



**SZENT ISTVÁN
EGYETEM**



GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR, GÖDÖLLŐ

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

POLIAMID TULAJDONSÁGAI DINAMIKUS SZILÁRDSÁGI VIZSGÁLATOK ALAPJÁN

Készítette: **Odrobina Miklós**
IV. évf. hallgató

Témavezetők: **Dr. Szakál Zoltán**
egyetemi adjunktus

Prof. Dr. Kalácska Gábor
egyetemi tanár
intézetigazgató

Sárosi Gyula
vegyésszmérnök
Quattroplast Kft.



Gödöllő

2014

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, célkitűzés.....	4
1.1. Célkitűzés	5
2. Szakirodalmi áttekintés	6
2.1. Polimer	6
2.1.1. Műanyag története.....	8
2.1.2. Polimerek előállítása	8
2.1.3. Műszaki műanyagok	9
2.2. Alapanyag.....	11
2.2.1. Poliamidok (PA).....	11
2.2.2. Öntött PA6 alapmátrix	12
2.3. Szívósság, Ütésállóság	13
2.3.1. Töltő – és erősítő anyagok hatása az ütésállóságra	15
2.4. Anyagvizsgálat	16
2.4.1. Roncsolásos anyagvizsgálati módszerek.....	17
2.4.2. Mechanikai vizsgálatok.....	18
2.4.3. Dinamikus szilárdsági vizsgálatok	18
2.4.4. Charpy ütésvizsgálat.....	19
2.4.5. Ütve húzó szilárdság meghatározása.....	22
2.5. Optikai feszültségvizsgálat.....	25
3. Anyag és Vizsgálati módszerek	26
3.1. Irányelvek.....	26
3.2. Próbatetek kialakítása	26
3.2.1. A minták helyzete a rúd belsejében.....	26
3.2.2. Próbatetek mérete	28
3.2.3. Próbatetek kialakítása	30
3.2.4. Próbatetek tárolása.....	32
3.2.5. Próbatetek jelölési rendszere	32
3.2.6. Próbatetek bemetszése	33
3.3. Előkísérletek.....	34
4. Mérés	35
4.1. Charpy-féle mérési eljárás.....	36

4.2. Ütve szakító mérési eljárás.....	37
4.2.1. Megjegyzés.....	38
4.3. Optikai feszültségvizsgálat.....	39
5. Eredmények.....	41
5.1. Charpy ütővizsgálat eredményei	41
5.2. Ütve szakítás eredményei.....	45
5.3. Optikai feszültségvizsgálat eredményei	50
6. Következtetések	54
7. Összefoglalás.....	56
Irodalomjegyzék.....	57

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A műanyagipar egyre szélesedő kínálatának köszönhetően ma már nem csak alárendelt helyeken alkalmazzák a műanyagokat, mint például csomagolóanyagként, hanem teherviselő gépelemként is.

Az leggyakrabban alkalmazott műszaki műanyagok egyik csoportját a poliamidok alkotják, amely szinte az egyik legrégebbi, de folyamatosan továbbfejlesztett műanyagok közé tartozik. Ezek közül is a legtöbbet alkalmazott fajta a poliamid 6 (PA6), amely jó mechanikai (keménység, szívósság, szilárdság) és tribológiai (kopásállóság, csúszás és siklási) tulajdonságok mellett igen jól adagolható különféle töltőanyagokkal. A mérnöki gyakorlatban többek között csapágyperselyekként, fogaskerekeként, kopó lécekként és görgőkként használják.

Korábban lezajlott magyarországi kutató munka során kifejlesztették a magnézium katalizálású PA6 félterméket. Az eljárás előnye a már ismert nátrium katalizálású termékekkel szemben az, hogy homogénebb a szerkezete, nagyobb a kristályosodási foka, kisebb a visszamaradó monomer tartalma. Az abrázációs kopásállósága is jobb, és az ütőmunka értéke is magasabb [1].

A műszaki gyakorlatban való alkalmazáshoz szükség van pontos mérési adatokra. Az alkalmazott anyagok jellemzőinek számszerűsítésére különböző vizsgálatokat használnak, mint például az ütőmunka értékének meghatározása dinamikus szilárdsági vizsgálatokkal történik. Az egyik gyakran alkalmazott mérési módszer ezek közül a Charpy-féle ütővizsgálat. Az olyan szívós anyagoknál, amelyek nem törnek el, azokra az úgynevezett ütve szakító vizsgálatot szokták alkalmazni.

1.1. Célkitűzés

A kutatásom célja a magnézium katalizálású, natúr öntött poliamid 6 féltermékek fajlagos ütőmunkájának vizsgálata különböző átmérők esetén.

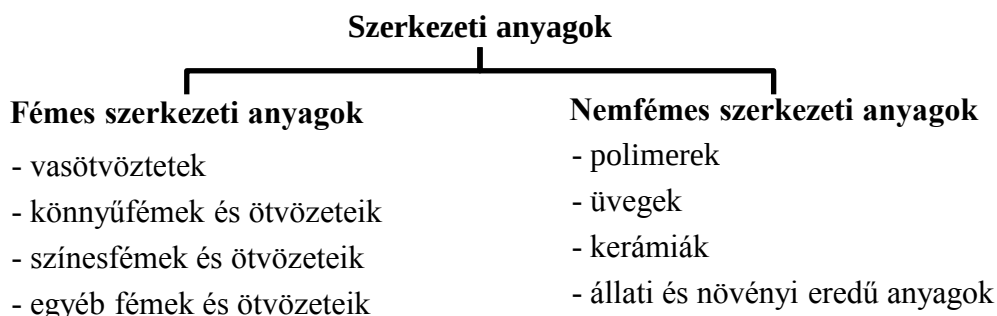
- Többféle mérési módszerrel szeretném megvizsgálni van-e eltérés az ugyanolyan technológiával gyártott különböző átmérőjű alapanyagok ütőmunkája között.
- A munkám során külön figyelmet fordítok az egy rúdon belüli homogenitás vizsgálatára. A gyártott félkész termékeket a hosszuk mentén zónákra osztva vizsgálom, a mechanikai tulajdonságaik alapján.
- A mérésem eredményeiből következtetést szeretnék levonni a vizsgált anyagok homogenitására, és szilárdsági mutatóira vonatkozóan.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A dolgozatomban bemutatom a műanyagokat általánosságban, valamint a polimerek történetét. Áttekintést adok az általam vizsgált műszaki műanyagról, és annak rövid történetéről. Ismertetem a munkám során felhasznált dinamikus szilárdsági, és optikai feszültség vizsgálatokat.

2.1. Polimer

Az egyik gyakran alkalmazott csoportosítás, amely a fémes és nemfémes szerkezeti anyagok csoportosítását alakítja ki (2.1. ábra) [2].



2.1. ábra. Szerkezeti anyagok csoportosítása (Pék, 2000)

Szerkezeti anyagoknak tekintjük azon anyagokat, amelyeket a gépelemek, gépszerkezetek gyártásához használnak fel [1]. A nemfémes szerkezeti anyagok csoportjába tartoznak a polimerek. A polimerek a legszűkebb értelmezés szerint a szerves kémia olyan hosszúláncú vegyületei, amelyben tipikusan sok ezer elemi építőegység: a monomer kötődik egymáshoz elsődleges kémiai kötéssel [2].

A műanyagokat, mint szerkezeti anyagokat az utóbbi évszázadban gyakorlatilag minden területen sikerrel alkalmazták. A világtermelés 2004-ben 225 millió tonnát tett ki, a növekedési ütem ma is 5% évente. A kilencvenes évek óta a műanyagok világtermelése térfogatra számítva már nagyobb, mint az acélé. Ennek az imponáló növekedésnek két fő oka van: egyrészt a különböző műanyagok változatos tulajdonság együttesének köszönhetően rendkívül széles alkalmazástechnikai területek igényeit tudják kielégíteni, másrészt segítségükkel a feldolgozás során a költségeket lényegesen csökkentő integráltság érhető el.

Ismert, hogy a műanyagokat három csoportba sorolják a feldolgozás, az alakadás során lejátszódó folyamatok szerint.

A legnagyobb mennyiséget a hőre lágyulók (termoplasztok) képviselik, amelyeknél a feldolgozás során csak fizikai folyamat (halmazállapot változás) játszódik le. A gumyszerű rugalmas tulajdonságokkal rendelkező elasztomerek és a hőre nem lágyuló duroplasztok feldolgozása során kémiai reakció (térhálósodás) megy végbe [4].

A polimereket két fő csoportba soroljuk, az egyik a természetes eredetű polimerek - pl. a fát felépítő cellulóz -, a másik a mesterséges eredetű polimerek. Dolgozatomban mesterséges eredetű polimert vizsgállok, amelyet kőolajból állítanak elő gazdasági okok miatt, de a tudomány mai állása szerint alkoholból is előállítható. A műanyagok polimerből és adalékanyagból állnak, melyek 1950-es évek után terjedtek el rohamosan, és ez a fokozott terjedés még most is tart.

Az egyes műanyagokat egyre többször társítják másik műanyagokkal. Ennek megfelelően kialakultak azok a csoportok, melyekbe besorolhatóak ezek a speciális műanyagok [5].

- Ko-polimer: a főláncban egynél több monomer van, például sztirol-akrilnitril (SAN)– ahol a sztirol és az akrilnitril monomere van a főláncban.

- Blend vagy polimer keverék: két különböző polimerből álló rendszer, például a polivinilkloridba (PVC) kevert nitrilkaucsuk (NBR), mely javítja az ütésállóságot. A blendéken belül megkülönböztetünk kompatibilis és inkompatibilis keverékeket. Inkompatibilis két műanyag, ha ömledék állapotban összekeverve lehűlés után fáziselválást, szétkeveredést tapasztalunk. Kompatibilis a két műanyag, ha hűlés után homogén keveréket, azaz egy fázist alkotnak, ami megmutatkozik abban is, hogy egy átalakulási hőmérséklete van.

- Ötvözet: kompatibilizáció útján létrehozott, célszerűen módosított határfelületekkel összeépített (eredeti állapotukban inkompatibilis) műanyag keverék [1].

