott alapanyagrendszerre kell kalibrálni. A kalibrációt segítik elő a volumetrikus és gravimetrikus átfolyásmérők, amelyek az alapanyagok tulajdonságai alapján (sűrűség) számítják az átáramlott alapanyag mennyiségét a

rendszer nyomóági szakaszán. A szivattyújelleggörbe felvétele után adott injektort nyitva a volumetrikus átfolyásmérők adott hőmérsékletre kalibrálhatók egy alapanyagág esetén [12].

A folyamat során a vezérlő dugattyú (2) hátra mozdul, ennek hatására a komponensek a keverőkamrába távoznak nagy sebességgel egymással szemben. A megfelelő mennyiségű alapanyag kiáramlása után a vezérlő dugattyú elindul a zárt állásba. A komponensek recirkulációját a vezérlődugattyúba épített hornyok teszik lehetővé, melyek továbbítják az anyagáramot a visszatérő ági vezetékbe. Ezt követően a reakcióelegy egy függőleges dugattyú segítségével távozik, amely a turbulens reakció elegy áramlását laminarizálja. A reakció elegy így max. 2,5 m/s áramlási sebességgel távozik a fejből, amely a közeg viszkozitásától függően csökken (14. ábra) [12][13].



14. ábra: Az ellenáramú keveréssel létrehozott reakcióelegy útja a fejben. (A reakcióelegy áramlása keverőfej keresztmetszeti képén (bal oldal), a reakcióelegy áramlása a keverőkamrákban (jobbra) [14].

A reakciós öntőgépeket automatizált rendszerekbe implementálva sorozatgyártásra alkalmas gyártócellák alakíthatók ki. Ezen cellákban a korszerű robotizált rendszerek alkalmazásával, az adott lágyhab recepteket használva a formakitöltés határfoka és a termék minősége kizárólag a berendezés kalibrációjától, a beállított paraméterektől (forma hőmérséklet, alapanyag hőmérséklet, keverési arány), illetve a bejárési és mozgási programoktól fog függeni [19][20][21].

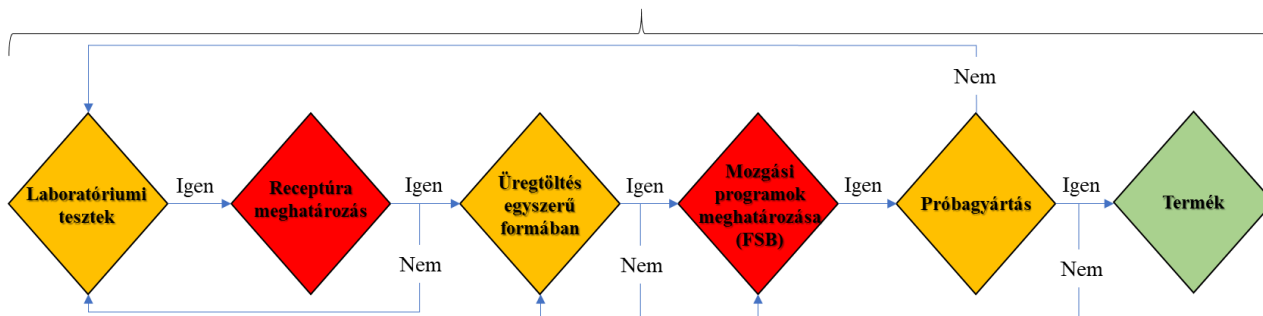
2.1.2 ABB Robot Studio 2019

Az ABB technológiájával felszerelt ipari cellák szimulálásához, illetve a bejárési programok szerkesztéséhez fejlesztett szoftver [20]. Az alapfunkciók tartalmazzák az ABB IRC5 vagy az OmniCore ipari robot üzembe helyezéséhez szükséges egyszerű szolgáltatásokat és az egyszerű szöveges programozást. Ugyanez a funkció elérhető a PC-n futó virtuális vezérlők számára is. Az alapprogram magában foglalja a meglévő állomások és a Pack & Go fájlok megnyitását,

a szimuláció futtatásának és az eredmény grafikus 3D nézetben történő megtekintésének lehetőségét is. Ezen felül lehetőséget nyújt az ABB ipari robotkészletének importálására, azok virtuális vezérlőn futtatására és körbejárására. A Go Offline funkció lehetővé teszi a csatlakoztatott valós vezérlő rendszer virtuális másolatának elkészítését [19][20][21][22].

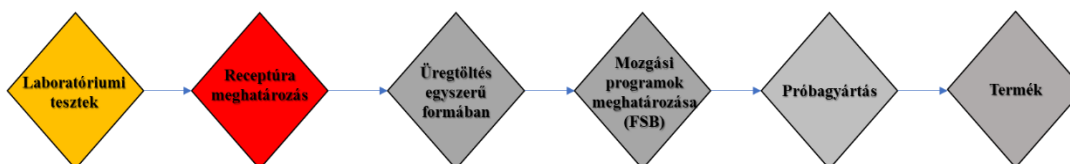
2.2 GYÁRTÁSTERVEZÉS ÉS PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA

GYÁRTÁSOPTIMALIZÁLÁS



2.2.1 Poliuretán lágyhab rendszer

A Wanhua BorsodChem Zrt. által biztosított poliuretán lágyhab rendszer Ongronat FFP-303 („A”) (2. táblázat), illetve Ongronat TR4040 („B”) [23] alapanyagokon alapul. Az izocianát komponens 4,4'-metilén-difenil-diizocianát és o-(p-izocianátobenzil)fenil-izocianát reakcióelegyből, illetve polimer MDI-ből áll. A reaktív csoport tartalom ebben az esetben 32,4% (ekvivalens tömeg: 129,6296 g). A poliol rendszer OH-száma: 247,1 mgKOH/g (ekvivalens tömeg: 227,034 g). Ebből következően számítással meg lehet határozni 100 g poliol („A”) egységhez szükséges izocianát („B”) tömegét: 57,097 g. Az anyagvizsgálati formát 1,05-ös NCO-indexel rendelkező receptúrával teszteltem. A gyártásban használt végleges receptúra A/B= 100 g /59,95 g



Számítások:

1 mol poliolt és izocianátot tartalmazó alapanyag tömege:

$$m_{poliol} = \frac{56,1 \cdot 1000}{247,1} = 227,03 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{izocianát}} = \frac{42 \cdot 100}{32,4} = 129,63 \text{ g/mol}$$

100 tömegegység poliollhoz szükséges izocianát tömege (NCO-index= 1,0):

$$m_{\text{izocianát}} = \frac{129,63 \cdot 100}{227,03} = 57,098 \text{ g}$$

2. táblázat: A Ongropur FFP-303 polioll rendszerben található komponensek.

Komponens	Funkció
Alcupol F2831	6000 W tömegű triol (poléterpoliol)
Víz	kémiai habosítószer
Tegostab B4113	felületaktív anyag (polisziloxán)
Jeffcat TD-33A	gélesedési katalizátor (gelling)
Jeffcat ZF-22	habosodási katalizátor (blowing)
Alcupol F3231	cellanyitó polioll
DEOA (dietanol-amin)	katalitikus hatással rendelkező keresztkötő

A FOAMAT® 285 mérőberendezéssel végzett reaktivitástesztek alapján a habrendszer pontos paraméterei meghatározhatók [27][28]. Ezek a paraméterek a cella optimalizáció során nélkülözhetetlenek az útvonal sebességek és az adott térfogatba adott áramlási sebességgel injektálható anyagmennyiség meghatározásához (3. táblázat).

3. táblázat: A mérés során meghatározott adatsor releváns paraméterei az optimalizáció szempontjából.

Habrendszer paraméterei (FOAMAT® 285)		
Keverési idő [s]	5,00	5,00
Teszt idő [s]	240,00	240,00
Kezdeti magasság [mm]	10,90	10,80
Start-idő [s]	6,60	7,00
Emelkedési habmagasság [mm]	193,10	193,80
Emelkedési idő [s]	119,40	118,90
Max. sebesség [mm/s]	2,89	2,86
Max. magasság [mm] (t=133,1 s)	196,80	196,50
Végleges magasság [mm]	184,20	186,30
Visszaesés [R%]	4,80	3,80
Zsugorodás [R%]	6,80	5,50

Adott rendszerrel a ragadás mentesség ideje ~200 másodperc, valamint a formaállósági idő ~300 másodperc. Érés idő 1-7 nap a habrendszer izocianát tartalmának függvényében.

2.3 SZIMULÁCIÓS OPTIMALIZÁCIÓ

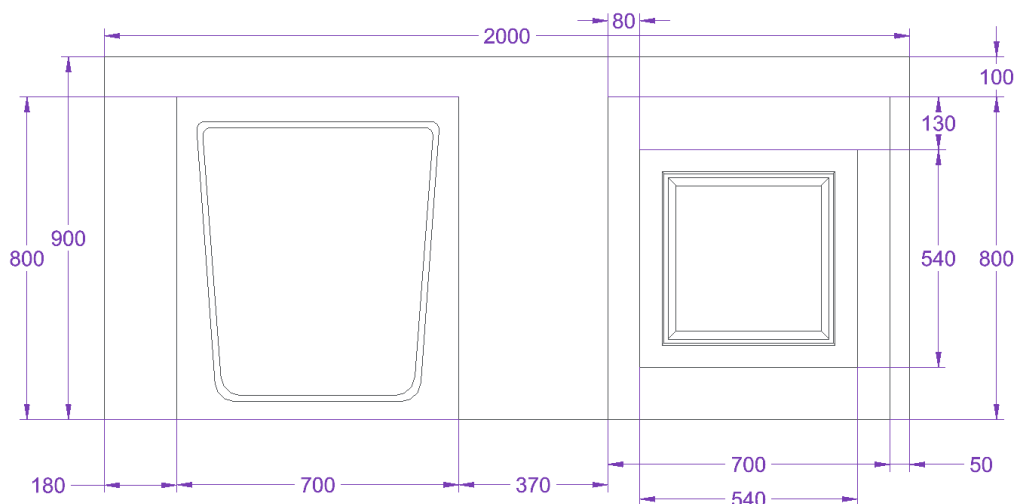
2.3.1 Gyártócella felépítése és konfigurálása (ABB Robot Studio 2019)

A virtuális cella építését a megfelelő ABB robot importálásával kezdtem el a program könyvtár segítségével. Jelenleg a cellában lévő robot az ABB IRB 6700-as (6 tengely – 2,65 m, 235 kg). A robot IRC5 kontrollerehez kapcsolódva a program segítségével beolvastam a cella paramétereit a virtuális controller konfigurálásához (RobotWare 5 – IRC5 controller power patch) (4. táblázat).

4. táblázat: Az ABB IRB 6700 robot controller tulajdonságai.

IRC 5 kontrol modul	Funkciók
RobotWare Base	Vezérlő szoftver
709-1 DeviceNET Master/Slave	Ipari hálózat
840-3 PROFINET Anybus Device	Anybus adapter
608-1 World Zones	Mozgási koordinátarendszer
611-1 Path recovery	Mozgásfüggvény
613-1 Collision Detection	Mozgásellenőrzés
623-1 Multitasking	Mérnöki eszköz (Engineering tools)

A konfigurálást követően beolvastam a formahordozók (100, 200) és a kerítés CAD fájljait konvertáltam a Simens Solid Edge 2020 szoftver segítségével (.sat,.stl), majd pozicionáltam a layout-nak megfelelően [29]. Továbbá a jelenleg cellában alkalmazott formákat is beolvastam (.stl), illetve pozicionáltam a méretek levétele után a cellában (15. ábra).



15. ábra: A 200-as formahordozó FSB és anyagvizsgálati formájának pozicionálása (mm).

Az IRC5 robot controllerhez kapcsolódva a posztprocesszor (teljes vezérlőprogram) biztonsági mentését elvégezve, kaptam egy „backup” fájlt, amit feltöltöttem a virtuális cella kontrol moduljába. Ezt követően elvégezhető a robot posztprocesszorában lévő alap bejárás

programok (222, 50, 113 – forma programok) lefuttatása majd ezzel a pozicionálás és a virtuális kontroller validálása.

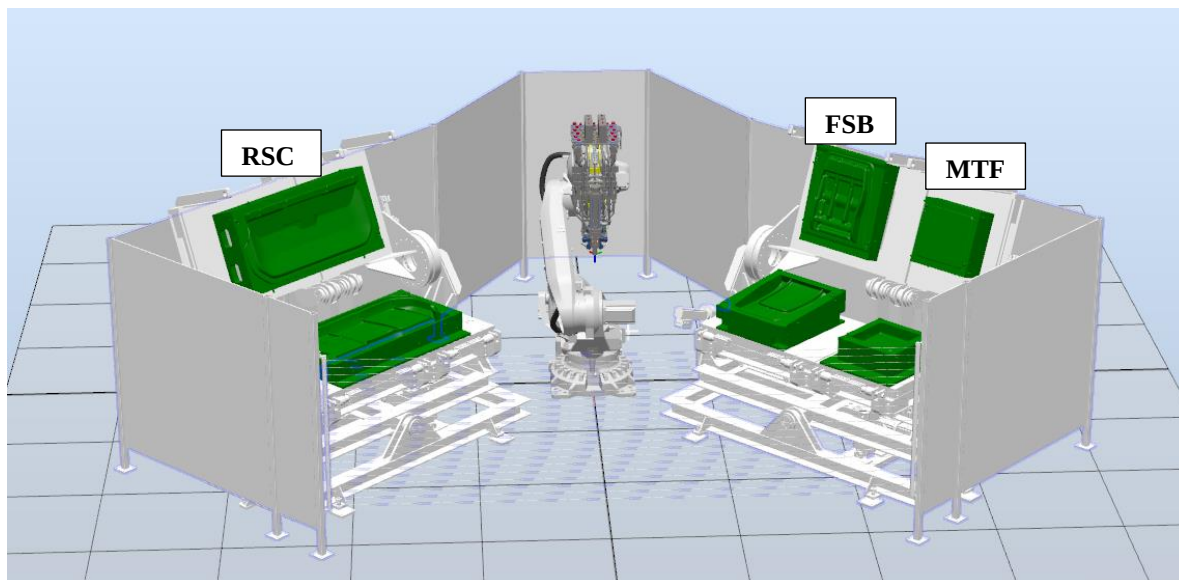
2.3.2 Keverőfej konfigurálása (Create Tool)

A keverőfej CAD fájlját (.stp) importálva meg kell határozni a csatlakozási- (CP – Connection Point), illetve a szerszám középpontot (TCP – Tool Centre Point) „Frame” fülön. Ezeket a cellának megfelelően kell pozicionálni. A Toplevel HK-ban lévő robot 45°-os szöget zár be a formahordozókkal. Így az előbb említett vektorokat is a cellának megfelelően kell felvenni. Ezt követően a „Creat Tool” paranccsal a fej meghatározó paraméterei megadhatók (tömeg, tömeg középpont, CP, TCP) (5. táblázat).

5. táblázat: A keverőfej paraméterei.

MT 22-6 keverőfej adatai	
Tömeg	194,9 kg
Tömeg középpont	x= -321,89, y= -222,55, z= -159,31
TCP	x= -363,66, y= -262,57, z= 380,71
CP	x= 232,64, y= -61,23, z= 0,0

A szerszám könyvtárhoz való hozzáadás után lehetőség van a konfigurált szerszámfájl importálására a cellába, majd az ABB IRB 6700-as robothoz való csatlakoztatásra (16. ábra).



16. ábra: Végleges topline cella a jelenleg használt formákkal (RSC – hátsó ülés ülőlap; FSB – első ülés háttámla; MTF – anyagvizsgálati forma)

2.1.2. Bejárési útvonalprogram ismertetése

A bejárési útvonalak alapvetően felvett pontok összekapcsolásával jönnek létre. A berendezés program nyelve RAPID. Egy programsor 5 részből áll: utasítás (MoveL, MoveJ, MoveC); pont

deklaráció (p10), sebesség (v500 = 500 mm/s); zóna (z50 = 50 mm-es zónán belül közelítse meg a pontot); szerszám és munka állomás deklaráció (tMixhead\WObj:=wobjCarrier2). A pont deklarációk az x,y,z koordináták meghatározásából, orientációk (kvaterniók: q1-q4), konfigurációk (6 szabadsági fok)[20]. Mivel a programok szekvenciálisan hajtódnak végre, így a programsor a következő képpen néz ki:

222-es robotprogram: 200-as formahordozó FSB forma: (alapprogramsor)

```
MoveL p10, v500, z50, tMixhead\WObj:=wobjCarrier2;  
MoveL p20, v350, z50, tMixhead\WObj:=wobjCarrier2;  
MoveL p30, v400, z50, tMixhead\WObj:=wobjCarrier2;  
MoveL p40, v400, z50, tMixhead\WObj:=wobjCarrier2;  
MoveL p210, v350, z50, tMixhead\WObj:=wobjCarrier2;  
MoveL p220, v350, z50, tMixhead\WObj:=wobjCarrier2;
```

Az egyes modulokban található rutinok kiegészülnek egyéb programsorokkal, amelyek a kiindulási pozíció felvételére (munkaállomásnak megfelelően), a szivattyúk nyomásfokozásának idejére (PLC programozáson alapul), az injektálás kezdetére és végére, valamint fejtisztításra és az alappozícióba történő visszaállásra vonatkoznak. Ezek az optimalizáció során konstans paraméterei a programoknak egy adott formát tekintve.

Az ipari elvárásoknak megfelelően, a fejlesztett belövési minták pontjainak használatával kialakíthatók több receptúrával injektáló gyártási programok is. Ebben az esetben az injektálási program 2 részre bontható, amelyhez fontos megadni a reakciós öntőgép HMI felületén a két receptúra paramétereit. A programba beiktatott fejtisztító mechanizmus lehetővé teszi a két PUR rendszer megfelelő elválasztását az injektálás során (nincs keveredés, arányeltolódás...stb.) A gyártás eredményeként kialakítható így egy olyan termék melyben a mechanikai tulajdonságok az egyes térfogatelemekben eltérőek lesznek. A különféle habrendszerek összefolyása a szerszám kialakításának köszönhetően minimális.

222-es robotprogram: 200-as formahordozó FSB forma: (Két receptúrás programsora)

```
! Start Dosing shot 1  
MeteringStart,
```

```
MoveL p10, v500, z50, tMixhead\WObj:=wobjCarrier2;  
MoveL p20, v350, z50, tMixhead\WObj:=wobjCarrier2;  
MoveL p30, v400, z50, tMixhead\WObj:=wobjCarrier2;  
MoveL p40, v400, z50, tMixhead\WObj:=wobjCarrier2
```

```
! Waiting for active signal from the Machine  
WaitDI dipCleanActive, 1;
```

! Start Dosing shot 2
MeteringStart;

MoveL p210, v350, z50, tMixhead\WObj:=wobjCarrier2;
MoveL p220, v350, z50, tMixhead\WObj:=wobjCarrier2;

! Waiting for active signal from the Machine
WaitDI dipCleanActive, 1;

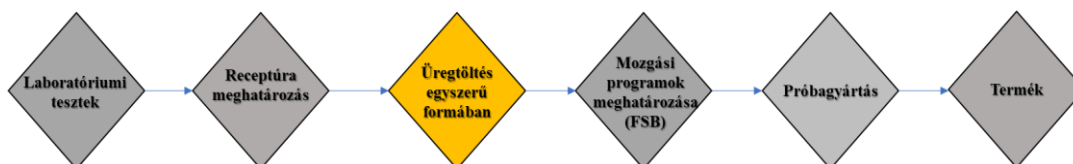
2.4 TÖLTÉSI OPTIMALIZÁLÁS ÉS BEJÁRÁSI ÚTVONALAK TERVEZÉSE

2.4.1 Töltési optimalizálás

A szivattyú jelleggörbe tartományának közepét használva (optimális injektálás) 180,2 g/s áramlási sebességet adtam meg a 3-as napitartályban lévő poliol komponensre (Ongropur FFP-303), illetve 108 g/s-ot a 6-os napitartályban lévő izocianát komponensre (Ongronat TR4040). Az injektálás során figyelembe kell venni a berendezéssel másodperceként injektálható tömegáramot. A keverőfej injektorainak paramétereivel, illetve a keverőfej lamináris kiadagolási paramétereivel számolva a sűrűség adatok felhasználásával megállapítható az adott anyagra vonatkoztatott injektálható tömegáram tartománya. Ebben az esetben a fej lamináris kiadagolási teljesítménye 200-750 cm³/s, a 1,7 TDI injektor kiadagolási tartománya 60-248 cm³/s, 2,0 injektor kiadagolási tartománya 80-343 cm³/s (6. táblázat).

6. táblázat: Számított kiadagolási tartomány [30].

Topline HK	Ongropur FFP-303 ($\rho = \sim 1,02 \text{ g/cm}^3$)	Ongronat TR4040 ($\rho = 1,22 \text{ g/cm}^3$)
keverőfej kiadagolási tartománya [g/s]	~204-765	244-915
1,7 TDI injektor kiadagolási tartománya [g/s]	~61,2-253	73,2-302,56
2,0 injektor kiadagolási tartománya [g/s]	~81,6-350	97,6-418,46

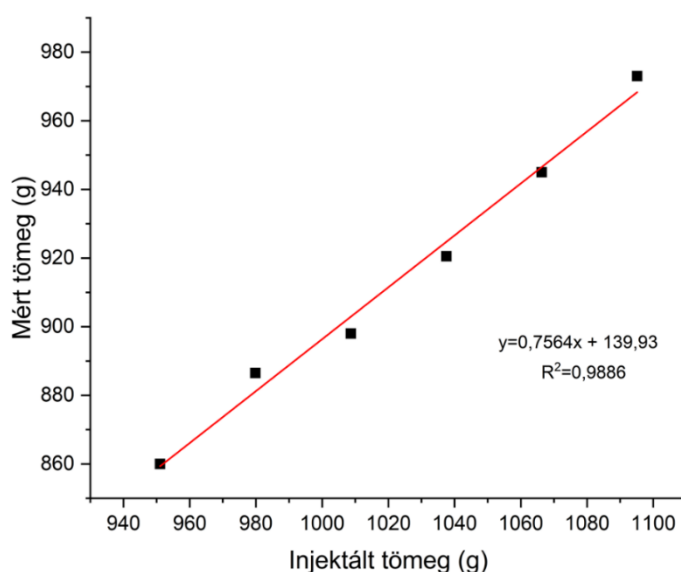


A tartomány kiszámítását követően az 50-es programot használva (egy pont deklarációt tartalmaz) az anyagvizsgálati mintába történő töltéssel meghatároztam az egyszerű geometriával rendelkező forma optimális töltési mennyiségét. A forma paramétereit: V= 16 l, méretek: 400x400x100 mm. A kezdeti töltésmennyiséget a poharas tesztek eredményei alapján

becsültem meg (40 g reakció elegy 0,5 l PP-poharat tölt ki), majd optimalizáltam. A formahordozó paraméteres programjában kigázosítási ciklus nélkül, 300 s habosodási időt állítottam be. A forma töltés során a habosodási pozíció 0°-os volt. A kísérlet sorozat során 6 hab készült el az előbbieken ismertetett receptúrával. Ezzel ellenőriztem a receptúra alkalmasságát a formahabgyártásra.

A habok a sztöchiometrikus mennyiségtől eltérő, 1,05-os NCO-indexel rendelkeztek a stabilabb anyagszerkezet biztosítása érdekében. A habok tömegcsökkenését ezután regisztráltam, illetve a gyártási paramétereket is (Poliol: 180,2 g/s, Izocianát: 108 g/s; $t = 3,3\text{--}3,8$ s, $T_{\text{alapanyag}} = \sim 26$ °C; $T_{\text{forma}} = \sim 50$ °C; kisnyomású cirkulációs üzemmód). A gyártási sor alapján az optimális üregtöltési tömeg ennél a receptúránál $m = 979,8$ g (3,4 s). Ezzel az anyagmennyiséggel gyártott termékek tökéletesen kitöltik a formaüreget. 979,8 g-ig csökkentve az injektált reakcióelegy tömegét a termékek sarkain találkoztam minimális anyaghiánnyal, amely még belefér a hibahatárba ($<1\%$).

Meghatároztam a tömegváltozás függvényét. Segítségével az adott receptúrára vonatkozó optimális üregtöltési mennyiség megadásával az ideális elméleti habsűrűség válik tervezhetővé. Az injektálást követő tömegcsökkenés a habosodás során keletkező gáz (CO_2) nyílt cellás szerkezetből történő eltávozásából és a szellőzőnyílásokon túlfolyt anyagmennyiségből következik. Ez a folyamat, illetve a formahordozó programja (dőlés, kigázosítás) befolyásolja a tervezett sűrűség értékét. Ebben a tekintetben csak irányadó töltési minimum meghatározásként kell tekinteni a vizsgálatra (17. ábra).



17. ábra: A minta tömegváltozása a reakcióelegy függvényében.

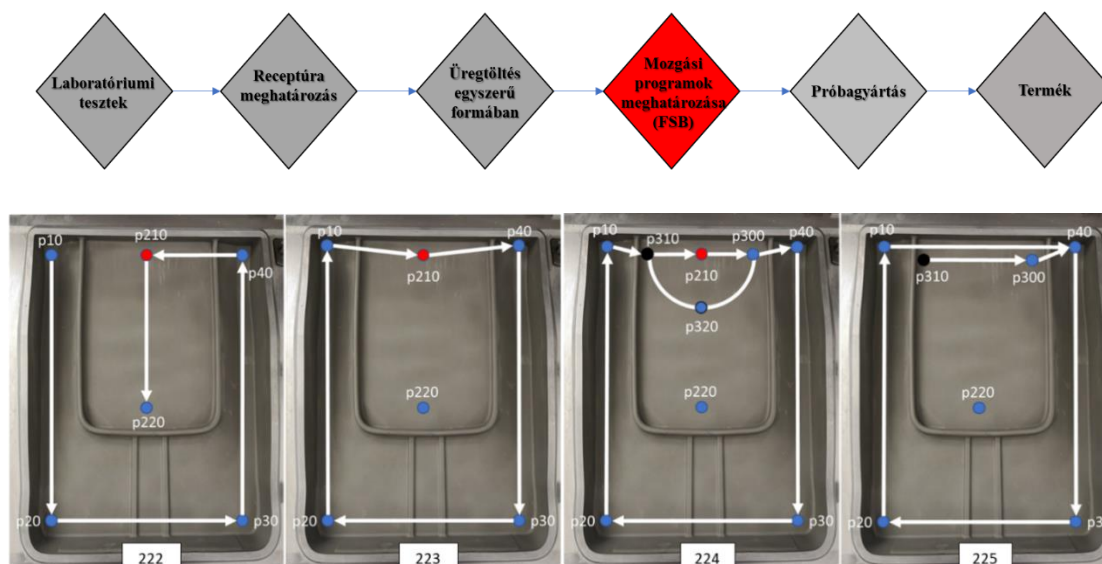
A receptfüggő üregtöltési adatokat felhasználva, a többi formára vonatkozó töltési értékeket meg lehet becsülni, azonban ezen értékek hibával terheltek, mivel a formák bejárási útvonalai és geometriái is bonyolultabbak, ezért ezen értékeket a gyártási eredmények függvényében módosítani kell az optimalizáció során.

A forma „B” oldalán található szellőzőnyílások kialakítása, valamint száma is hatással van a keletkezett termék tulajdonságaira, ezek mérete függ a számuktól és a vonatkozó belsőtér-fogatától [24]. Az NCO-index változtatása is tovább súlyozza ezt a paramétert (7. táblázat).

7. táblázat: Az egyes formákba injektálandó anyagmennyiségek az egyszerű geometria adataira vonatkoztatva (17. ábra alapján).