- Kompozit: többfázisú összetett anyagok, melyek erősítő anyagból és azt befoglaló anyagból (mátrixból) állnak. A kompozitokra jellemző, hogy a nagy szilárdságú és rugalmassági modulusú erősítőanyag és az általában kisebb szilárdságú, de szívós mátrix között kitűnő adhéziós kapcsolat van, még nagy igénybevétel esetén is. A felhasználható erősítőanyagokra jellemző, hogy az átmérőjük sokkal kisebb, mint a hosszuk (szál típusú erősítőanyagok), vagy a sugaruk sokkal nagyobbak, mint a vastagságuk (lemezes szerkezetű erősítőanyagok). A kompozit fogalmán érthetünk egy nagyobb halmazt is, miszerint ha az alapmátrixhoz valamilyen anyagot társítunk, akkor már kompozitról beszélünk. A dolgozatomban a kompozit fogalmán a következőt értem: alapanyagból (alpmátrix) és az abba beágyazódó töltő-adalékból vagy erősítő anyagból álló rendszert [5].

2.1.1. Műanyag története

A természetes kaucsukfa nedvéből készíthető gumit Közép-Amerika őslakossága már több mint ötszáz évvel ezelőtt is felhasználta. A gumi alapanyagot 1740 körül hozták át Európába, amiből már 1768-ban tekercselt gumitömlőt gyártottak. A gumitechnológiák gépi hátterének megszületése ezután a 19. századtól felgyorsult:

- 1818-ban Mc Phearson szabadalmaztatta a csavarprést,
- 1820-tól fogazott hengerek között „masztikálták”, gyúrták a gumikeveréket,
- 1833-ban Charles Goodyear kidolgozta a vulkanizációt, a gumi térhálósításának technológiáját,
- 1836-tól Edwin Chaffee gőzzel fűtött hengerszékét,
- 1845-ben elindult a nagyipari sajtolási technológia és ugyanebben az évben,
- 1845-ben kifejlesztették az első dugattyús (még nem a csigás) extrudert is.
- 1872-ben Hyatt fivérek (Isaiah és John) szabadalmaztatták a fröccsöntőgép őseit
- 1879-ben Matthew Gray szabadalmaztatta a csigás extrudert

Herman Staudinger első elméleti munkái az óriásmolekulákról 1924-ben jelentek meg. Elmélete miszerint a műanyagok primer kötésekkel kötött láncpolimerek.

A makromolekuláris kémia és fizika alapösszefüggéseinek tisztázása, a polimer anyagszerkezettan kibontakozása 1930 után egyre gyorsuló ütemben vezetett újabb és újabb szintetikus polimerek születéséhez. Alig egy évtized leforgása alatt megszületett a PVC, a polisztirol, a polietilén, a műkaucsuk nagyüzemi technológiája. [5]

2.1.2. Polimerek előállítása

A hagyományos primer műanyaggyártásban a kőolaj és a földgáz a legfontosabb alapanyag. A kőolajat finomítása során desztillációval sokféle frakcióra választják szét. A műanyaggyártás szempontjából legfontosabb frakció a könnyűbenzin (nafta), amit krakkolással különböző gázmolekulákra, pl. etilénre (C_2H_4), propilénre (C_3H_6), butilénre (C_4H_8) és más szénhidrogénre bontanak. A földgáz, és a szénből előállított városigáz szintén krakkolható különböző szénhidrogén molekula előállítására érdekében. Az így létrehozott szénhidrogén gáz molekulák (monomerek) kémiai folyamattal hosszú láncú makromolekulákká egyesíthetők, és ezáltal különféle polimerek, pl. polietilén (PE), polipropilén (PP), polibutilén (PB) stb. hozhatók létre. Az előállított primer polimerek por, részecske, granulátum, reaktív eljárással féltermék vagy alakos előgyártmány, késztermék formájában vásárolhatóak meg.

Többféle előállítási folyamatot különböztetünk meg:

- a, Polimerizáció:

Általában katalizátor jelenlétében lejátszódó kémiai reakció, a kettős kötéssel rendelkező azonos vagy különböző monomerek kapcsolódnak össze hosszú makromolekulává. A folyamatnak nincs mellékterméke. Polimerizációval készül pl. a polisztirol (PS), a PVC, az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS).

- b, Polikondenzáció:

Ebben a folyamatban az azonos vagy különböző alapegységek – mindegyik legalább 2 aktív gyökkel – lépnek reakcióba, miközben kis molekula tömeg melléktermékek: pl. víz, alkohol, sósav, keletkeznek. A poliamid 66 molekulái, a fenol-formaldehid (PF), és a lineáris poliészterek (PET, PBT) is polikondenzációval keletkeznek.

- c, Poliaddíció:

Azonos vagy különböző monomerek – mindegyik legalább 2 aktív végcsoporttal rendelkezik – kémiai reakciója, amelyben melléktermék nem keletkezik. Poliaddícióval készül a poliuretán (PUR) [3].

2.1.3. Műszaki műanyagok

A „műszaki műanyag” kifejezést igen elterjedten használják, és többféleképpen definiálják.

Az egyik leggyakoribb értelmezés illetve megfogalmazás a következő:

A műszaki műanyagok olyan polimerek, amelyek széles hőmérsékleti tartományban kitűnő mechanikai tulajdonságokkal (statikus és kifáradási szilárdság, kúszásállóság, ütésállóság, kopásállóság) rendelkeznek. Kiváló mechanikai jellemzőik mellett jó a kémiai ellenálló képességük, főleg az elektromos szigetelő képességük. Ezért sok konstrukcióban szerkezeti anyagként használhatók, gyakran előnyösebbek a fémeknél.

Általánosságban igaz, hogy a polimerek még nem helyettesíthetik közvetlenül a fémeket, de sok területen jelentősen előnyösebbek lehetnek azoknál. Ilyen előnyök lehetnek például:

- alacsony sűrűség és nagy fajlagos szilárdság
- korrozioállóság, vegyszerállóság,
- kiváló hő és villamos áram szigetelő képesség,
- nagy tervezési rugalmasság (több különböző fém funkciója egyesíthető egyetlen polimerben),
- alakos késztermék könnyen gyártható pl. fröccsöntéssel,
- korlátlan színezési lehetőség, másodlagos felületkezelés (festés, lakkozás) nem szükséges,
- az energiaköltségek csökkenthetők (pl. gyártási).

A polimereknek, és főleg a nem szálerősítésű hőre lágyuló polimereknek az alábbi hátrányaival számolni kell:

- viszonylag kis hőállóság,
- mérsékelt kúszásállóság és fajlagos merevség
- a hőmérséklet jelentősen befolyásolja a mechanikai tulajdonságokat,
- gyúlékonyság [3].

2.2. Alapanyag

Ebben a részben ismertetem az anyagvizsgálat során használt alapanyagot. Áttekintem a poliamidok történetét, jövőjét.

2.2.1. Poliamidok (PA)

A poliamidok műszaki műanyagként elsősorban az autó- és a villamosiparban, az elektronikai alkalmazásokban jelentősek, de nem elhanyagolható a szerepük a csomagolótechnikában és a műszálgártásban. Ebből kifolyólag kimondható, hogy az egyik legfontosabb és legelterjedtebb műszaki műanyag csoportot alkotják. Ennek okán stratégia anyagoknak tekintik a műszaki életben.

Több fajtáját dolgozták ki, ezek eltérő monomerekből épülnek fel, de közös bennük az „amid” kötés. A poliamidoknak a következő főbb típusaik vannak:

- Poliamid 6: 1938 körül Németországban kaprolaktámból fejlesztették ki.
Molekula szerkezete: $[-\text{NH}-(\text{CH}_2)_5-\text{CO}-]_n$
- Poliamid 66: 1935 körül dolgozták ki az USA-ban, az adipinsav és a hexametilén-diamin felhasználásával: $[-\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-\text{CO}-(\text{CH}_2)_4\text{CO}-]_n$
- Poliamid 11: Franciaországban fejlesztették ki az amino-undekán-sav felhasználásával: $[-\text{NH}-(\text{CH}_2)_{10}-\text{CO}-]_n$
- Poliamid 12: Németországban dolgozták ki, a lauril-laktám alapon:
 $[-\text{HN}-(\text{CH}_2)_{11}-\text{CO}-]_n$

A poliamidok tulajdonságát a következő tényezők határozzák meg: a metilén és amid csoport aránya (CH_2/CONH) és helyzete a molekula alapszerkezetben, a kristályosodási fok, és a kristály morfológia (alak).

Amikor a CH_2/CONH arány csökken: növekszik a ridegség és a keménység, csökken a szívósság, magasabb az olvadáspont (folyási hőmérséklet), növekszik a kopásállóság, csökken a hőtágulás, növekszik a vízfelvétel, kisebb a vegyszerálló képesség. Általánosságban igaz, hogy gépészeti szempontból jól használható anyagcsoport a poliamid, amely kedvező mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik:

- nagy mechanikai szilárdság, merevség, keménység és szívósság,
- nagy kifáradási szilárdság,
- jó mechanikai csillapító képesség,
- jó csúszási, siklási tulajdonságok,
- nagy kopásállóság [3].

További előny, hogy a poláros kémiai szerkezetük révén jól adalékolhatóak mind ásványi, mind szerves anyagokkal. Hátránya, hogy valamennyi típusa higroszkópos, vagyis nedvességet vesz fel a környezetből, ami kritikus lehet, hiszen a mechanikai tulajdonságok megváltoztatásán túl méretváltozással és egyéb tulajdonságok megváltoztatásával is jár [6]. Tervezés során ezért az egyik fontos szempont, hogy az üzemi körülmények közötti egyensúlyi állapottal számoljunk a tervezések során. A polimerben megkötött víz úgy viselkedik, mint egy lágyító, amely hatással van pl. a szilárdságra, a merevségre, a szívósságra. A víztartalom rontja az anyag elektromos tulajdonságait. Mivel a metilén csoportok nem játszanak szerepet a vízfelvételben, ezért a PA 11-nek 1,9% a vízfelvétele, míg PA6 esetében ez elérheti a 9%-ot is. A jövőben a fejlesztések iránya a következő. Az egyik fő megoldandó probléma a poliamidok higroszkóposságának csökkentése a nagyobb méretállóság érdekében, a másik fontos cél az éghetőség csökkentése [1].

2.2.2. Öntött PA6 alapmátrix

A PA6 olyan műszaki műanyag, amelynek jó mechanikai és tribológia tulajdonságai vannak, és már elterjedten használják a műszaki élet több területén is.