Termék tömeg [g]	Reakció elegy [g]	Forma térfogat [dm ³]	Forma megnevezés
881,11	979,88	16,00	<i>Anyagvizsgálati forma (MTF)</i>
2070,52	2535,44	41,40	<i>Hátsóülés ülőlap (RSC)</i>
2423,23	3000,03	48,99	<i>Hátsóülés háttámla (RSB)</i>
731,26	771,41	12,60	<i>Elsőülés ülőlap (FSC)</i>
641,76	653,52	10,67	<i>Elsőülés háttámla (FSB)</i>
2849,92	3562,05	58,16	<i>Lágyhab utastériaelem</i>

2.4.2 Bejárási útvonalak tervezése és optimalizálása



18. ábra: Az FSB formához tartozó új bejárási útvonal programok.

A bejárási útvonal adott formára történő optimalizálását a habrendszer paramétereinek megfelelően állítottam be (áramlási sebességek és injektálási idők), majd ezt követően a próbagyártások eredményét értékelve módosítottam a robot programon új injektálási rutinok létrehozásával az adott formához. Ezek a programok (223, 224, 225) tartalmazznak új deklarált

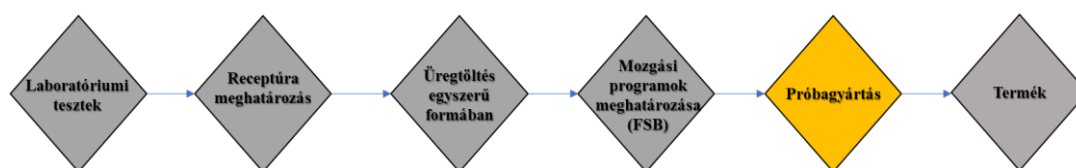
pontokat, amit a szimulációban való lefuttatás után vettem fel a cellában, illetve az eredetitől eltérő parancsokat is (pl.: MoveC) (18. ábra).

A gyártás optimalizálása során az injektálási útvonal pontjaiból vektorokat képeztem, majd meghatároztam a vektorok hosszát. Ezt követően a sebességi adatok felhasználásával meg tudtam határozni a bejárési útvonal idejét az injektálás alatt (8. táblázat).

8. táblázat: FSB formához tartozó robot program csomagok.

222			223		
s [mm]	v [mm/s]	t [s]	s [mm]	v [mm/s]	t [s]
496,51	600,00	0,83	197,63	600,00	0,33
290,49	600,00	0,48	512,64	600,00	0,85
512,64	600,00	0,85	290,49	600,00	0,48
197,63	600,00	0,33	496,51	600,00	0,83
280,48	600,00	0,47	333,27	600,00	0,56
Σt [s]	2,96		Σt [s]	3,05	
224			225		
s [mm]	v [mm/s]	t [s]	s [mm]	v [mm/s]	t [s]
197,63	600,00	0,33	496,51	600,00	0,83
512,64	600,00	0,85	290,49	600,00	0,48
290,49	600,00	0,48	512,64	600,00	0,85
496,51	600,00	0,83	83,30	600,00	0,14
416,35	600,00	0,70	243,62	600,00	0,41
720,12	600,00	1,20	-	-	-
Σt [s]	4,39		Σt [s]	2,71	

A próbagyártáskor a fő szempont a formák teljes kitöltése volt, ezért meghatároztam egy olyan töltési időt (4 s), amely adott anyagáramokkal (FFP-303: 340 g/s, TR4040: 203,8 g/s) a formát tökéletesen kitölti. Ezen paraméterek alkalmazásával próbagyártásokat hajtottam végre. A formában történő habosodás az injektált tömeg, receptúra, illetve a formahordozó és a bejárési útvonal programok függvényében módosítható. A formák hőmérsékletét 50 °C-ra állítottam be. A fejben a keverés 140 bar-on zajlott a POLY3 és ISO3 injektorok megnyitásával. A formahordozó paraméteres programja az üregzárás után +10°-os döntést, illetve két kigázosítási ciklust tartalmazott az 5. és 11. másodpercnél. A kigázosítási ciklusok beiktatásával a megfelelő időpillanatban a jelentős levegő zárványok eltávolíthatók a minta felszínéről.



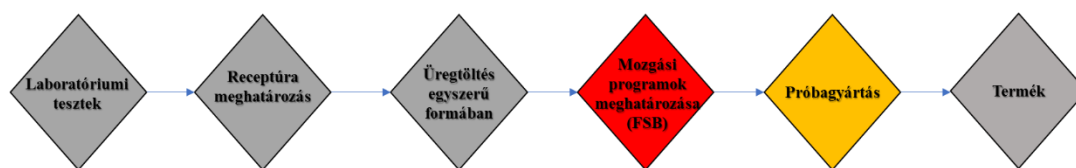
A próbagyártásokat az előbbieken részletezett rutinokkal hajtottam végre (222, 223, 225, 224). A gyártás során a legjobb eredményt adó program a 225-ös volt (9. táblázat).

9. táblázat: *Próbagyártások során az egyes bejárési útvonalakkal gyártott minták.*

Program	NCO index	FFP-303 [g/s]	TR4040 [g/s]	Idő [s]	Tömeg [g]	Minta név
FSB-222	1,05	340,00	203,80	3,80	2066,400	20.10.07/002
	1,05	340,00	203,80	4,00	2175,20	20.10.07/003
FSB -223	1,05	340,00	203,80	3,80	2066,40	20.10.07/004
	1,05	340,00	203,80	4,00	2175,20	10.10.07/005
FSB -224	1,05	340,00	203,80	3,80	2066,40	20.10.08/001
	1,05	340,00	203,80	4,00	2175,20	20.10.08/002
FSB-225	1,05	340,00	203,80	3,80	2066,40	20.10.08/003
	1,05	340,00	203,80	4,00	2175,20	20.10.08/004

Ebben az esetben a minta alsó vonalán tapasztalt anyagihiány és levegőzárvány hibák a legminimálisabbak. Mivel ez a program rendelkezik a legrövidebb bejárési idővel (2,71 s) a formahordozó programjának több ideje van lefutni, amely jobb termékszerkezetet eredményez.

2.4.2.1 Gyártás elemzés és javítási intézkedések beiktatása



A 225-ös programmal történő gyártás során a kigázosítási ciklusok paramétereit módosítottam a töltési tömeg függvényében. A gyártás eredményeiből levonható a következtetés, hogy a kigázosítási ciklus időpontja függ a belőtt anyagmennyiségtől. A formatöltés minősége és a keletkezett termék szerkezete az említett paraméterek függvényében csökkenő tömeg felé haladva javul (10. táblázat). A termék felületén a túltöltésből származó hibák és beszorult levegőzárványok egyre jobban mérséklődnek.

10. táblázat: FSB_225 programmal történő próbagyártások paraméterei (* 2 másodperces időtartamú kigázosítás).

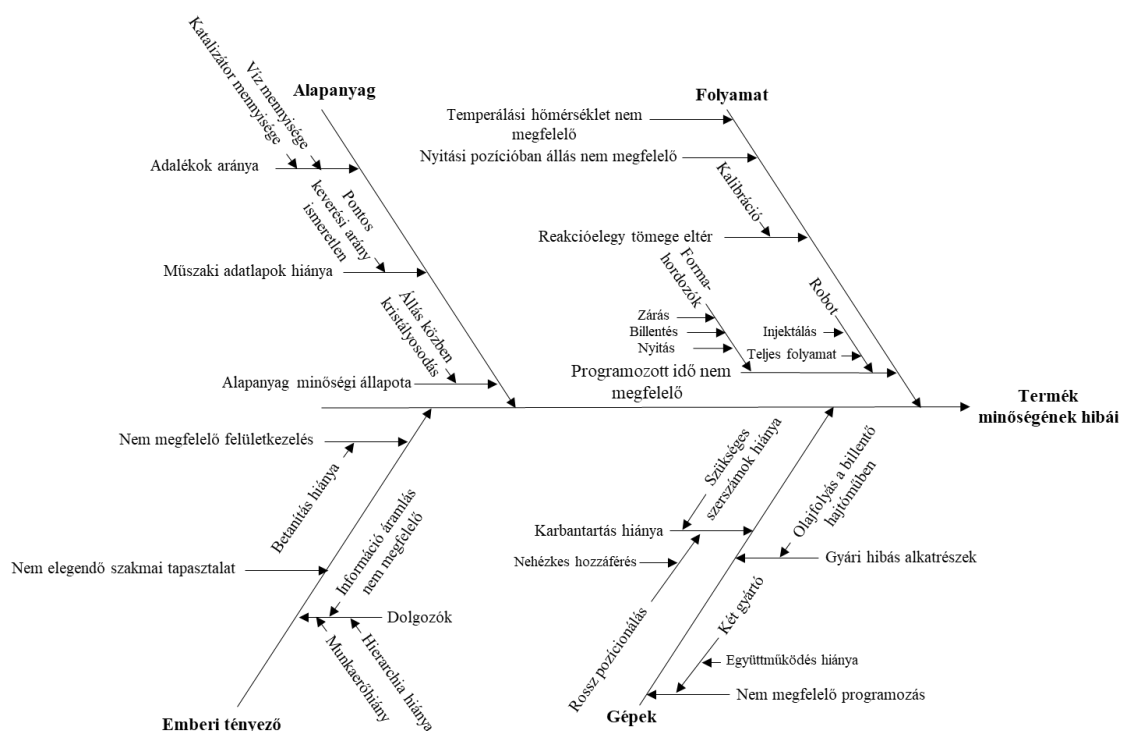
Program	NCO index	FFP-303 [g/s]	TR4040 [g/s]	Kigázosítás kezdete* [s]		Idő [s]	Tömeg [g]	Minta név
FSB_225	1,05	340,00	203,80	5	12	3,8	2066,40	20.10.15/001
	1,05	340,00	203,80	5	13	3,8	2066,40	20.10.15/002
	1,05	340,00	203,80	5	15	3,6	1957,70	20.10.15/003
	1,05	340,00	203,80	5	17	3,4	1848,90	20.10.15/004
	1,05	340,00	203,80	5	19	3,2	1740,20	20.10.15/005

Az eredmények függvényében új kigázosítási ciklust iktattam be, majd csökkenő NCO-indexet használva végeztem a formatöltést. A legjobb eredményt hozó próbagyártás ez esetben is a 3,2 s-al végzett 1,05 NCO-indexel rendelkező minta volt (12. táblázat). Az új kigázosítási ciklus beiktatásával a töltés során keletkezett levegőbuborékok mérséklődtek.

2.4.2.2 Ishikawa diagram – az anyagszerkezeti hibákat kiváltó okok feltárása

A hibaokok feltárása során a halszájka diagramm 5 M módszert használtam (19. ábra) [25][26]:

- Men (ember)
- Method (módszer)
- Material (anyag)
- Machine (gép)
- Millie (környezet)



19. ábra: A termék minőségi hibáinak Ishikawa diagramon történő elemzése.

A diagram gerincét alkotó probléma: **A termék minőségének hibái.** A gyökérokok az előbbiekben felsorolt okok voltak. A hibát kiváltó okokat ezekbe a gyökérokba kategorizáltam (11. táblázat).

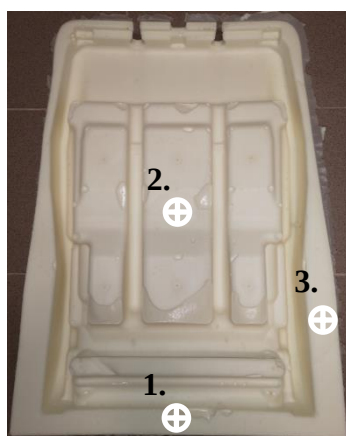
Az okhatás diagram értékelése során az „Alapanyag” és a „Folyamat” gyökérokra esett a választás a probléma főbb kiváltóiként, mivel minden esetben anyagszerkezeti hibák folyamatosan finomodtak a folyamatparaméterek módosításai során egy bizonyos fokig. Azonban a rendszer optimalizációs határt elérve, már a termék szerkezetét a felhasznált alapanyag foglya meghatározni. Ennek kapcsán nélkülözhetetlen a folyamat paraméterek szempontjából optimális, de anyagszerkezet szempontjából hibás termék μ CT-vel történő vizsgálata, az egyes mintatérfogatokban az alapanyagrendszer gyártási folyamat közben történő viselkedésének elemzésére.

11. táblázat: A probléma lehetséges okainak főcsoportba sorolása.