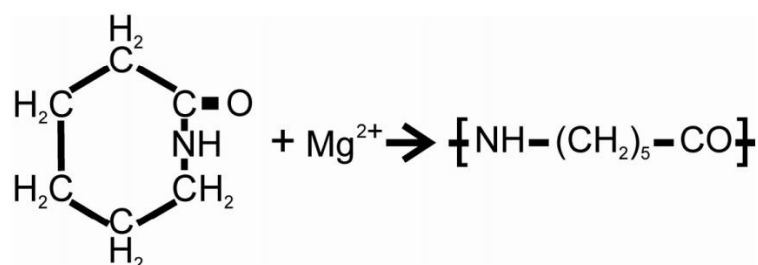
A választott kompozit alapanyag a magnézium katalizálású öntött PA6, amelyet a Quattroplast Kft. gyárt DOCAMID 6G-H néven. Az öntött poliamidok közül speciális katalizálású gyártási folyamatnak köszönhetően kitűnik egyenletes anyagszerkezetével, szívósságával. Az extrudált tiszta PA 6 anyagokhoz képest nagyobb szilárdsággal, mérettartósággal és kopásállósággal rendelkezik.

A termék alapanyaga kaprolaktám ($C_6H_{11}NO$), amely kereskedelmi forgalomban kapható. Németországban 1938 körül készítettek először kaprolaktámból PA6-ot. A polikondenzációs folyamat során víz keletkezik melléktermékként. Ezt a gyártástechnológiát már Magyarországon is ismerték az ötvenes években Nátrium katalizálású PA6-ot csak később állítottak elő, ráadásul nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, mert szálgyártásra alkalmatlan volt. Magnézium katalizálású PA6 gyártástechnológiáját magyar kutatók dolgozták ki az 1990-es években.

Annak ellenére, hogy a nátrium katalizálású PA6 alkalmatlan a szálgyártásra, azonban öntött tömbök gyártására alkalmas. A magnézium katalizátor használata a szálgyártás problémáját nem oldotta meg, csupán módosított az öntött PA6 tömbök tulajdonságain.

A Quattroplast Kft. világviszonylatban egyedülálló gyártástechnológiával magnézium katalizálású öntött PA6-ot állít elő, kihasználva azt az előnyt, hogy az ilyen jellegű katalizátoros eljárásoknál a gyűrűfelnyílasos polimerizáció vízmentes közegben percek alatt végbemegy.

A folyamat lényege, hogy magnézium jelenlétében a kaprolaktám gyűrűk képesek felnyílni, így létrehozva a PA6 monomerjét. A folyamat során melléktermék nem keletkezik, tehát nem polikondenzációval alakulnak ki a láncok hanem anionos gyűrűfelnyílasos polimerizációval. A PA6 előállításának elve az 2.2. ábrán látható.



Kaprolaktám + magnézium ion $\rightarrow$ PA6 monomer

2.2. ábra. Kaprolaktám gyűrűjének felnyílása (Andó, 2010)

Az öntési technológiából (főleg a katalizátor tartalomából) következik, hogy a kész anyag molekulatömege 25000 g/mol-nál nem lehet nagyobb, illetve monomer tartalom csak 1% körüli. A molekulatömeg eloszlása 0-tól 20000 g/mol-ig enyhén növekszik, majd hirtelen emelkedik, és 0-ra csökken 25000 g/mol felett. A kristályossági fok 60-70% között van.[1]

2.3. Szívósság, Ütésállóság

A szívósság fogalomköre a polimereknél sokkal komplexebb, mint a szilárdság. Szívós az a polimer, amely erő hatására maradó deformációt szenved el, mielőtt eltörik. Ezzel szemben rideg az az anyag, amely deformáció nélkül törik. A fogalomkörön belül a gyakorlat szempontjából legfontosabb mutató az ütésállóság, amellyel a polimereknek az ütésszerű mechanikai igénybevétel hatására bekövetkező viselkedését jellemzik. A deformáció sebesség ezeknél a vizsgálatoknál nagyobb, mint 0,5 m/s.

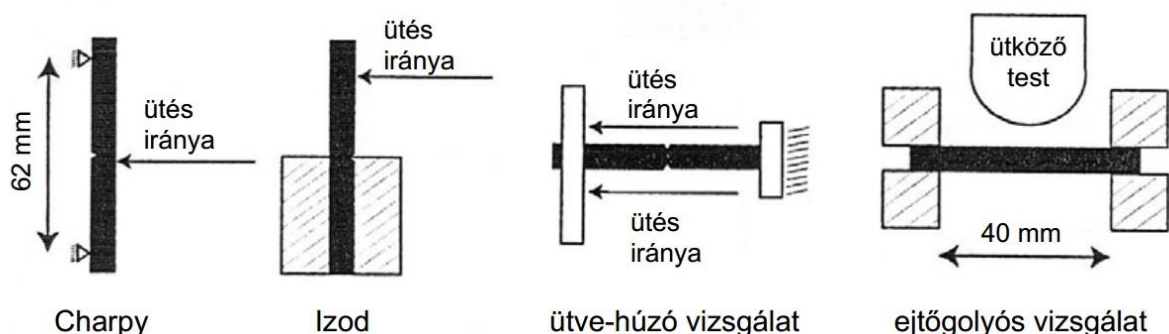
Mivel az ütésállóságra a vizsgált test geometriája is nagy hatással van, az ütésállóságra megadott értékek csak a vizsgálati módszer ismeretében értékelhetők.

Az alapanyag kiválasztásánál ezért az anyagokat azonos módszerrel kell összehasonlítani. Az ütésállóság vizsgálatára elfogadott két különböző módszert két nemzetközi szabvány írja le: az ISO 179 és az ISO 180.

Az ISO 179 az ún. Charpy vizsgálatot tartalmazza, amely szerint 80 mm hosszú, 4x10 mm keresztmetszetű próbatestet vizsgálnak 62 mm megtámasztással. A próbatestet lengő kalapáccsal kell megütni, és a test által felvett energiát a becsapódási energia és az átütés utáni energia különbségéből kell kiszámítani. Az ütésállóság jellemzésére a vizsgálati felületre vonatkoztatott ütőmunkát használják (kJ/m^2). A hornyolt próbatesten végzett ütésállóság-vizsgálatkor 2 mm mély, 0,25 mm-es hornyot vágnak a próbatestbe. Az ütést a nem hornyolt oldalra mérik.

Az ún. Izod vizsgálatnál (ISO 180) a próbatestet csak egyik végén rögzítik. A horony a befogástól indul az ütés oldalán. Ennél a vizsgálatnál is a törést előidéző munka adja az ütésállóságot. A gyakorlathoz közeli vizsgálat az ún. ejtőgolyós ütésállósági vizsgálat, amelyet az ISO 6603-2 ír le. Az erőt itt egy félgömb formájú polírozott ütközőtest fejtí ki, amely nagy sebességgel ütközik a 2 mm vastag 60 mm átmérőjű próbalemezre. Ezt a próbatestet 40 mm átmérőjű kör alakú befogóval rögzítik. A legegyszerűbb vizsgálati eljárás szerint több próbatest vizsgálatával megállapítják azt az ütőmunkát, amelynél a próbatestek 50%-a törik vagy reped az ütközés következtében. A vizsgálatokból számítással további jellemzők, a károsodás nélkül elviselt legnagyobb erő, az ehhez tartozó deformáció és az átlukasztási energia is meghatározhatók.

Azokra az anyagokra, amelyek nem törnek a vizsgálat során, az ütve-húzó szilárdság vizsgálata ad felvilágosítást. Ennek szabványa az ISO 8256. Ennél a vizsgálatnál a mindkét oldalán hornyolt próbatestet egy oldalon fogják be. A másik végén egy keresztfej van. Erre üt egy osztott lengő kalapács, előidézve ezzel egy nagy sebességű húzást. Itt is a keresztmetszetre vonatkoztatott ütőmunka adja az ütésállóságot. Az ütésállósági vizsgálati módszerek sematikusán a 2.3. ábrán láthatók.



2.3. ábra. Különböző igénybevételek az ütésállósági vizsgálatoknál (dr. Máthé, 2007)

A szívósság jellemzésére leggyakrabban használt hornyolt próbatesten mért ütésállósági érték a polimereknél 1–130 kJ/m^2 között lehet.

Az értéket általában megadják normál szobahőmérsékletre és alacsony hőmérsékletre (–30 °C) is. Amennyiben a polimer szerkezetében az amorf tartományok nem képesek elegendő energiát átvenni a merevebb krisztallitoktól, adalékokkal lehet és gyakran kell is az energiaelnyelést növelni, hogy ne következzen be a rideg törés. Erre a célra leggyakrabban elasztomereket használnak. A módosítás hatására az ütésállóság a polimer típusától és az egyéb adalékoktól függően többszörösére nő. Néhány műszaki műanyag Charpy ütésállósági értékei – bemetszett próbatesteken – a 2.1. táblázatban láthatók. [4]

2.1. táblázat

Műszaki műanyagok ütésállósága (Charpy szerint bemetszett próbatesteken mérve)

Polimer fajtái	Ütésállóság, kJ/m ²	
	+23 °C	-30 °C
DOCAMID 6G H	12	-
Crastin PBT	4	4
Crastin PBT ütésálló	85	13
Delrin POM	8-15	6-10
Delrin POM ütésálló	max. 100	max. 20
Rynite PET	9-12	8-12
Rynite PET ütésálló	11	8
Zytel PA 6 száraz	4-5	2-3,5
Zytel PA 6 ütésálló száraz	14	9
Zytel PA 66 száraz	4-5	3-4
Zytel PA 66 ütésálló száraz	12-65	8-20
Zytel Plus 90G30	11	-
Zytel Plus 95G35	14	-
Zytel Plus 95G50	16	-
ABS	20	2
ASA	18	7
PC	30	-
Ütésálló PC	35-45	25-35

2.3.1. Töltő – és erősítő anyagok hatása az ütésállóságra

Az erősítő anyagok olyan szervesetlen vagy szerves adalékok, amelyek szálak vagy esetenként lemezes szerkezetűek. A töltőanyagok viszont a tér mindhárom irányában nagyjából egyforma méretűek (pl. ásványi őrlemények, faliszt). A töltő- és erősítő anyagokat gyakran együtt, egymással kombinálva használják.

A széles körben használt poliamidok töltő- vagy erősítőanyagok nélkül gyakran nem elég hőállóak, nem elég nagy a szilárdságuk vagy a modulusuk, ill. a vízfelvétel miatt nem mutatnak elég nagy méretstabilitást.

Az ásványi anyag alapú töltőanyagok csökkentik az ütésállóságot (miközben más mechanikai tulajdonságokat javítanak), mivel az ásványi anyag szemcséi közelében csökken a polimer molekulák mozgékonyága.

A töltőanyag keverék esetében ott jelentkezik a legnagyobb mértékű ütésállóság-csökkenés, ahol a legnagyobb volt a szilárdságnövekedés. Ezért gyakran használnak elasztomereket a töltött anyagok szívósságának, ütésállóságának javítására. A poliamid esetén rendkívül széles ásványi anyagok felhasználási köre: alumínium-trihidrát, kréta, szilikátok, csillám, talkum, pernye, wollastonit, kaolin stb [7].

A szál típusú töltőanyagok, pontosabban erősítőanyagok esetén a fémszál, az aramid szál, PA-szál, PET-szál és az üvegszál hosszarányosan javítja az ütésállóságot. Viszont a szálak gyengén tapadnak a legtöbb polimerhez, ezért beépülésüket valamilyen vegyi felületkezeléssel javítják. A szálak felületét úgynevezett írezőszerekkel kezelik, a műanyagmátrixhoz pedig gyakran úgynevezett kapcsolóanyagot kevernek, amely mind a mátrixszal, mind a szálakkal (adott esetben az írező anyaggal) szilárd kötést alakít ki. Az a lényeg, hogy jó erőátadás jöjjön létre a szál és a mátrix között [8].

2.4. Anyagvizsgálat

Az anyagvizsgálat az anyagok mechanikai, kémiai, fizikai jellemzőinek meghatározásával, az anyag szerkezetének vizsgálatával és a szerkezeti anyagok helyi hibáinak kimutatásával foglalkozik.

Az anyagvizsgálati eljárások végzésének többféle célja lehet:

- tervezési adatok szolgáltatása (az anyagok terhelhetőségét jellemző mérőszámok megadásával),
- a gyártás technológiájának ellenőrzése,
- a gépészmérnöki gyakorlatban előforduló káresetek vizsgálata.

Az anyagvizsgálatok eredményeit a gépészmérnöki gyakorlat csaknem minden területe igényli. Módszereit a vizsgálatok célja és jellege szerint rendszerezzük.

Alapvetően két fő csoportjuk van:

- roncsolásos anyagvizsgálati eljárások
- roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárások

A roncsolásos anyagvizsgálati eljárásokhoz többféle eljárás tartozik:

- mechanikai-szilárdsági vizsgálatok,
- technológiai próbák,
- kémiai vizsgálatok,
- fizikai vizsgálatok,
- fémtani vizsgálatok.

A mechanikai vizsgálatokkal az anyagok szilárdsági, törésmechanikai, reológiai és kifáradási tulajdonságai határozható meg. A vizsgálatok közvetlenül felhasználható mérőszámokat, anyagjellemzőket szolgáltatnak a méretezés számára.

A roncsolásos vizsgálatok során a vizsgálandó alkatrészből, félkész termékből és alapanyagból mintát kell venni, ill. próbatesteket kell kimunkálni. Emiatt a vizsgált darab többnyire tönkremegy. A módszerből következik, hogy e vizsgálatok eredményei csak statisztikusan jellemzik az anyagok.

Az anyagvizsgálati módszereknek megbízhatóan kell megállapítaniuk a vizsgált tulajdonságot.

A vizsgált tulajdonság szempontjából egynemű anyagnak egyrészt az ellentétes érdekű (pl. átadó és átvevő) laboratóriumban végrehatott vizsgálata során, másrészt a vizsgálatot többször megismételve azonos vagy a mérési pontosság megengedett szórási határain belüli eredményt kell adnia.

Az anyagvizsgálatok egyértelműségét és a megismételhetőségét biztosító szabatoságát úgy érik el, hogy az eljárásokat kötelező erejű vagy legalább ajánlott szabványokba (műszaki előírásokba) foglalták [2].

2.4.1. Roncsolásos anyagvizsgálati módszerek

Első lépésünk a próbavétel, azaz a próbatest kimunkálása. A különféle vizsgálatokhoz szükséges próbaanyagot az átveendő tételből úgy kell kimunkálni, hogy a belőlük készített próbatesteken végzett vizsgálatok a tételre jellemző vizsgálati értékeket adják. Minden vizsgálati eredmény helyessége elsősorban a próbavétel helyességétől függ. A különböző polimerekből való próbavétel módját részletesen az egyes vizsgálati és anyagszabványok írják elő.

A próbatest kivételének módszere nem változtathatja meg az anyag minőségét, és a különböző mérési eredményeknek összehasonlíthatóaknak kell lennie. Ezért a szabványok előírják a próbatestek kialakításának módját, alakját, méreteit, felületi érdességét stb [2].

2.4.2. Mechanikai vizsgálatok

Az anyagvizsgálat során a különféle egyszerű terhelési módok modellezésével állapíthatjuk meg, hogy alkalmas-e az anyag az üzemelés közbeni igénybevételek károsodás nélküli elviselésére. A vizsgálat során tehát törésig vagy legalábbis nagymérvű alakváltozásig terhelhetjük a próbatesteket. A szerkezeti elemekre, gépalkatrészekre ható igénybevételek – a terhelőerőkből származó feszültségeknek az idő függvényében mutatott értékei szerint – a következő főbb csoportokba sorolhatók:

- statikus igénybevételek,
- dinamikus igénybevételek,
- fárasztó igénybevételek.

A dinamikus igénybevételek az egyszeri gyors erőhatások. Vizsgálatukra szolgálnak az ütvehajlító, ütve-szakító és a dinamikus keménységmérési vizsgálatok.

A mechanikai vizsgálatok eredményei általában még az egynemű, azonos anyagnál is többkevesebb szórást mutat. Alapvető fontosságú, hogy az ilyen különböző értékekből melyiket használhatjuk az anyag jellemzésére. Régebben az egyszerű számtani középértékeket használták. Ez csak akkor engedhető meg, ha a középérték és az alsó, ill. a felső határérték közötti különbség nem nagy, és az alsó határérték is nagyobb a megkívánt értéknél. Sok vizsgálati eredmény birtokában úgynevezett gyakorisági diagramot célszerű készíteni, és a legnagyobb gyakoriság adja a vizsgált anyagjellemző értékét [2].

2.4.3. Dinamikus szilárdsági vizsgálatok

A gépalkatrészek, ill. szerkezetek egy része működés közben dinamikus igénybevételt kap. Ezért ezeknek az alkatrészeknek, ill. szerkezeteknek az anyagát dinamikus szilárdsági vizsgálatoknak kell alávetnünk [1].

Ezekkel a vizsgálatokkal határozható meg az anyag viselkedése hirtelen fellépő hajlító igénybevétel hatására: az anyag ütőszilárdsága és bemetszés érzékenysége.

A legtöbb szabványos vizsgálati módszer ütőingát használ a bemetszett vagy bemetszés nélküli próbatestek vizsgálatához. A próbatest töréséhez szükséges energiát mérik, és abból számítják az ütőszilárdságot.

A próbatest minden oldalát meg kell munkálni a szabvány által előírt méretpontossággal és felületi érdességnek megfelelően.

A leggyakrabban alkalmazott dinamikus vizsgálatok:

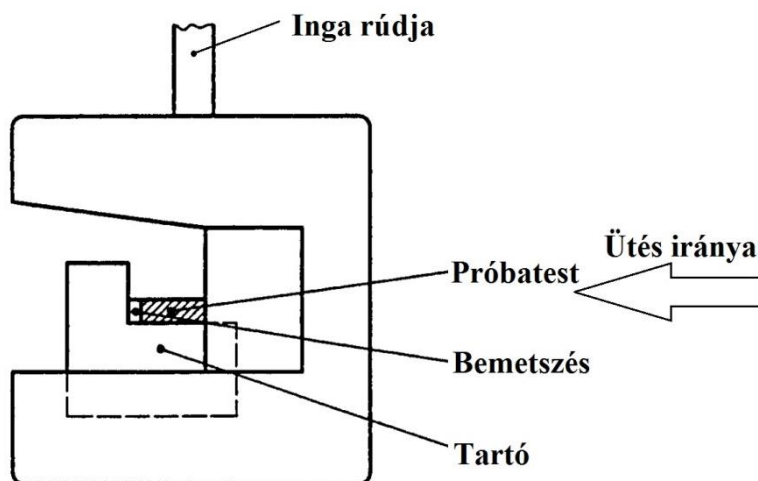
- a bemetszett próbatest ütővizsgálat (Charpy-vizsgálat, Izod ütővizsgálat)
- dinamikus szakítóvizsgálat [2].

2.4.4. Charpy ütővizsgálat

Ebben a fejezetben részletesen ismertetem a Charpy vizsgálat elvét, az ütőgépet, a próbatest paramétereit és a bemetszés fajtáit. A módszert polimerek ütőszilárdságának meghatározására használom.

2.4.4.1. A módszer elve

A bemetszett (V vagy U alakú) vagy bemetszés nélküli rúd alakú próbatest vízszintesen helyezkedik el, és azt a két megtámasztás között középen egy egykarú inga töri el. A bemetszett próbatesten az inga a bemetszéssel szemben üti meg a próbatestet. Ez látható 2.4. ábrán. [9]

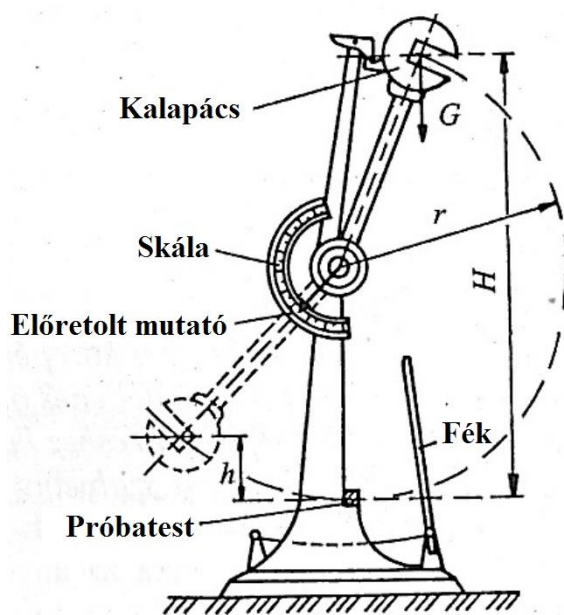


2.4. ábra. Az ütőél és tartóblokkok az ütés pillanatában (MSZ EN ISO 179-1, 2004)

2.4.4.2. Ütőgép: Charpy-féle inga

Szilárdan alapozott állvány felső részében két golyóscsapágy illeszkedik, amelyek csaknem csapsúrlódásmentesen ágyazzák az ingatengelyt. Az ütőkalapácsot felső helyzetébe emelik és (ott) kilincsszerkezettel rögzítik. A kilincs oldása után az ütőkalapács lefelé lendül, és körpályájának legmélyebb pontján éri a próbatestet, amely két támaszon fekszik fel. A próbatest törésekor az ütőkalapács mozgási energiájának egy része ütmunkává alakul, a megmaradó rész viszont egy bizonyos magassáig tovább lendíti az ütőkalapácsot. A Charpy ütőszilárdság mértékegysége kJ/m^2 . Az ütőszilárdság a próbatest eltöréséhez felhasznált üténergia.