Emberi tényező	Folyamat	Anyag
Nem megfelelő belső felületkezelés, Betanítás hiánya, nem megfelelő anyagmennyiség megválasztás, Nem elegendő szakmai tapasztalat	Temperálás hőmérséklete, Nem megfelelő anyagmennyiség megválasztása, Nem megfelelő start idő (excentrikus mozgás), nem megfelelő végállás pozíció, Nem megfelelő belső felület kezelés (formaleválasztás), Nem megfelelő nyitási idő	Adalékok aránya (víz mennyisége, katalizátor mennyisége), műszaki adatlapok hiánya (keverési arány), alapanyagminősége (Állásközben kristályosodás)

2.4.2.3 μ CT vizsgálat és korrekció (20.10.15/005)

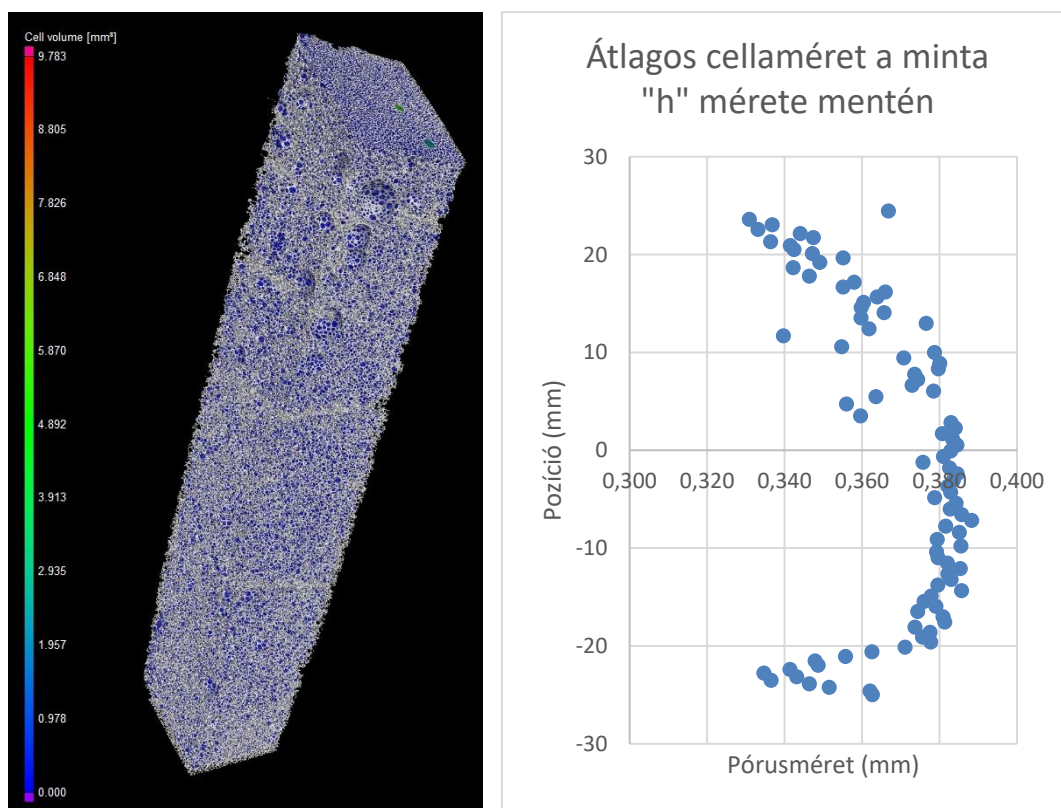
A μ CT berendezéssel a minta egyes térfogatelemeiben vizsgáltam meg a cella szerkezetet különös tekintettel a jelentősebb méretű koaleszkált cellákra (20. ábra) [31][32][33]. Tekintve,



20. ábra: A vizsgált 20.10.15/005-ös FSB formahab mintavételi pontjai.

hogy az ülés felső térfogateleme vastagságából kifolyólag nem mutat számottevő eredményt a cella szerkezetről, így a mintázást az ülés alsó, középső és szélső (káva) térfogateleméből végeztem. A minta preparáció során egy a felületre merőleges hasábot vágtam ki, amelynek alap felülete $\sim 1 \text{ cm}^2$ volt magassága pedig a preparált mintatérfogot függvényében változott.

„1.” Alsó térfogatelemből vett minta szerkezete:

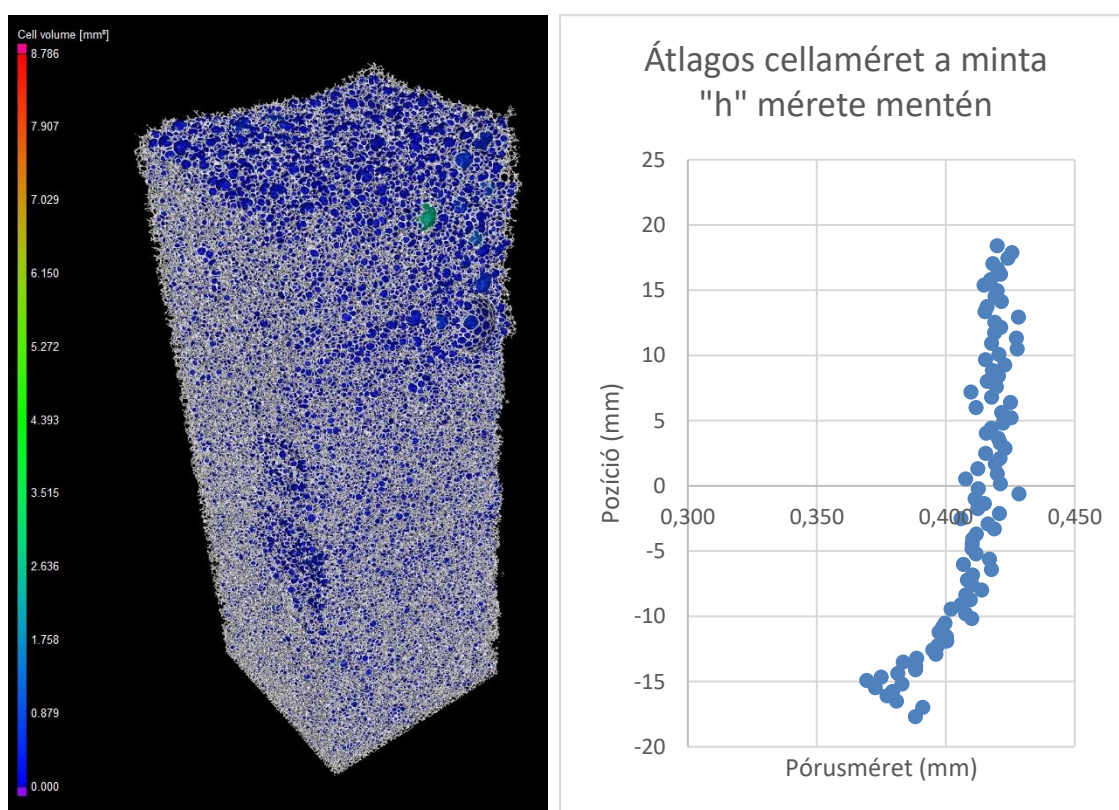


21. ábra: A 20.10.15/005-ös FSB formahab alsó térfogateleméből vett minta μCT vizsgálatának eredménye.

A 20.10.15/005-ös formahab alsó térfogateleméből vett minta cellás szerkezete nagyfokú szórást mutat. A formahordozó döntésének ellenére az 1 mm-nél nagyobb cellák száma növekszik (185 db) ami a hab „A” oldali része felé haladva fokozódik, az átlagos cellaméret 0,367 mm (átlag szórás: 0,03 a „h” méret függvényében), a maximális cellaméret pedig 2,741 mm-re adódott, ami a μCT képen is jól kivehető. Az ingadozó pórusméret átlag jól reprezentálja a növekvő viszkozitású reakcióelegyen bekövetkező zavart a formahordozó döntésének hatására (21. ábra).

„2.” Középső térfogatelemből vett minta szerkezete:

A 20.10.15/005-ös formahab középső térfogateleméből preparált minta esetén a szórás mérséklődik, azonban az 1 mm-nél nagyobb cellák száma duplájára nő (363 db), tekintve, hogy a legnagyobb tömegű reakcióelegy innen mozdult el lefelé. A nagyobb koaleszkált cellák előfordulása az előbbieken megállapított szabály szerint a formahab „A” oldala felé fokozódik. Az átlagos cellaméret 0,420 mm (átlag szórás: 0,03 mm a „h” paraméter függvényében), A maximális cellaméret közel azonos 2,740 mm. A térfogategységben jelenlévő alapanyag nagyobb tömege miatt nem jelentős a zárást és döntést követő változás, amelyet a pórusméret átlag is mutat (22. ábra).

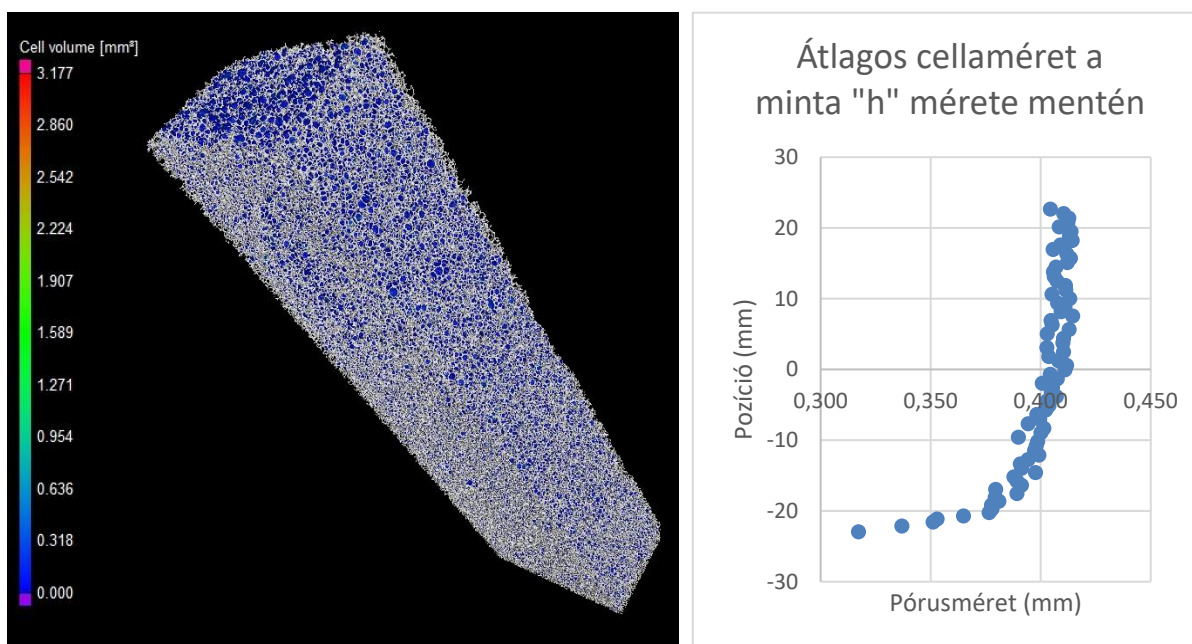


22. ábra: A 20.10.15/005-ös FSB formahab középső térfogateleméből vett minta μ CT vizsgálatának eredménye.

„2.” Szélső térfogatelemből vett minta szerkezete:

Az eredmények ennek a térfogategységnek a vizsgálatánál bizonyultak a legjobbnak. Az átlagos cellaméret 0,405 mm volt (átlag szórás 0,03 mm a „h” paraméter függvényében). Ebben a mintatérfogatban a szemmel látható anyagszerkezeti hiba nem volt. Az 1 mm-nél nagyobb cellák száma alacsony (60 db), ami a makroszkopikus homogenitást erősíti. A mintatérfogatba injektálás során, a középső térfogatelemhez hasonlóan nagymennyiségű anyag került, valamint

a geometriából kifolyólag ebbe a mintatérfogatrészbe folyt le. Az átlagos cellaméret diagramm alakja hasonló a középső szakaszhoz ebből kifolyólag (23. ábra). A cellaméret maximuma azonban jelentősen csökkent (2,010 mm). A változások azzal magyarázhatók, hogy a forma belsejében ezen a szakaszon nem találhatók kigázosító nyílások, ebből kifolyólag a polimerizáció és a cellaképződés nagyobb belső nyomáson megy végbe, ami hatással van a koaleszcenciára a termék cellás szerkezetében.



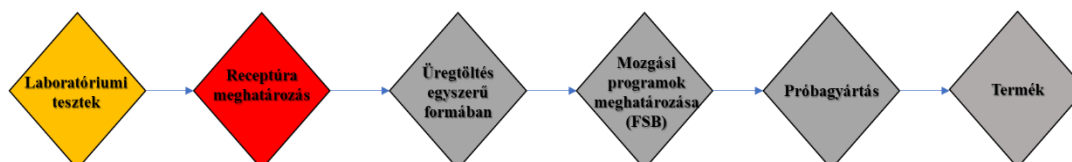
23. ábra: A 20.10.15/005-ös FSB formahab szélős (káva) térfogateleméből vett minta μ CT vizsgálatának eredménye.

Az eddigi eredményekből megállapítható, hogy a legjelentősebb levegőzárvány frakció a minta alsó térfogatelemében található, itt a koaleszcencia is jelentős, ami arra ad következtetést, hogy a polimerizációs folyamat kinetikai szempontból meg lett zavarva a formahordozó döntése során. A keletkező CO₂ buborékok egy része a habosodási folyamatban az ülés középső szakaszán koaleszkál a döntés (10°) hatására, majd gravitációs úton a folyamatosan növekvő viszkozitású poliuretán reakció eleggyel lefolyik. Kigázosítási ciklusok ellenére a lefolyt reakcióelegy hatására beszorult levegő és gáz (CO₂) jelentős zárványokat alakít ki az ülés „B” oldalán. A koaleszcencia csökkenő NCO-indexel mérséklődik. A gyártás során alkalmazott paramétereket a 12. táblázat szemlélteti. Megismételve a gyártást a 10°-os dőlés kivételével lokális anyaghiány alakul ki az alsó szakaszon (lefolyási geometria), illetve töltési egyenetlenségek tapasztalhatók a kigázosítási ciklusok során (a túlfolyó anyagmennyiség egyenlőtlenül jön ki). A gyártási eredményekből megállapítható tehát, hogy az alkalmazott habrendszer 6 s-os start-ideje miatt, a tökéletes formakitöltés nem kivitelezhető, mivel a döntés pillanatában a zajló polimerizációt zavarjuk meg.

12. táblázat: A 225-ös program fejlesztése során végzett gyártási paraméterek (* 2 másodperces időtartamú kigázosítás).

Program	NCO index	FFP-303 [g/s]	TR4040 [g/s]	Kigázosítás kezdete* [s]			Idő [s]	Tömeg	Minta név
FSB_225	1,05	340,00	203,80	5	15	19	3,2	1740,20	20.10.19/001
	0,90	340,00	174,70	5	15	19	3,38	1739,70	20.10.19/002
	0,80	340,00	155,30	5	15	19	3,51	1738,50	20.10.19/003

2.4.2.4 Új receptúra bevezetése



A feltevés igazolására egy új poliál ágat megnyitva a meglévő receptúrát hígítottam. Az új poliál az eddig használt Ongorpur FFP-303 alpmátrixát tartalmazta (Acupol F2831 [34]), valamint annyi vizet, hogy az OH szám közel azonos legyen (OH: 238,97 mgKOH/g). Az új poliál ág beiktatásával a start-időt kellően megnöveltem, hogy ne okozzon problémát a mozgás a polimerizáció során. Mivel ez esetben csökken a katalizátor és felületaktív anyag mennyisége, így a kiszámolt receptúra esetén 0,8-as NCO-indexet használtam. Ezzel mérsékeltem a felületaktív anyag (Tegostab B4113) mennyiségének csökkenése miatt kialakuló inhomogén cellaméreteloszlást. A forma hőmérsékletét 60 °C-ra emeltem, ami csökkentett katalizátor mennyiség mellett kedvez a stabil anyagszerkezet kialakulásának. A habosodás idejét 600 s-ra ugyan ezen okból kitoltam. Ezek után 3 lépésben (13. táblázat) meghatároztam a kigázosítási időt az adott rendszerhez, mely lépések során az alsó szakaszon megfigyelhető a levegőzárványok méretének csökkenése. Az injektálás idejét 4 s-ra emeltem, ahogyan a kezdeti töltési próbákat is végeztem. A gyártás során keletkezett termék anyagszerkezeti hibától mentes, az ipari elvárásoknak megfelelő töltésminőségben elkészült. A minta állása során nem tapasztaltam beszívódást. Ebből következtethető, hogy a nyíltcellás szerkezet az elvártaknak megfelelően kialakult.