A 2.5. ábra jelölései szerint r a sugárhossz, amelyre az ütkökalapács G súlyát redukálták. A H esési magasság, a felső és alsó kalapácshelyzet függőleges távolsága, h az átlengés magassága.



2.5. ábra. Charpy-inga (Pék, 2000)

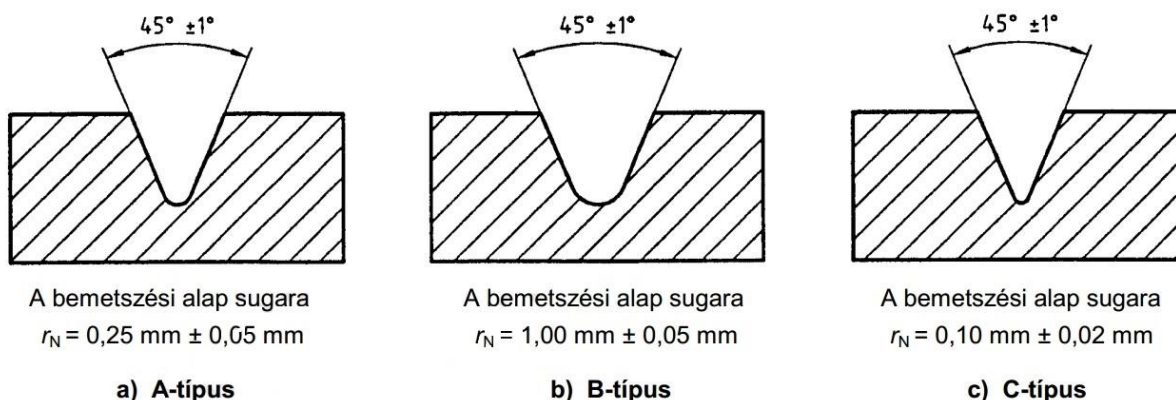
Ha $G \cdot H$ az ütkökalapács helyzeti energiája és $G \cdot h$ a fel nem használt energia, akkor a próbatest törésére szükséges energia (munka):

$$KV, ill. KU = G \cdot H - G \cdot h = G(H-h), J [2].$$

2.4.4.3. Próbatest

A vizsgálat során öntött poliamidot alkalmazok, melyet forgácsolással alakítok ki az ISO 2818 szerint a 3 próbatest típus közül az 1-esnek megfelelően. A Charpy-féle vizsgálatnál két irányú ütés lehetséges, ezek közül az élírányú ütest használom a mérésekhez. A szabvány szerint a próbatest hossza 80 ± 2 mm, szélessége $10,0 \pm 0,2$ mm és vastagsága $4,0 \pm 0,2$ mm. A próbatest fesztávolsága $62^{+0,5}_{-0,0}$ mm, ami alatt a két megtámasztás közötti távolságot értjük. A vizsgálatához egyik oldal közepén hornyolt próbatestet ír elő a szabvány, mely szerint a megmaradó keresztmetszet mérete milliméterben $8,0 \pm 0,2$.

A mechanikus úton kialakított ép keresztmetszet profilja a 2.6. ábrán látható B-típusú bemetszés.



2.6. ábra. Bemetszéstípusok (MSZ EN ISO 179-1, 2004)

Az elkészült próbatesteket az előírásoknak megfelelően ellenőrizni kell, amit be kell tartani, hogy csavarodástól mentesek legyenek, és párhuzamos, egymásra kölcsönösen merőleges felületük legyen. A felületek és az élek karcolásoktól, sajtolási hibáktól, bemélyedésektől és sorjáktól mentesek legyenek. Továbbá ellenőrizni kell az élek, a négyszögek és a síkfelületek szemrevételezésével és mérőórás tolómérővel való méréssel, hogy megfelelnek-e ezen követelményeknek.

Azokat a próbatesteket, amelyek mérhető vagy látható eltérést mutatnak egy vagy több követelménytől, nem szabad felhasználni, vagy azokat a vizsgálat előtt megfelelő méretűre és alakúra kell kimunkálni.

A próbatestek lényeges méreteinek mérésére alkalmas, 0,02 mm pontosságú mikrométer, vagy mérőóra szükséges.

A bemetszett próbatestek maradó keresztmetszet méretének mérésére a mikrométert fel kell szerelni 2-3 mm széles és a bemetszés alakjához illeszkedő, megfelelő profilú talppal.

A próbatestek számát illetően, ha a vizsgálandó anyagra vonatkozó szabványban nincs másként előírva, akkor 10 próbatestből álló sorozatot kell vizsgálni. Ha a variációs együttható (lásd az ISO 2602-t) 5%-nál kisebb értékű, akkor a legalább 5 próbatest elegendő [9].

2.4.4.4. Megjegyzés:

A hőre lágyuló polimerek szabványosított ütővizsgálataiból kapott értékek csak az anyagok szívósságának közvetlen összehasonlítására használhatók. A kész alkatrészek ütőszilárdságának értékét sok tényező befolyásolja, pl. az alak, az ütés sebessége stb. Egyszerű szabványos próbatesten végzett vizsgálat alapján aligha lehet megjósolni, hogy hogyan fog viselkedni a kész alkatrész üzemi körülmények között. A gépelemek esetében ezért az ütésállóság megállapításához nagyon fontos a prototípus vizsgálata.

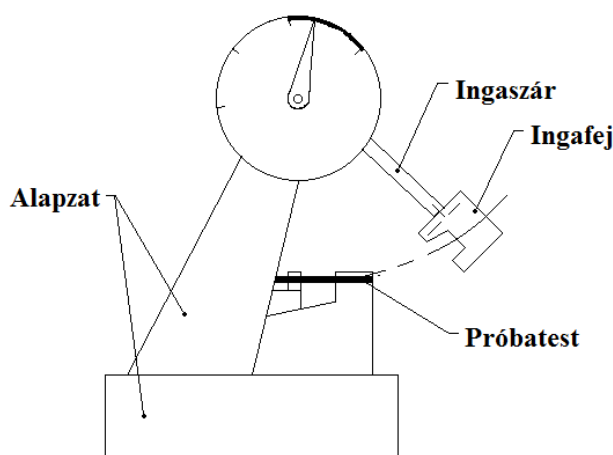
A felvett nedvességtartalom és a hőmérséklet jelentős befolyást gyakorol az ütésszilárdságra (különösen a poliamidok esetében): azok növelésével a PA 6 és 66 ütésszilárdsága növekszik. A termoplasztikus polimerek megengedett minimális üzemi hőmérsékletét alapvetően meghatározza, hogy milyen alacsony hőmérsékleten szenved ütésszerű igénybevételt. Az ütésszilárdság ugyanis, ellentétben a rugalmassági modulussal és a folyáshatárral, a hőmérséklet csökkenésével kisebb lesz, és az anyag egy bizonyos hőmérséklet alatt elridegedik [3].

2.4.5. Ütve húzó szilárdság meghatározása

A módszert adott próbatestek meghatározott ütési sebességek melletti viselkedésének kutatására, és a vizsgálati feltételekkel járó korlátokon belül a próbatestek törékenységének vagy szívósságának becslésére alkalmazzuk. Az ütve húzó szilárdsága a bemetszett próbatest törésekor elnyelt energia, a próbatest bemetszésénél lévő eredeti keresztmetszeti területére vonatkoztatva. Kilojoule per négyzetméterben (kJ/m^2) fejezzük ki [10].

2.4.5.1. A módszer elve

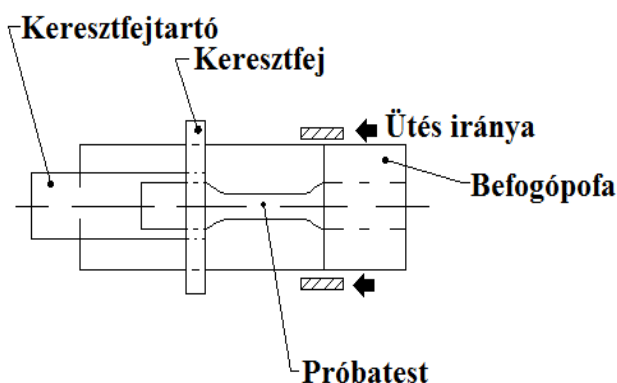
A bemetszett vagy bemetszés nélküli rúd alakú próbatest vízszintesen helyezkedik el, amit az álló befogópofája és egy keresztfej rögzít. A próbatest irányultsága megegyezik a kalapács mozgásának irányával. Az ingafej energiája a keresztfejen keresztül adódik át a próbatestre, amely az ütés erejétől eltörik. Az ütéenergia értékét vegyük egyenlőnek az inga kezdeti potenciális energiájával és a próbatest törése után az ingában visszamaradó energia közötti különbséggel. (2.7. ábra)



2.7. ábra. Az ütve szakító gép működése

Ebben a vizsgálati módszerben a hasznosított energiát, az ütve húzó gép ingájának egyetlen lendülete adja át. A törési energiát a próbatest törési folyamatában az inga mozgási energiája határozza meg. A próbatestet az inga a kilengésének legalsó pontjában üti meg.

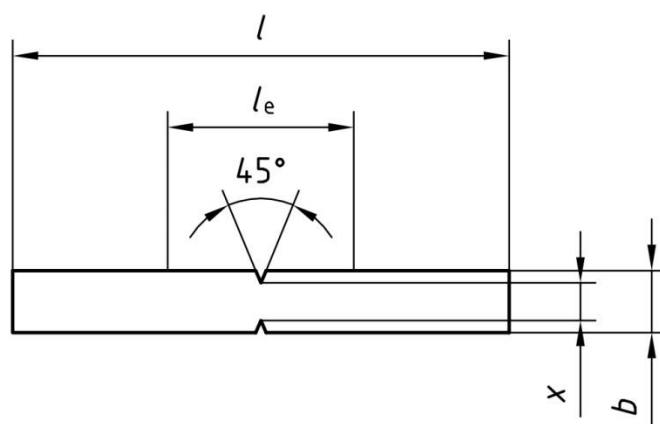
Két fajta mérési módszer alkalmazható. A keresztfej vagy stabilan a tartóállványra (A módszer) vagy az ingával együtt mozgóan (B módszer) szerelhető fel. Az A módszer során a 2.8. ábrán látható a próbatest rögzítése [10].



2.8. ábra. Az inga és a próbateströgzítők közötti kapcsolat az A módszer szerint

2.4.5.2. Próbatest

A vizsgálat során öntött poliamidot alkalmazok, melyet mechanikus úton alakítok ki az ISO 2818 szerint az 5 próbatest típus közül az 1-esnek megfelelően. Az ütve szakító vizsgálatnál a szabvány szerint a próbatest hossza $l = 80 \pm 2$ mm, szélessége $b = 10,0 \pm 0,2$ mm és vastagsága $4,0 \pm 0,2$ mm. A befogópofák közötti szabad hosszúság $l_e = 30 \pm 2$ mm. A vizsgálatához mindkét oldal közepén hornyolt próbatestet ír elő a szabvány, mely szerint a megmaradó keresztmetszet mérete milliméterben $x = 6,0 \pm 0,2$. 2.9. ábra szemlélteti a kialakítást.



2.9. ábra. Ütve szakító vizsgálatához szabványosított próbatest kialakítása

(MSZ EN ISO 8256, 2004)

A bemetszéseket az ISO 2818 szerint gépi megmunkálással kell elvégezni az elkészített bemetszetlen próbatesteken a következők alapján, az alap bemetszés sugara $1 \pm 0,02$ mm, a szöge $45^\circ \pm 1^\circ$ legyen. A vágófog (-fogak) profiljának olyannak kell lennie, hogy a szabvány szerint bemutatott körvonalú és mélységű két bemetszést alakítson ki a próbatestben a főtengelyére merőlegesen. A próbatest hosszanti irányára merőlegesen, mindegyik bemetszés csúcspontján keresztül húzott két vonal 0,02 mm-en belül legyen egymástól. Külön figyelmet kell fordítani a megmaradó keresztmetszet méretének pontosságára.

A próbatestek esetén a felületek, amelyek között a próbatestek rögzítve vannak, úgy legyenek rögzítve, hogy ne legyen megcsúszás, amikor az ütés bekövetkezik.

Ugyanez vonatkozik az állványhoz erősített rögzítő eszköz befogópofájának felületeire. A rögzítő eszköznek olyannak kell lennie, amely nem járul hozzá a próbatest meghibásodásához. A próbatestek száma az előírás szerint a vizsgálandó anyagra vonatkozó műszaki követelményben, legalább 10 próbatestet kell vizsgálni [10].

2.4.5.3. Megjegyzés

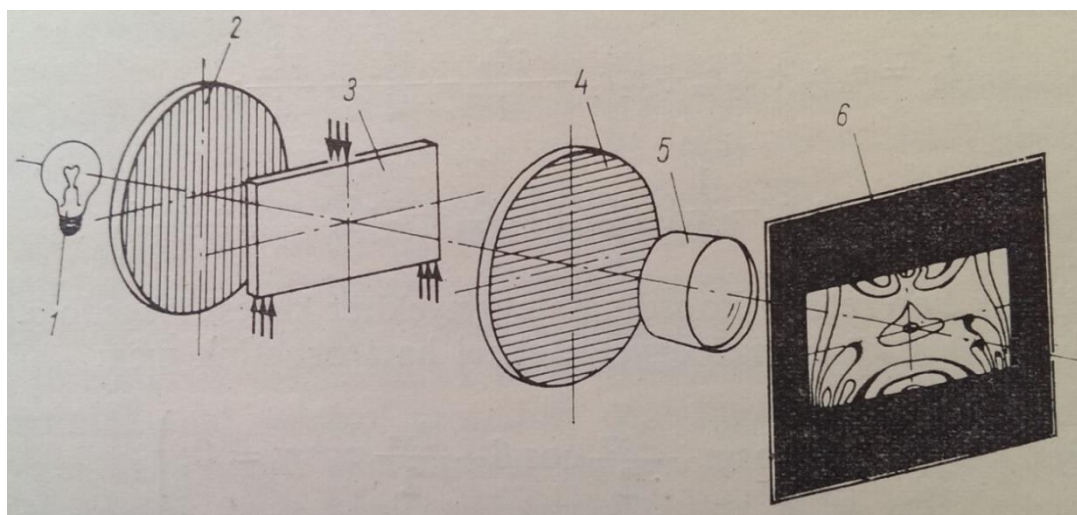
Az általam végrehajtott vizsgálat során az A módszert alkalmaztam, a kezdeti 15 J potenciális energiának megfelelően a keresztfej tömege 60 ± 1 g, és a 0,5 %-os engedélyezett súrlódási veszteséget az ingás ütő nem haladta meg.

További követelmény a mérés során, hogy a kiválasztott inga helyzeti energiájának legalább a 20 %-át, de legfeljebb 80 %-át használja fel a próbatest törésére.

2.5. Optikai feszültségvizsgálat

Az optikai feszültségvizsgálat elve azon alapszik, hogy a legtöbb amorf (nem kristályos) szerkezetű átlátszó anyag (üveg, műanyagok) külső erők által létrehozott feszültségi állapot hatására optikailag kettőtörésűvé válik (2.10. ábra.). A kettőtörés mértéke arányos a feszültség-összetevőkkel. A kettőtörésű testet polarizációs szűrők közé helyezve és átvilágítva, színes és sötét sávok jelennek meg rajta. Az így kialakult sávrendszer közvetlenül megfigyelhető vagy lefényképezhető.

A méréshez megfelelő műanyagból elkészítjük a vizsgálandó alkatrész lemez alakú, átlátszó modelljét, és azt síkjában a tényleges kivitelhez hasonló módon terhelve polarizációs szűrők közé helyezzük.



2.10. ábra. Optikai feszültségvizsgáló berendezés elvi vázlata (Dr. Thamm, 1968)

1 fényforrás; 2 polarizátor; 3 modell; 4 analízátor; 5 lencse; 6 ernyő

A modellben uralkodó feszültségeloszlás az átvilágításkor jelentkező sávrendszerből meghatározható, és a modelltől a tényleges kivitelre – a hasonlóság elvén felállítható modelltörvények alapján – átszámítható.

E módszerrel síkbeli feszültségállapotot vizsgálunk, de az ún. feszültség-befagyasztás módszere lehetőséget ad térbeli modellek egyes síkmetszeteiben uralkodó feszültségi állapot vizsgálatára is [11].

3. ANYAG ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Dolgozatom ezen fejezetében mutatom be a vizsgálatához szükséges alapelveket, a próbatestek kialakítását, jelölési rendszerét, és a tárolásukhoz használt exszikkátort. Továbbá ismertetem még az általam használt vizsgálati módszereket.

3.1. Irányelvek

A szabványban rögzített mérések megkezdése előtt a megfelelő próbatesteket ki kell alakítani. Az elkészült próbatesteket zárt térben, száraz körülmények között kell tárolni, mivel az anyag higroszkópos tulajdonságaiból adódóan megköti a vizet, így megváltozhatnak a tulajdonságai. A mérések alatt kapott eredmények feldolgozására többfajta statisztikai megoldás létezik, dolgozatomban felhasználok a durva hiba keresését, a hibák kizárását, átlagok és szórások képzését [1].

3.2. Próbatestek kialakítása

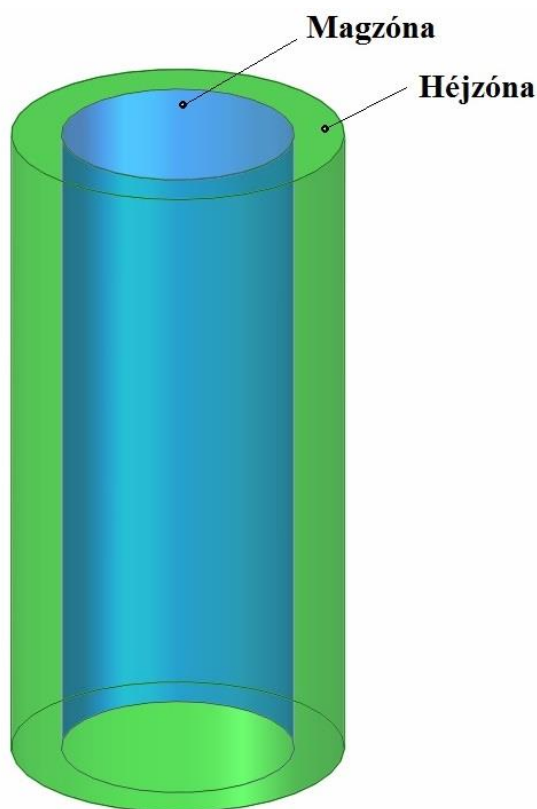
A mérésekhez szükséges alapanyagot a Quattroplast Kft. bocsátotta a rendelkezésemre. A vizsgálatot eltérő átmérőjű rudakon kellett elvégeznem, ezen öntött tömbök mérete a következő:

- $\varnothing 40$ mm;
- $\varnothing 60$ mm;
- $\varnothing 90$ mm;
- $\varnothing 130$ mm;
- $\varnothing 170$ mm;
- $\varnothing 200$ mm;
- $\varnothing 300$ mm;

3.2.1. A minták helyzete a rúd belsejében

Az általam felhasznált alapanyagot kereskedelmi forgalomban kör keresztmetszetű rúd formában lehet megvásárolni. A próbatest tényleges kialakításáig egy hosszas megmunkálási folyamat zajlik le. Az öntés gyártástechnológiájából adódik, hogy az öntött rudak belső szerkezete eltérő lehet. Ez a különbség az anyag belseje féle haladva ugyanúgy fent áll, mint tömb alsó és felső részén. Az eltérést a féltermékek gyártói hőkezelésére lehet visszavezetni, mivel ez soha nem jelent tökéletes feszültségmentesítést, ezért az anyagban belső feszültségek maradhatnak [3]. A minták készítéséhez, ezért az úgynevezett magzónát használtam fel.