13. táblázat: Próbagyártás alapján történő kigázosítási idő meghatározása, ill. referenciahab (kék színnel) gyártás (* 2 másodperces időtartamú kigázosítás).

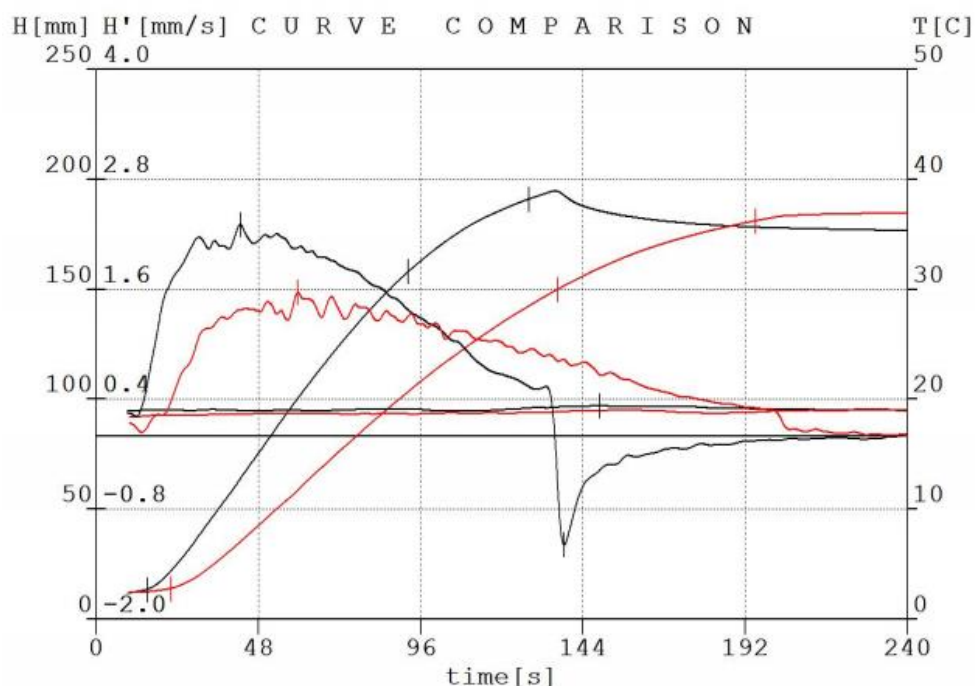
Program	NCO index	FFP-303 [g/s]	FIEK-Poly1 [g/s]	TR4040 [g/s]	Kigázosítás kezdete* [s]			Idő [s]	Minta név
FSB_225	0,8	235,5	104,6	149,9	-	15	19	4,0	20.10.22/002
	0,8	235,5	104,6	149,9	-	15	25	4,0	20.10.22/003
	0,8	235,5	104,6	149,9	-	-	35	4,0	20.10.22/004
	0,8	340,0	-	155,3	5	15	19	3,96	20.10.28/001

2.4.3 A hígított polioldat rendszer paramétereinek meghatározása és összehasonlítása a kiindulási rendszerrel (FOAMAT 285)

A modifikált receptúra paramétereit FOAMAT 285 habminősítő berendezéssel határoztam meg. A mérés során 80 g bemérési tömeggel dolgoztam, amelyből 55,5 g Polioldat (Ongropur FFP-303 + Alcupol F2831 + víz), illetve 24,5 g Izocianát (Ongronat TR 4040). Az NCO-index a gyártási paramétereknek megfelelően 0,8 volt. A habosodás során felvett görbét összehasonlítva az Ongropur FFP-303-as minta értékeivel a zsugorodás nagyfokú mérséklődése figyelhető meg (24. ábra).

14. táblázat: Az eredeti és modifikált receptúrával előállított habok paramétereit.

Habrendszer paramétereit (FOAMAT® 285)		
	Ongropur FFP-303	FIEK_1
Keverési idő [s]	5,00	5,00
Teszt idő [s]	240,00	240,00
Kezdeti magasság [mm]	10,90	11,00
Start-idő [s]	6,60	22,30
Emelkedési habmagasság [mm]	193,10	181,0
Emelkedési idő [s]	119,40	195,10
Max. sebesség [mm/s]	2,89	1,57
Max. magasság [mm] (t=133,1 s)	196,80	184,50
Végleges magasság [mm]	184,20	183,40
Visszaesés [R%]	4,80	-
Zsugorodás [R%]	6,80	0,60

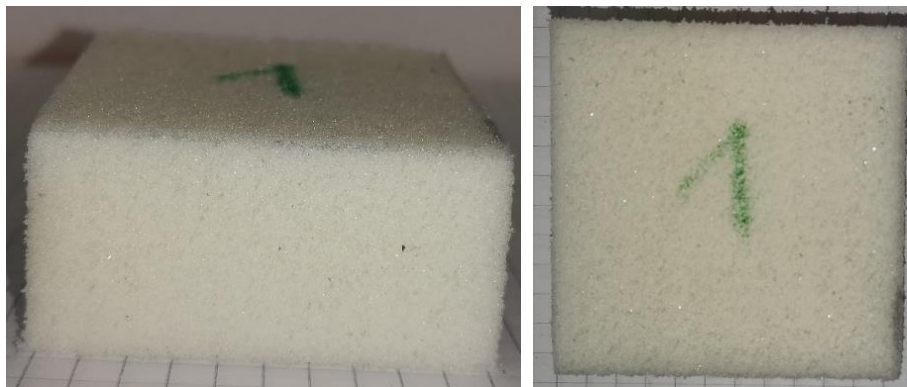


24. ábra: A kiindulási és modifikált receptúra FOAMAT 285 görbéjének összehasonlítása

2.5 MECHANIKAI TULAJDONSÁGOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA AZ ÚJ ÉS ALAPRECEPTÚRÁVAL GYÁRTOTT MINTÁK ESETÉBEN

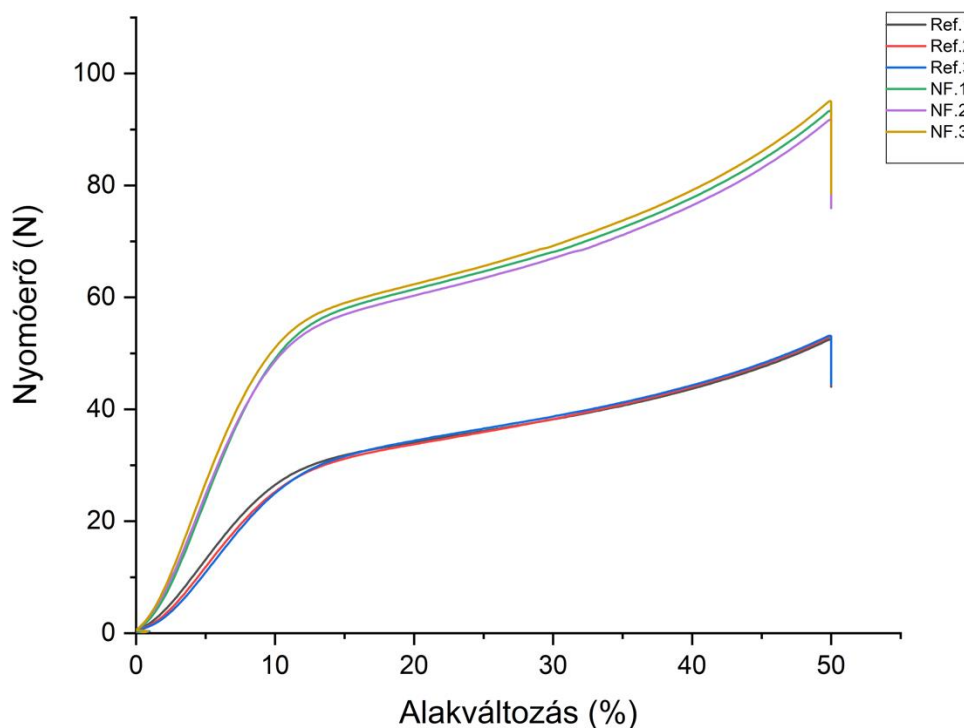
A vizsgálatokat egy Zwick Roell Z010 széles kerettel rendelkező univerzális mechanikai anyagvizsgáló berendezéssel végeztem el, a széleskörűen elterjedt ASTM D3574-es szabvány kritériumainak megfelelően [34][36][39]. A vizsgálati módszerek közül a TEST C (Compression Force Deflection – Nyomófeszültség meghatározás), ill. TEST F (Tear Resistance – Tépőszilárdság meghatározás) vizsgálatokat alkalmaztam. A szabvány elvárásainak megfelelően a mintákat 50 ± 5 %-os páratartalom mellett 23 ± 2 °C hőmérsékleten tartottam a gyártást követő 7 napban, majd minta preparációt követően 12 órát kondicionáltam ugyan ezeken a paramétereken.

2.5.1 Nyomófeszültség meghatározása (ASTM D 3574 Test C)



25. ábra: Az ASTM D 3574 szabvány TEST C leírása szerint kivágott minta.

A szabvány a vizsgált minta geometriai paraméterei vonatkozólag előírja, hogy a nyomott felület legyen minimum 2500 mm^2 , valamint a minta magassága legyen minimum 20 mm (25. ábra). A mérés kezdetén a minta magasságot (h_0) 140 Pa terhelés elérésekor rögzítette a berendezés. A mintákat 2 kondicionáló ciklusnak vettem alá, amelynek során a felső szerszám összenyomta a mintákat 250 mm/min sebességgel 75 %-ig. A kondicionálás végeztével 6 perc relaxálódási időt követően a felső szerszám a mintákat 50 mm/min sebességgel, a mintamagasság 50%-ra nyomta össze. A felső szerszám az 50%-os összenyomás elérését követően a terhelési ponton maradt 60 s-ig, miközben a hab relaxálódott (csökken az erő). Az 50%-os összenyomáshoz tartozó erőt ezután a 60 s után rögzítette a berendezés.



26. **ábra:** A referencia minták (RF.1-3: 20.10.28/001), illetve az új receptúra alapján készült minták (NF.1-3: 20.10.22/004) CFD görbéi.

15. **táblázat:** A CFD mérés eredményei (ASTM D 3574 TEST C)

Minta	F (50 %) [N]	h_0 [mm]	h_1 [mm]	a_0 [mm]	b_0 [mm]
Ref.1	44,06	26,12	26,06	50,20	50,20
Ref.2	44,40	26,47	26,23	50,54	49,97
Ref.3	44,57	26,52	26,27	50,72	50,30
NF.1	77,27	26,56	26,35	51,68	51,37
NF.2	76,00	26,57	26,35	50,93	51,46
NF.3	78,60	26,40	26,17	51,27	51,66

F (50%): 50%-os benyomódáshoz tartozó erő, h_0 : kiindulási magasság; h_1 : mérés utáni magasság; a_0 , b_0 : nyomott felület méretei

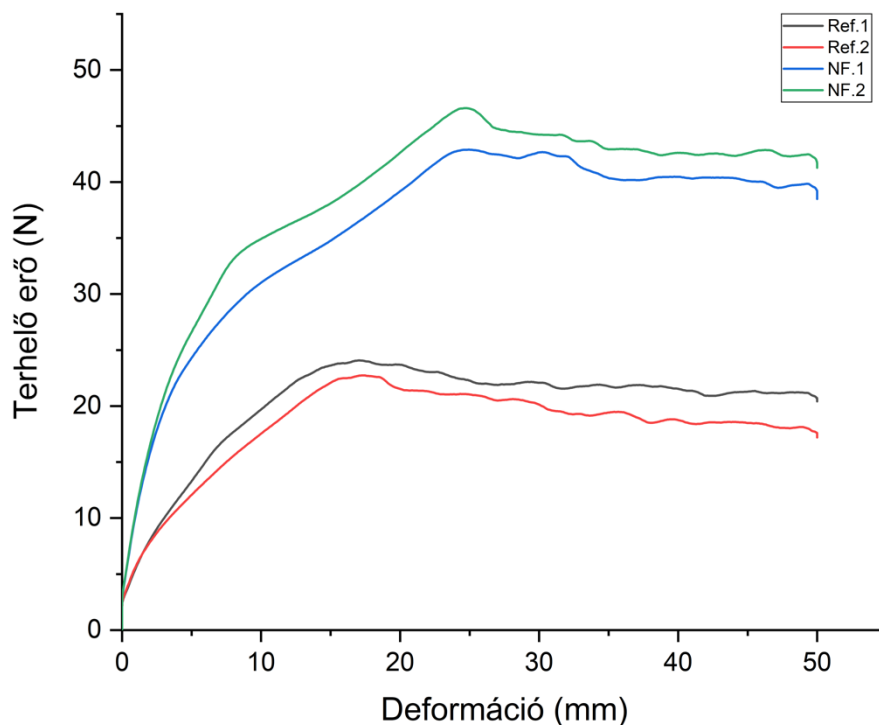
2.5.2 Tépőszilárdság meghatározás (ASTM D 3574 Test F)



27. **ábra:** Az ASTM D 3574 szabvány TEST F leírása szerint kivágott minta.

A mérés során a szabvány szerinti minta paraméterek: 40 mm-re bevágott 25,4 mm x 25,4 mm x 152,4 mm (27. ábra). A minta preparáció során a bevágott szakasz alsó és felső felét a befogópofákba rögzítettem. Ezt követően 500 mm/min sebességgel 50 mm-es mérési úton a

berendezés rögzítette a tépés során mért erőt. A tépőszilárdság értéke számítással meghatározható.



28. ábra: A referencia minták (RF.1-3: 20.10.28/001), illetve az új receptúra alapján készült minták (NF.1-3: 20.10.22/004) CFD görbéi tépőszilárdság vizsgálatának görbéi.

16. táblázat: Tépőszilárdság meghatározásának eredményei (ASTM D 3574 TEST F)

Minta	R [N/m]	F _{max} [N]	d [mm]
Ref.1	972,26	24,07	24,76
Ref.2	936,57	22,74	24,28
NF.1	1667,66	42,89	25,72
NF.2	1874,21	46,59	24,86

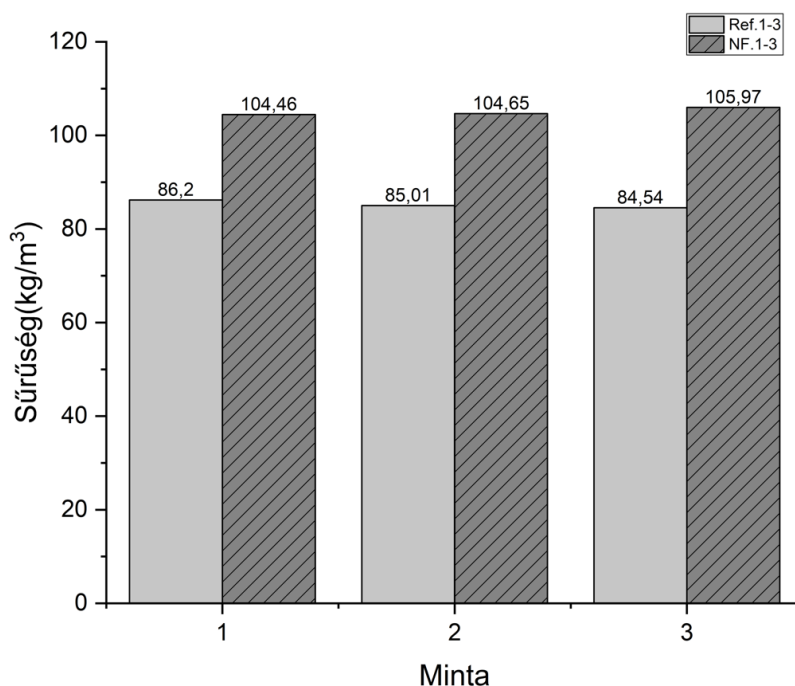
R: Tépőszilárdság; F_{max}: max. erő; d: minta vastagság

2.5.2.1 Mechanikai vizsgálatokból levonható következtetés

A mérésekből levonható következtetés, hogy az új receptúrával elkészített minták a kevesebb katalizátor mennyisége miatt tömörebb szerkezettel rendelkeznek. Ebből következtetve a szerkezet stabilitására a paraméterek módosításával kedvező hatás gyakoroltam (forma hőmérséklet 60 °C, formazárási idő: 600 s). Kevesebb alapanyag folyt túl a kigázosítás során (1 kigázosítási ciklus), valamint a szellőzőnyílásokon keresztül, mint a kiindulási receptúra esetében, amely a töltési tulajdonságokat tovább javította. Megjegyzendő, hogy a mérés során rögzített értékek szórása nagyobb, mint a kiindulási mintáké, ez pedig a felületaktív anyag

menyiségének csökkenésével magyarázható a rendszerben, amit a cellák mikroszkopikus inhomogenitásának megváltozása okoz.

A minták sűrűségét az ASTM D 3574 szabvány Test A eljárás szerint mértem meg [37][39]. Tekintve, hogy az eredeti receptúra sűrűségét az egyéb hatások mellett (kigázosítás, túlfolyó anyagmenyiség) jelentősen a fűjő katalizátor mennyisége befolyásolja, ezért az új receptúrával gyártott termékek sűrűségében történő növekedés figyelhető meg (29. ábra). Ebből következtethetünk arra, hogy a habképződés során keletkezett cellák mérete csökkent, vagy pedig kevesebb azonos méretű cella keletkezett a gázfejlődéssel járó reakció során. Ezzel a sűrűség növekedéssel magyarázható a nagyobb összenyomási erő és a tépőszilárdság növekedése is, azonban ez az érték kívül esik az autóipari határértékeken. Tekintve, hogy az átlagos sűrűség 40- 60 kg/m³ kell, hogy legyen.

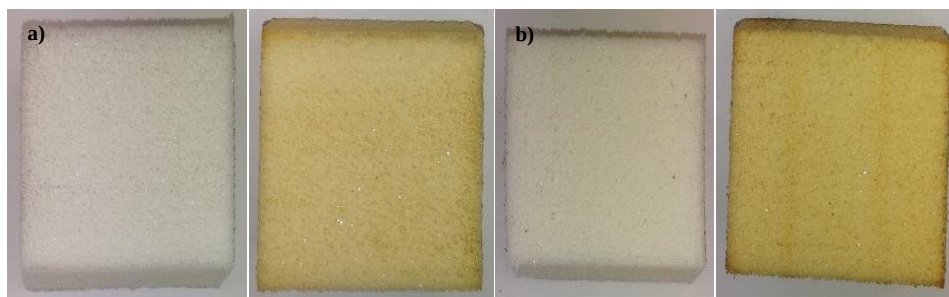


29. ábra: A referencia (Ref.1-3: 20.10.28/001) és új receptúrával (NF.1-3: 20.10.22/004) gyártott minták sűrűsége.

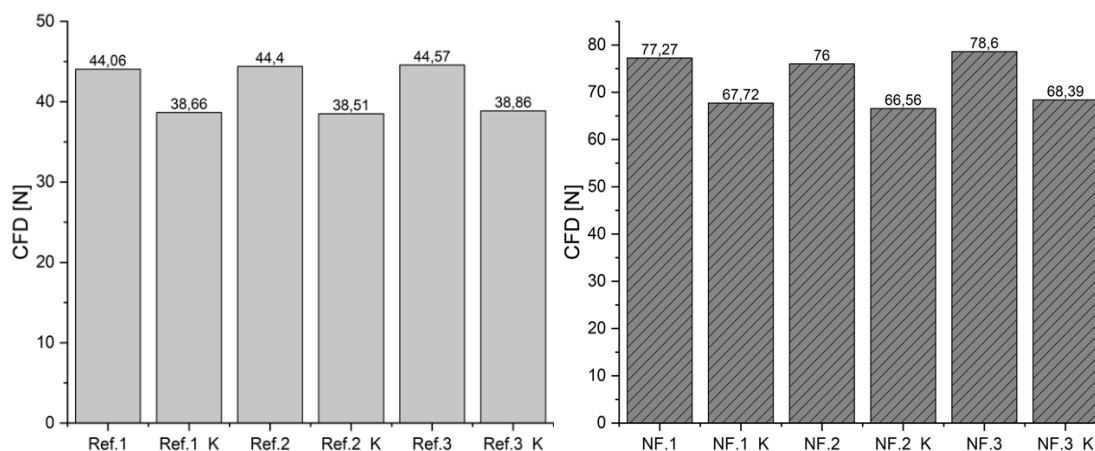
Az arányok változása a mechanikai tulajdonságokban megfigyelhető változásokat eredményezett. A minták CFD értékei a kiindulási esetben ~44 N volt, ami ~77 N-ra emelkedett az új receptúrával szintetizált minták esetében. Ez +75 % nyomóerő változást jelentett 50%-os összenyomásnál (15. táblázat). Továbbá új receptúrával gyártott minták tépőszilárdság értékei is jelentősen javultak a referencia mintákhoz képest. Ebben az esetben a szilárdság értékek átlagát tekintve +85,5 %-os növekedés figyelhető meg (16. táblázat).

2.5.3 Öregedés vizsgálat (ASTM D 3574 Test K) és Kolorimetria

Az említett vizsgálatot az ASTM D 3574 szabvány TEST K leírása szerint végeztem [38][39]. A vizsgálat során a mintákat 22 órán keresztül 142 ± 2 °C-os hőmérsékletnek tettem ki légkeveréses szárítószekrényben, majd ezt követően 2 órán át kondicionáltam 50 ± 5 %-os páratartalom mellett 23 ± 2 °C hőmérsékleten. A kondicionálást követően megvizsgáltam a minták mechanikai tulajdonságaiban bekövetkezett változást a TEST C vizsgálat elvégzésével.

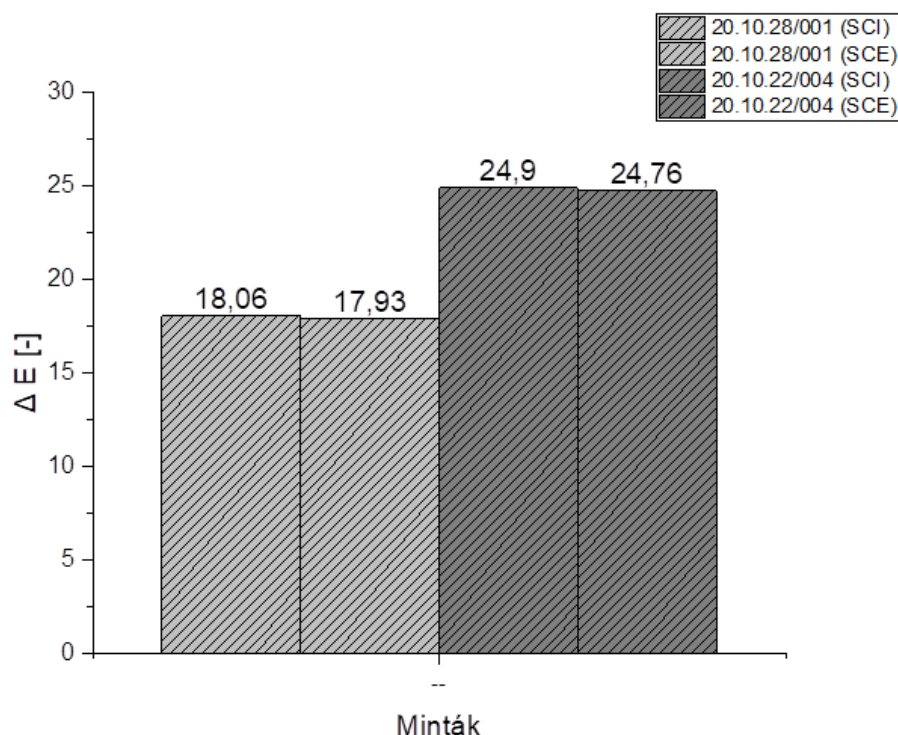


31. ábra: Az öregítési vizsgálat során bekövetkezett színváltozás az egyes minták esetében. a) bal oldalt a referencia minta, jobb oldalt az öregítés után (20.10.28/001) b) bal oldalt az új receptúrával gyártott minta, jobb oldalt az öregítés után (20.10.22/004).



30. ábra: Az öregítés után mért mechanikai tulajdonságok változás (öregítés előtt: Ref.1-3, NF.1-3; öregítés után: Ref.1-3_K, NF.1-3_K).

Emellett színmérést végeztem Konica Minolta koloriméter segítségével, az öregítés hatására kialakuló színváltozás mértékének összehasonlítása érdekében, a referencia (20.10.28/001), illetve az új receptúrával gyártott (20.10.22/004) minták esetén. A mérés során a berendezés LAB háromdimenziós koordináta-rendszerben adta meg az adott minta színkódját. A kiindulási minta (target) felvétele után az öregített mintákat mérve meghatározható a színváltozás mértéke (ΔE).



32. ábra: A referencia és az új receptúrával gyártott minták kolorimetriás vizsgálatának eredményei (SCI – szórt fény figyelembevételével, SCE – szórt fény figyelembevétele nélkül).

2.5.3.1 Az öregedés vizsgálatból levonható következtetés

Az öregítés után a minták színváltozása szemmel látható, amely az új receptúrával elkészített minták esetében sokkal jobban megmutatkozik (sárgább) (31. ábra). A színmérés során a minták SCI értékei 48,21 %-os, illetve SCE értékei 59,28 %-os eltérés növekedést mutatnak (32. ábra). A poliol hígításával a reakció során keletkezett kötések disszociációja fokozódik, amely az öregítési teszt során megmutatkozik. Mechanikai tulajdonságok tekintetében az öregítés hasonló eredményt hozott, a CFD értékek csökkenése mindkét esetben ~13 % körüli (referencia minták esetén: -12,77 %, új recepttel preparált minták esetén: -12,59 %) (30. ábra). Az eredmények alapján a két receptúrával készített minták hasonló öregedési tulajdonságokkal rendelkeznek mechanikailag, azonban az új minta esetén a bomlástermékek mennyisége sokkal számottevőbb a minta teljes keresztmetszetében.

2.5.4 Az öregített és referencia minták VOC vizsgálata a vizsgált receptúrák esetén (VDA 277)

A felhasználók esetleges egészségügyi kockázatainak elkerülése érdekében az autógyártók különféle minőségellenőrzési eljárásokat vezettek be a gyártott termék illékony szervesanyag emissziójának becsléséhez. Az egyik erre alkalmas eljárást a VDA 277 szabvány írja le. A mérés során a gyártott termékből mintát veszünk, majd a mintát aprítás után, headspace fiolába

helyezzük (33. ábra). Az eljárás első részében egy hőinkubációs folyamaton mennek keresztül ezek a fiolák, majd ezt követően a gázkromatográf elvégzi a headspace mintavételt. Ennek során a mintavevő 1 ml kiegyenlített mintatér-gázt gyűjt mérésenként (fiolánként), majd bevezeti a gázkromatográf kolonnájába [40][42]. Az eljárás kis mintamennyiség (0,65-0,68 g) vizsgálatára alkalmas, ezért mint egy előzetes mérésnek tekinthető. Az ipar által elvárt nagymintás roncsolás mentes mintavételi eljárás a VDA 276, illetve annak kiértékelése a VDA 278 szabványok szerint elvégezhető [43][42][44].