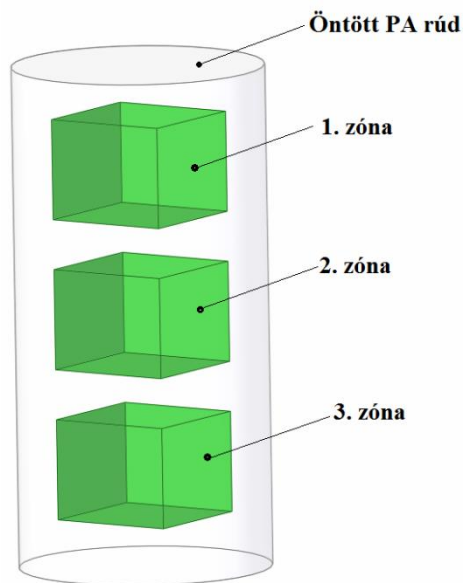
Az öntött tömb héj és magzónára való felosztását a 3.1. ábrán mutatom meg. A külső 10-15 mm-es réteget, amit héjzónának neveznek, eltávolítottam, mivel minőségben eltérő lehet a magzónától. A tömb alsó és felső része ugyanezen oknál fogva szintén felhasználatlan maradt.



3.1. ábra. Rúd zónákra osztása

A feladatomból adódóan a próbatesteket a rudak hossz tengelyével párhuzamosan munkáltam ki. A tömb alsó, középső és felső részein lévő tulajdonságbeli különbségek kimutatása érdekében 3 zónára osztottam fel a rudakat. Figyelembe vettem, hogy a kimunkált téglatestek minden rúd esetében azonos helyről, és azonos irányból kerüljenek kivételre.

Ezt szemlélteti a 3.2. ábra. A feldarabolt téglatestekből készítettem el a próbatesteket, zónánként legalább 10 darabot forgácsolási eljárással.



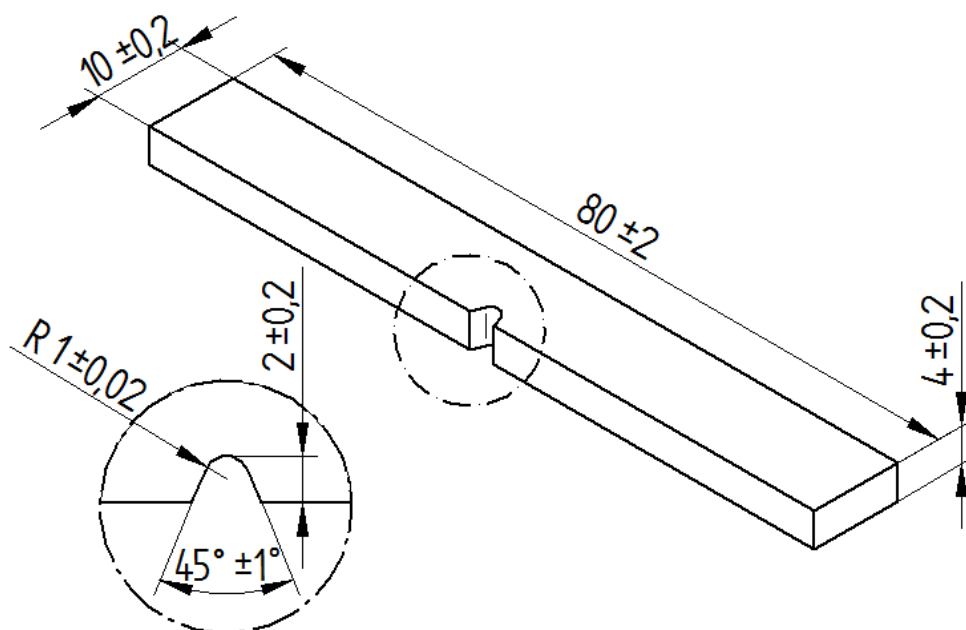
3.2. ábra. Az öntött rúdban a zónák helyzete

3.2.2. Próbatétel mérete

A dolgozatomban két fajta mérési módszert használtam. Az eltérő mérésekből kifolyólag a próbatételek egyes méretei is eltérnek, ezért több fajta mintát készítettem. Viszont a bemetszetlen próbatételek mérete az megegyezik. A többféle dinamikus vizsgálat közül az egyik, amit választottam a Charpy ütésvizsgálat, amelyhez a szükséges próbatétel csak az egyik oldalán hornyolt. A másik az ütésszakító vizsgálat, amelynek a próbatételei pedig mind a két oldalon be vannak metszve. Ezeket a paramétereket a mérésekre vonatkozó szabványokban írják elő. A bemetszetlen próbatétel méretei a következők:

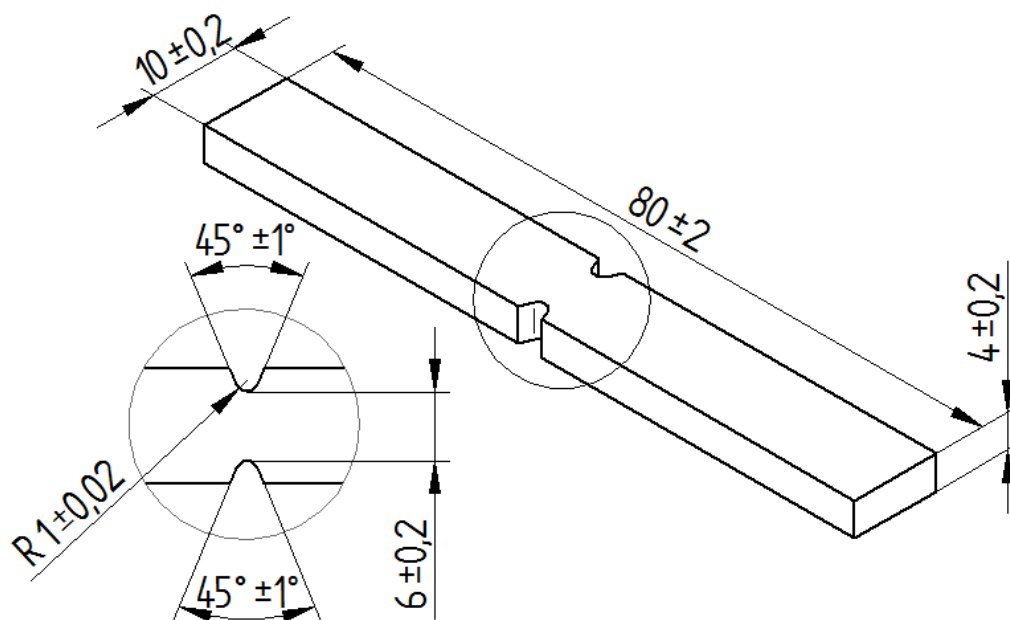
- hossza 80 ± 2 mm;
- szélessége $10,0 \pm 0,2$ mm;
- vastagsága $4,0 \pm 0,2$ mm.

A Charpy-féle vizsgálatához egyik oldal közepén hornyolt próbatételt ír elő a szabvány, mely szerint a megmaradó keresztmetszet mérete milliméterben $8,0 \pm 0,2$. A bemetszés sugara $1 \pm 0,05$ mm. Ezek az értékek és a próbatétel alakja a 3.3. ábra látható.



3.3. ábra. MSZ EN ISO 179-1/1eB típusú próbatest

Az ütve szakító vizsgálathoz mindkét oldal közepén hornyolt próbatestet ír elő a szabvány, mely szerint a megmaradó keresztmetszet mérete milliméterben $6,0 \pm 0,2$, a bemetszés sugara $1 \pm 0,05$ mm, amit a 3.4. ábra szemléltet.



3.4. ábra. MSZ ISO 8256/1B típusú próbatest

3.2.3. Próbatetek kialakítása

A próbatetek gyártásának az alapanyaga a 3.5. ábrán tekinthető meg. A minták gyártásához szükséges gépeket a Szent István Egyetem Gépipari Technológiai Intézet Tanműhelye biztosította a számomra.



3.5. ábra. Próbatetek gyártására felhasznált öntött poliamid rudak

A próbatetek kialakítása több lépésben került kivitelezésre.

- 1. lépés; Darabolás: Az 1 méter hosszú öntött rudakat szalagfűrészben 3 egyforma méretű részre vágtam fel, aminek a hossza valamennyivel meghaladta a 80 mm-t. Ez a méret a próbatetek hosszmérete. Ezt elvégeztem 7 különböző átmérőjű tömbön. A daraboláshoz egy Pilous TMJ gravitációs előtolású szalagfűrész használtam.
- 2. lépés; Darabolás: A marógépen való megmunkáláshoz két párhuzamos oldalra van szükség, ezért a kör keresztmetszetű tömbök mindenegyes oldalát lefűrészelttem. Az így kapott téglatesteket már jól illeszkedve meg lehet fogni a marógép satujával. A 7 eltérő átmérőjű rúdból 21 db téglatestet vágtam ki
- 3. lépés; Darabolás: A kimunkált hasábok mérete még mindig túl nagy volt, ezért még kisebb téglatestekre vágtam fel. Többnyire 1 ilyen tömbzónát 3 részre szeleteltem fel, amelyeknek a vastagságát 12-13 mm-re hagytam. Ez a méret a próbatetek szabványban előírt szélessége ráhagyással.

-
- 4. lépés; Marás: A kisméretű téglatestek oldalainak marását végeztem el. Azért az oldalak készültek el először, mert a téglatestek lapjai nagyobb felületek, és ezek megmunkálásához jól megfogható párhuzamos felületekre van szükség. Mivel nagyobb a fogás, így a forgácsoló erős is megnövekszik, amihez kellő erősségű megfogás szükségeltetik. Ebben a lépésben készültek el a próbatestek hosszméretei is, ami pontosan 80 ± 2 mm. A marógép típusa: TOS fa2-u
 - 5. lépés; Marás: A párhuzamosra mart oldalú munkadarabok megfogása lehetővé tette, hogy a lapjait is megmunkáljam. Itt már a tömbök vastagságát $10 \pm 0,2$ mm-re forgácsoltam, így a próbatestek szélességét ebben a lépésben elvégeztem.
 - 6. lépés; Darabolás: Az elkészült mart oldalú téglatesteket precíziós fűrészgépen felszeleteltem. A próbatest 3 fontos mérete közül még a vastagságát kell kialakítani. A feldarabolt próbatestek vastagsága 6 mm, mivel a kész méretet marógépen állítom elő, ezért a fűrészelésnél ráhagyással dolgoztam. A precíziós fűrészgép típusa: EMCO BS-2
 - 7. lépés; Marás: A próbatest készítés utolsó művelete ez a lépés. A darabolásból adódó két oldal marása maradt hátra, ezeknek a megmunkálása kiadja a próbatest vastagságát, aminek tűrésezett mérete $4 \pm 0,2$ mm. A marási műveleteknél különösen figyeltem a satuba való befogásra, mivel egy erőteljesebb megszorításból a megmunkálás során hibás próbatest keletkezhet. Ennek az az oka, hogy a szorító erő a „puha” műanyagot könnyen deformálja, és a megmunkálás során a deformálódott próbatest marása után a felület homorúvá válhat.