33. ábra: Az aprított minták a headspace fiolákban, valamint a termikus kezelés során bekövetkező emisszió sematikus ábrája [41].

A komponensek gázkromatográfias elválasztása Restek Stabilwax-MS oszlopon (silica) valósult meg, amelynek belső átmérője 0,25 mm, filmvastagsága 0,25 μm és hossza 30 m. A felfűtési program 50 °C-on kezdődik (3 perces hőntartás), majd 12 K/perc sebességgel eléri a 200 °C-ot (4 perces hőntartás). A kolonnáról eluált komponensek tömegspektrométerrel retenciós idő alapján azonosíthatók (nem pontos, csak standardek esetén), azonban az ipari gyakorlatban ezen vegyületeket nem külön-külön, hanem csak összeg paraméterként elemezzük [40][41].

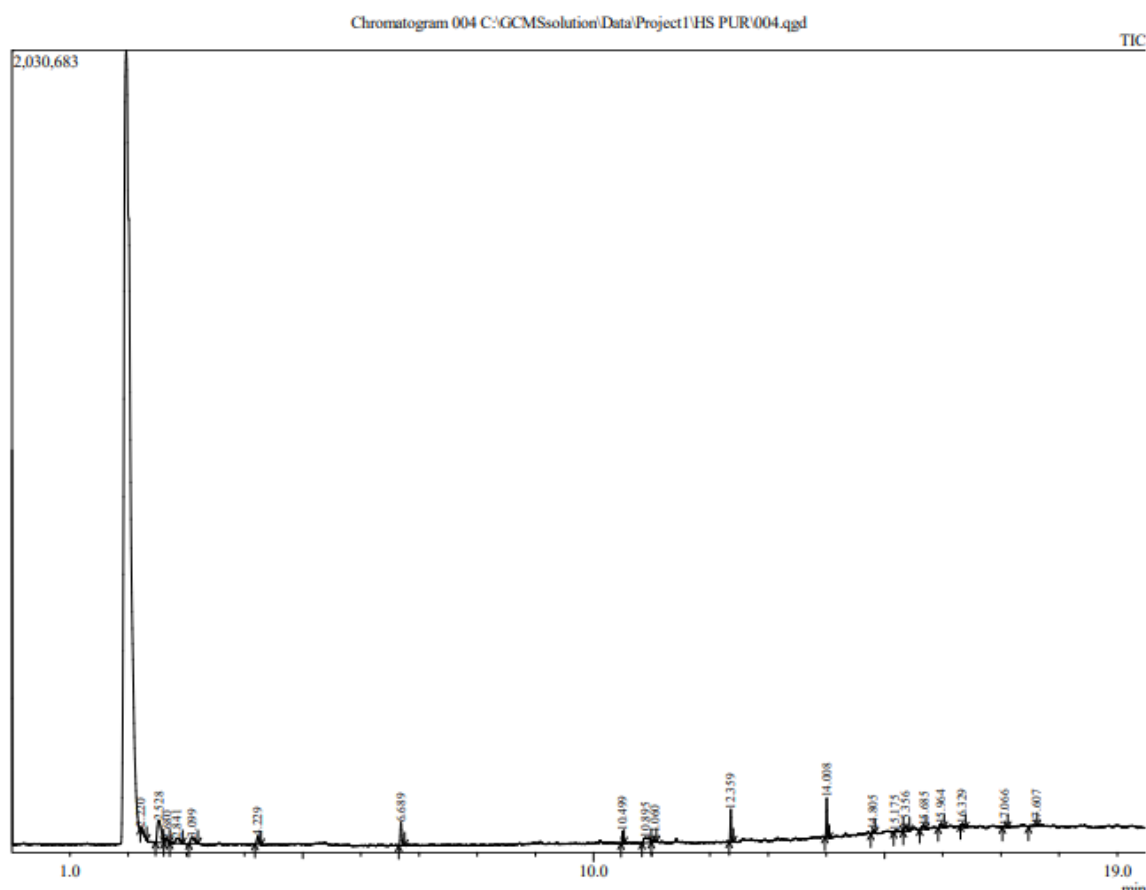
2.5.4.1 A VOC vizsgálatokból levonható következtetések

A minták kiértékelése során egyértelműen látszik, hogy a modifikált receptúra jóval alacsonyabb emisszióval rendelkezik, mint a kiindulási receptúra (17. táblázat). Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy hígítás során csökkent a rendszerben található, illékony komponensek mennyisége (mint. pl.: amin származékok, sziloxánok...stb.). Azonban a 20.10.22/004-es minta esetén, a tömegspektrométerrel végzett kvalitatív elemzés során megállapítható volt, hogy az aldehid koncentráció (propanal, acetaldehid, propénal) sokkal

jelentősebb volt a modifikált receptúra esetén. A 20.10.19/001-es minta esetén jelentősebb azonban a nehezebb sziloxánok aránya, ami a higítatlan rendszerben fennálló koncentrációkból következik. A pontos kvantitatív eredményeket kalibráció hiányában nem tudtam megadni, azonban meghatároztam egy viszonyszámot, melynek során a csúcsok görbe alatti területeinek összegét osztottam a bemért tömeggel. Ezzel lehetőség nyílt a minták előzetes összehasonlítására a kalibráció elvégzéséig (17. táblázat).

17. táblázat: A kromatogramok kiértékelése során számított összemisziók az egyes minták esetén.

Minta	Tömeg [g]	Összterület [-]	Összemiszió [1/μg]
20.10.19/001	0,6714	1080987	1,61
20.10.19/001_K	0,6538	475908	0,73
20.10.22/004	0,684	1020397	1,49
20.10.22/004_K	0,6655	498931	0,75



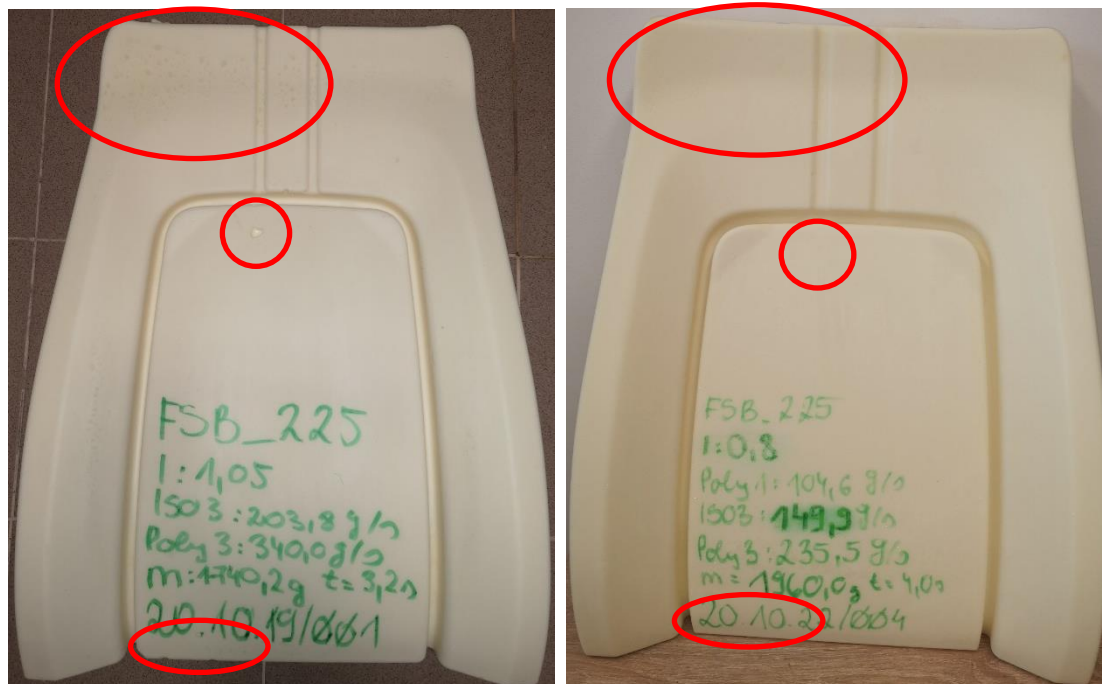
34. ábra: A 20.10.22/004-es minta kromatogramja (a vizsgált minták kromatogramjait lásd. mellékletek).

Az öregített minták esetén a magas hőmérsékletű, hosszú időtartalmú kezelés miatt (140 °C, 22 h) az illékony komponens tartalom jelentősen csökkent. Ez az autó belső terében tapasztalható szobahőmérséklet feletti kipárolgás fokozódásával magyarázható.

3. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS JÖVŐBELI TERVEK

Kutatómunkám során egy lágyhab gyártócella részegységének optimalizációját végeztem, melynek során az FSB (Front Seat Back – elsőülés háttámla) forma töltési tulajdonságainak javítása és reprodukálható gyártási program elkészítése volt a célom. Az optimalizáció az alábbiakban részletezett eredményeket hozta:

- A virtuális gyártócella felépítése és validálása megtörtént. Segítségével a valóságban alkalmazott útvonalak tervezésére és optimalizációjára nyílt lehetőség. Az adott formára (FSB) történő útvonalak virtuális optimalizációját elvégeztem.
- Legjobb eredményt adó bejárási útvonal program a 225-ös volt. Ennek, illetve a hozzátartozó gyártási programnak optimalizációja megtörtént.
- A töltés során alkalmazott receptúrának nagyobb start-idővel kell rendelkeznie, mivel a legrövidebb idejű útvonal esetén is a formazáráshoz és billentéshez szükséges idő 15-20 s.
- Új receptúra kidolgozása a start-idő növelésére megtörtént.



35. ábra: A kiindulási (20.10.19/001), illetve a modifikált receptúrával gyártott minta (20.10.22/004) gyártási eredménye. Az anyagszerkezeti hibák szemmel látható javulása tapasztalható (piros körvonal).

- Elvárásoknak megfelelő töltést eredményező reprodukálható töltési minőségű minta gyártási folyamatának kidolgozása megtörtént (35. ábra).
- Az új receptúrával gyártott termék mechanikai tulajdonságainak meghatározása megtörtént. Összehasonlítása során +75 %-os nyomófeszültség növekedést és +85,5 %-

os tépőszilárdság növekedés tapasztalható. Ebből adódóan a mechanikai tulajdonságok tekintetében az új receptúra tulajdonságai sokkal jobbak alkalmazhatóság szempontjából, tekintve, hogy az elvárt eredmény egy terhelhetőbb szerkezet volt.

- A minták élettartam tesztjeit összehasonlítva nincs szignifikáns különbség a referenciaként megjelölt alap receptúrával gyártott minták és az új receptúrával gyártott minták között mechanikai értelemben.
- A termelékenység növelésének szempontjából a gazdaságosságot figyelembe véve a gyártósor bővítése (karuszel szerű kialakítás), illetve az alapanyagrendszer módosítása hozhat megfelelő eredményt. A katalizátor és víz mennyiség módosításával a habsűrűség az autóiipari elvárásoknak megfelelő értékre csökkenthető, ezzel a beinjektált alapanyag tömege is csökken.

Jövőbeli terveim között a 225-ös gyártás program esetén, a katalizátor mennyiségének függvényében történő kigázosítási ciklus változásának meghatározását szeretném elvégezni, mivel ez a termék minőségének szempontjából fontos információkat hordoz. Emellett a habosodási katalizátor mennyiségének változtatásával beállítanám a kívánt sűrűségértéket a töltési tömeg további csökkentése mellett. Több hasonló start-idővel rendelkező receptúrával szeretném tesztelni az optimalizált gyártási programot a receptúraváltozás befolyásoló hatásainak meghatározására. Kiemelten fontos az új receptúrák VOC vizsgálatainak elvégzése VDA 276, 278 szabványok szerint, valamint a receptúra módosításával az emissziós tulajdonságok finomhangolása.

4. REFERENCIÁK

- [1] Gama, N. V., Ferreira, A., & Barros-Timmons, A. (2018). Polyurethane foams: Past, present, and future. *Materials*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/ma11101841>
- [2] Das, A., & Mahanwar, P. (2020). A brief discussion on advances in polyurethane applications. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(3), 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2020.07.002>
- [3] Michael Szycher (2013): Szycher's Handbook of Polyurethanes, Second Edition. CRC Press, Taylor & Francis Group (ISBN: 978-1-4398-6313-8)
- [4] Akindoyo, J. O., Beg, M. D. H., Ghazali, S., Islam, M. R., Jeyaratnam, N., & Yuvaraj, A. R. (2016). Polyurethane types, synthesis and applications-a review. *RSC Advances*, 6(115), 114453–114482. <https://doi.org/10.1039/c6ra14525f>
- [5] Ionescu, M. (2007). Chemistry and technology of polyols for polyurethanes. In *Rapra Technology* (Vol. 56, Issue 6). <https://doi.org/10.1002/pi.2159>
- [6] Farkas Ferenc (2004): Poliuretánok. KémSzám Bt., Budapest (ISBN: 963 216 840 2)
- [7] Ulrich, H. (2001). Polyurethanes. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. doi:10.1002/0471440264.pst295
- [8] Oppon, C., Hackney, P. M., Shyha, I., & Birkett, M. (2015). Effect of Varying Mixing Ratios and Pre-Heat Temperature on the Mechanical Properties of Polyurethane (PU) Foam. *Procedia Engineering*, 132, 701–708. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.550>
- [9] Sonnenschein, Mark F. Polyurethanes : Science, Technology, Markets, and Trends / Mark F. Sonnenschein, PhD, the Dow Chemical Company, Midland, Michigan, USA (ISBN 978-1-118-73783-5)
- [10] Roux, J. (2016). Getting to understand moulded polyurethane foam for automotive seating, Euro Moulders, Brussels, Belgium
- [11] Wada, H., Toyota, Y., Horie, A., Sasaki, T., Suzuki, C., & Fukuda, H. (2008). Automotive seating foams with excellent riding comfort prepared by a novel polypropylene glycol. *Polymer Journal*, 40(9), 842–845. <https://doi.org/10.1295/polymj.PJ2008098>
- [12] Hennecke GmbH (2013). *Topline hk* (Issue c).– V1.3
- [13] Hennecke GmbH (2015). *MT Mixing heads* (Issue c).
- [14] Fiorentini, C., Pertusella, C., Corti, M., & Pertusella, C. (2012). Self-cleaning High-Pressure Mixing Apparatus For Composite Material (Patent No. US 2012/0300574 A1).
- [15] Corti, M., Colombo M. (n.d.). *Injectors for Pressure Control in PUR Mixing*.

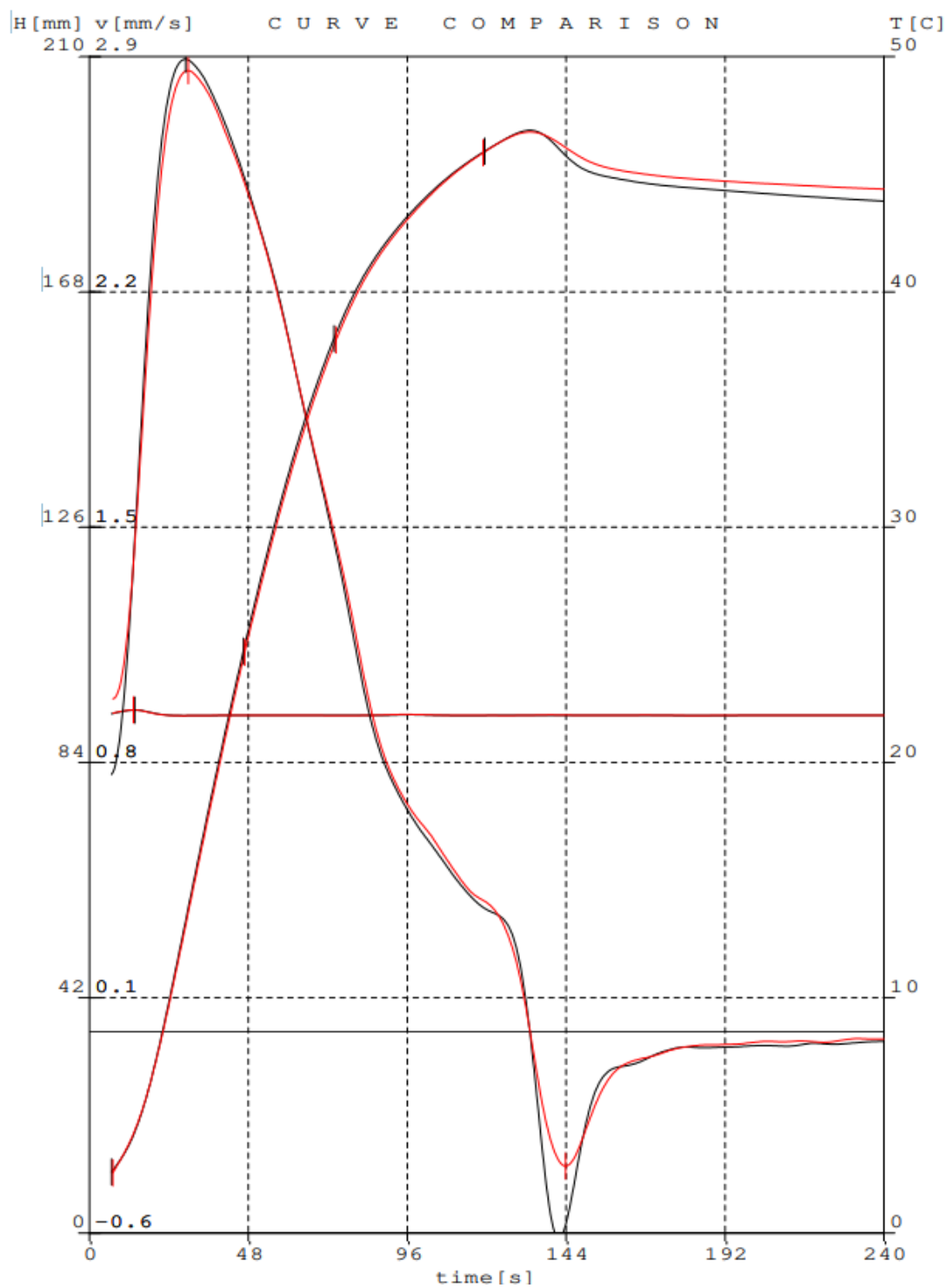
- [16] Mythilee, K. N. M., & Manikandaprabhu, M. N. K. (2019). A Study on Bernoulli ' s Equation & Its Application in Fluid Mechanics A Study on Bernoulli ' s Equation & Its Application in Fluid Mechanics. February, 10–13.
- [17] Kolodziej, P., Macosko, C. W., & Ranz, W. E. (1982). The influence of impingement mixing on striation thickness distribution and properties in fast polyurethane polymerization. *Polymer Engineering & Science*, 22(6), 388–392. <https://doi.org/10.1002/pen.760220611>
- [18] Hennecke GmbH (2013). *Technical Description of Balanced Pressure Injectors* (Issue c). https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5565-0_3
- [19] Robotics, ABB (2007). Product manual - IRB 6640.
- [20] Product specification RobotStudio. (1993). *Building Research & Information*, 21(1), 21–22. <https://doi.org/10.1080/09613219308727250>
- [21] Abreu, P., Barbosa, M. R., & Lopes, A. M. (2014). Virtual experiment for teaching robot programming. *Proceedings of 2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2014*, February, 395–396. <https://doi.org/10.1109/REV.2014.6784199>
- [22] Pan, Z., Polden, J., Larkin, N., Van Duin, S., & Norrish, J. (2012). Recent progress on programming methods for industrial robots. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28(2), 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2011.08.004>
- [23] Wanhua Borsodchem Zrt. (2014): Ongronat TR 4040, Technical Datasheet (Issue 02)
- [24] Özdemir, I. B., Akar, F. (2018). 3D simulation of polyurethane foam injection and reacting mold flow in a complex geometry. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 54(5), 1281–1288. <https://doi.org/10.1007/s00231-017-2232-z>
- [25] Ishikawa K, Loftus JH, (1990): *Introduction to quality control* Tokyo, Japan: 3A Corporation
- [26] Luca, L., Pasare, M., Ph, L., Stancioiu, A., & Brancu, C. (2017). Study To Determine a New Model of the Ishikawa Diagram for Quality Improvement. *Rliability and Durability*, 1(1), 249–254.
- [27] Samarappuli, I. P., & Liyanage, N. M. V. K. (2018). Evaluation of the suitability of 1, 4-dimethylpiperazine as a substitute catalyst in polyurethane foam production. *MERCon 2018 - 4th International Multidisciplinary Moratuwa Engineering Research Conference*, 282–287. <https://doi.org/10.1109/MERCon.2018.8421986>
- [28] Schmitt, R. (2003). Testing equipment. *Elevator World*, 51(6). <https://doi.org/10.1108/eb042764>

- [29] Hennecke GmbH (2019) Layout_A0100-60697 pdf.
- [30] Hennecke GmbH (2017). Tips and Tricks
- [31] Pérez-Tamarit, S., Solórzano, E., Hilger, A., Manke, I., & Rodríguez-Pérez, M. A. (2018). Multi-scale tomographic analysis of polymeric foams: A detailed study of the cellular structure. *European Polymer Journal*, 109, 169–178. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2018.09.047>
- [32] Patterson, B. M., Henderson, K., Gilbertson, R. D., Tornga, S., Cordes, N. L., Chavez, M. E., & Smith, Z. (2014). Morphological and performance measures of polyurethane foams using X-ray CT and mechanical testing. *Microscopy and Microanalysis*, 20(4), 1284–1293. <https://doi.org/10.1017/S1431927614000993>
- [33] Adrien, J., Maire, E., Gimenez, N., & Sauvantomoynot, V. (2007). Experimental study of the compression behaviour of syntactic foams by in situ X-ray tomography. *Acta Materialia*, 55(5), 1667–1679. doi:10.1016/j.actamat.2006.10.027
- [34] Repsol Química, S.A, Technical Service & Development (2018): Polyether Polyols catalogue, Madrid, Spain
- [35] Scarfato, P., Di Maio, L., & Incarnato, L. (2017). Structure and physical-mechanical properties related to comfort of flexible polyurethane foams for mattress and effects of artificial weathering. *Composites Part B: Engineering*, 109, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.10.041>
- [36] Broos, R., Herrington, R. M., & Casati, F. M. (2000). Endurance of polyurethane automotive seating foams under varying temperature and humidity conditions. In *Cellular Polymers* (Vol. 19, Issue 3, pp. 169–204). <https://doi.org/10.1177/0021955x0003600303>
- [37] Wang, H., Li, T.-T., Wu, L., Lou, C.-W., & Lin, J.-H. (2018). Multifunctional, Polyurethane-Based Foam Composites Reinforced by a Fabric Structure: Preparation, Mechanical, Acoustic, and EMI Shielding Properties. *Materials*, 11(11), 2085. doi:10.3390/ma11112085
- [38] Sonnenschein, M., Wendt, B. L., Schrock, A. K., Sonney, J. M., & Ryan, A. J. (2008). The relationship between polyurethane foam microstructure and foam aging. *Polymer*, 49(4), 934–942. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2008.01.008>
- [39] American Society for Testing and Materials – ASTM D3574-11 Standard (2013): Standard Test Methods for Flexible Cellular Materials — Slab, Bonded, and Molded Urethane Foams, 1–29.

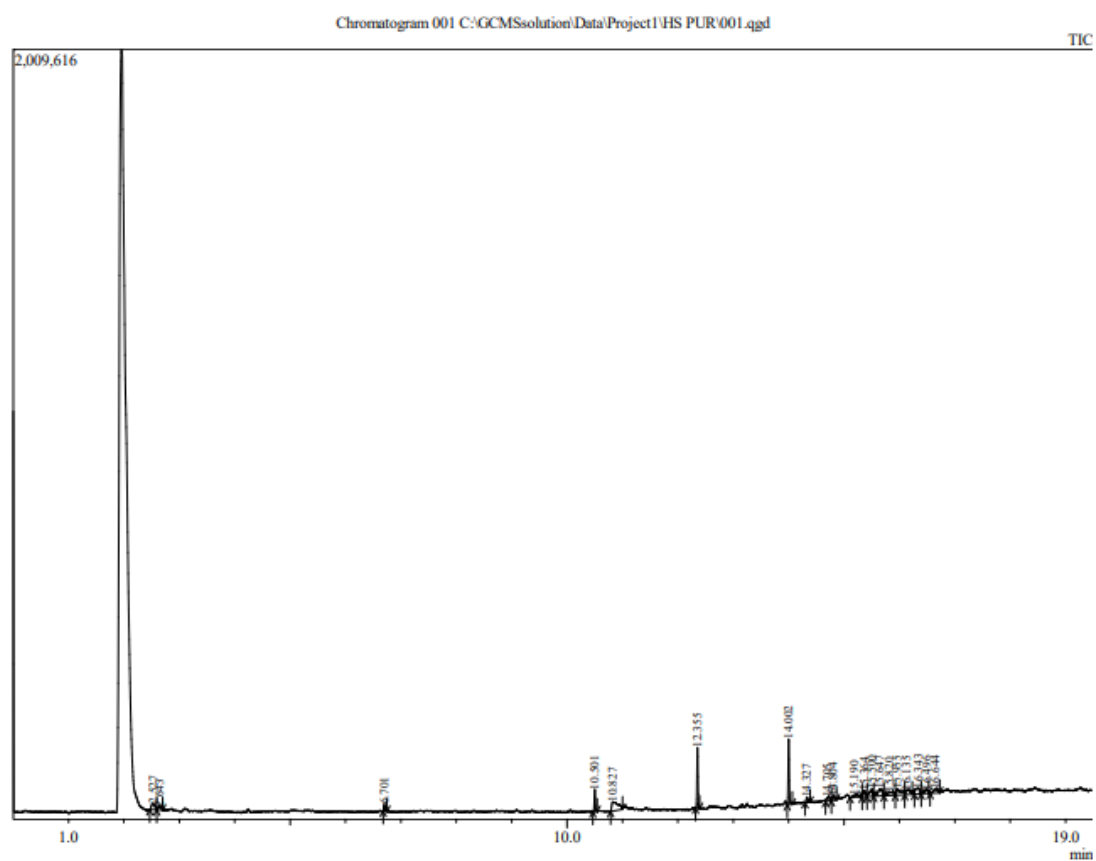
- [40] VDA 277. (1995) Thermal desorption analysis of volatile organic compounds emissions for the characterization of nonmetallic automobile interior materials. Berlin, Germany: German Association of the Automotive Industry Recommendation,
- [41] Shimadzu. (2010). *SCA-180-019 VDA 277: Analysis of Volatile Contaminants from Polymers. Figure 2*, 19–21.
- [42] Yang, T., Zhang, P., & Xiong, J. (2018). Association between the emissions of volatile organic compounds from vehicular cabin materials and temperature: Correlation and exposure analysis. *Indoor and Built Environment*, 1420326X1876111. doi:10.1177/1420326x18761114
- [43] VDA 278. (2011) Thermodesorption analysis of volatile organic compounds emissions for the characterization of non– metallic automobile interior materials. Berlin, Germany: German Association of the Automotive Industry Recommendation,
- [44] Shimadzu. (n.d.). *Analysis of VOC and FOG emissions from moulded components for automobiles according to VDA 278*. 278–280.

Mellékletek

1. számú melléklet: FOAMAT 285 habminősítő berendezés által felvett görbe (Ongropur FFP-303):



2. számú melléklet: A 20.10.19/001 minta VOC mérésnek eredménye (VDA 277)



4. számú melléklet: A 20.10.22/004_K minta VOC mérésének eredménye (VDA 277)