A kész mintákat mérőóra segítségével ellenőriztem, a fő méreteket adott felület több pontján is megmértem, hogy megfelelnek-e az előírásoknak. Továbbá megvizsgáltam, hogy csavarodástól mentesek, és párhuzamos, egymásra kölcsönösen merőlegesek-e a felületük. Az élek és felületek karc és sorja mentességét is átvizsgáltam.

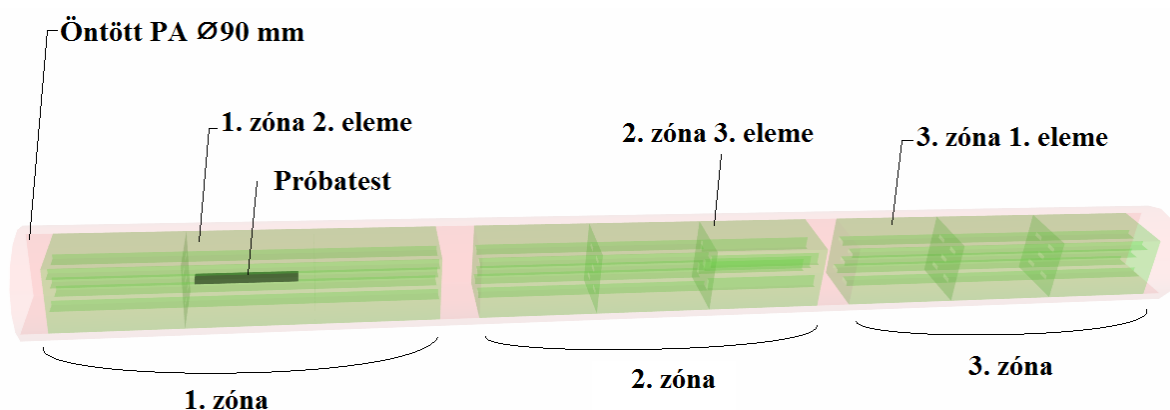
Az elkészült próbatestek az alapanyagból kifolyólag higroszkópos tulajdonsággal rendelkeznek, és a vízfelvétel hatására megváltoznak az anyag jellemzői, ez az oka, hogy nedvességtől mentes, száraz térben kell őket tárolni.

3.2.4. Próbatetek tárolása

A kimunkált próbateteket a nedvességfelvételtől való megóvás érdekében exsikkátorban tartottam. Ezek az edények légmentesen záródnak, a tökéletes tömítést a csiszolt zárófelületek és a köztük lévő szilikonzsír biztosítja. Az edények alján lévő elválasztható térrészbe lehet betenni a nedvességmegkötő anyagot. Ez egy kivehető műanyaglappal van elszeparálva a próbatetekektől. Az edényen belüli tér levegője homogén, alacsony nedvességtartalommal. A nedvességmegkötéshez úgynevezett önindikáló szilikagél használtam, amely Co-sóval van színezve, így látható válik, hogy mikor szükséges regenerálni. Mivel a Co-só vízmentes állapotban kék színű, ha nedvességet köt meg, akkor rózsaszínné válik. A próbatetek bele helyezése előtt, a szilikagélt gázsütő segítségével kiszáritottam, és csak ezután helyeztem el a mintákat az edényben. Így próbatetek megmunkálása és a mérés közötti időszakban nem vehettek fel nedvességet.

3.2.5. Próbatetek jelölési rendszere

A próbatetek nagy száma miatt szükségessé vált egy jelölési rendszer, hogy be lehessen azonosítani a kivett mintákat. Adva van 7 különböző átmérőjű rúd, rudanként 3 zónára lett felosztva, zónánként 10 db próbatest lett kimunkálva. A próbatetek jelölésére a következő kódolást alkalmaztam (3.6. ábra).



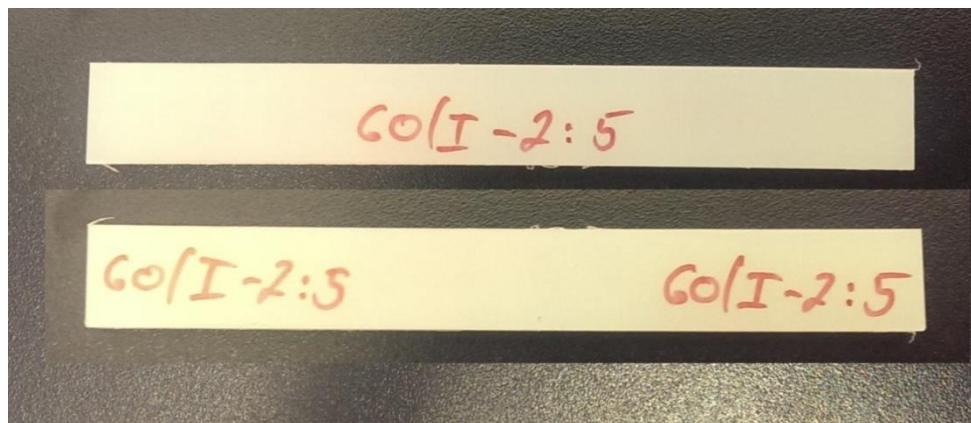
3.6. ábra. Próbatest jelölési rendszere

pl. 90/I-2:1

ahol:

- | | |
|----|--|
| 90 | az adott rúd átmérője milliméterben |
| I | az adott rúd zónája |
| 2 | a zónán belüli részre utaló szám |
| :1 | a próbatest sorszáma adott zónán belül |

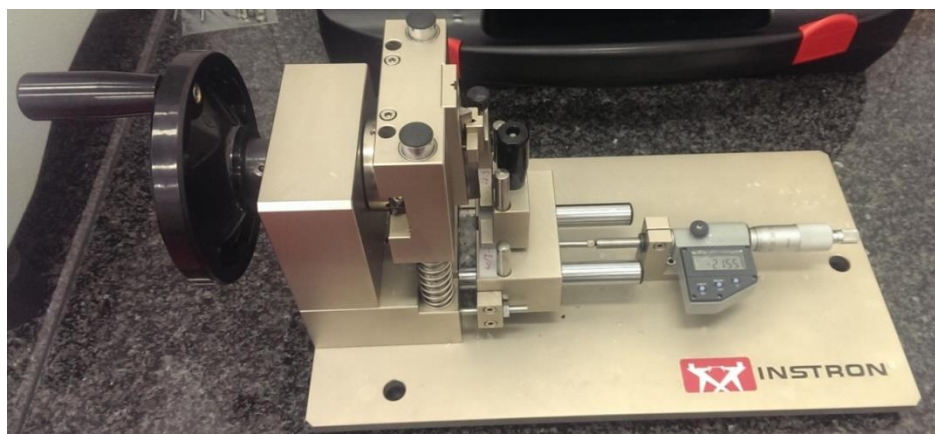
A próbatestek mindkét oldalát felcímkéztem. Az egyik oldalon az azonosítót a hasáb közepére írtam rá, hogy a szakítások alatt pontosan tudjam, hogy melyik mintát vizsgálom. A másik oldalra felkerült kódot a próbatest két szélén jelöltem, ennek azért van jelentősége, mert az elszakított próbatesteket a vizsgálat után is meg lehet különböztetni (3.7. ábra.).



3.7. ábra. Azonosítóval ellátott próbatestek

3.2.6. Próbatestek bemetszése

Az alkalmazott Instron által gyártott kézi működtetésű bemetsző készülék a 3.8. ábrán nézhető meg. Ezzel a géppel készítettem el a szabványban előírt hornyot a próbatesten. A bemetszés mélysége $2 \pm 0,2$ mm, a rádiusza $1 \text{ mm} \pm 0,02$ és a szöge 45° -os. A rádiusz és a szög a kés kialakításából adódóan állandó, viszont a bemetszés mélységét egy a gépre szerelt mikrométerrel lehet mérni. A Charpy-féle ütővizsgálathoz készült próbatesteken csak az egyik oldalon kellett hornyot készíteni. Az ütve szakító vizsgálathoz két oldalon hornyolt próbatestet ír elő a szabvány.



3.8. ábra. Instron Ceast manuális bemetsző készülék

3.3. Előkísérletek

A dinamikus szakító vizsgálat előkísérletei során a mérőgép működésének megismerését, a polimer próbatestek viselkedését, a mérési tartomány beállítását tűztem ki célul. A felhasznált mérőgép típusa: Instron Ceast 9050-es ütőmű.

A kísérleti mérésekhez felhasznált minták anyaga a következők :

PA, POM és PVC.

Az első mérések során a hornyolt próbatestek a bemetszés minimális megváltoztatására is nagyon érzékenyek voltak. Ami alatt azt értem, hogy az ütéshez felhasznált energia a bemetszés kis módosítására nagyban megváltozott. A szakítások alatt használt 0,25 mm-es rádiuszú bemetsző kés esetén azt tapasztaltam, hogy a bemetszés mélységének század milliméteres eltérése esetén a Charpy és az ütve szakító vizsgálatok eredményeinek értékei között túl nagy a szórás. Pedig a szabványban $\pm 0,2$ milliméteres eltérést engednek meg a megmaradó keresztmetszet méretére.

A vizsgálat paraméterei közül az inga vagy a bemetsző kés megváltoztatása orvosolja a problémát. Az inga hosszadalmas beszerzése miatt, a bemetsző kés megváltoztatása mellett döntöttünk. A mérések során alkalmazott bemetsző kés sugara 1 mm-es, a nagyobb rádiuszú késsel kevésbé érzékenyek a hornyolt próbatestek a bemetszés mélységére. Erre a feszültséggyűjtő hely lehet a magyarázat. A Charpy-féle ütővizsgálat ezzel már elvégezhető.

Viszont az ütve szakító vizsgálatokhoz használt 15 J-os kalapács mérési tartománya az alsó 20%-ba esik a poliamid próbatestek esetén.

4. MÉRÉS

A dolgozatomban ezen fejezetben bemutatom a mérési eljárásokat lépésről-lépésre.

A mérések helyszíne a Quattroplast Kft. telephelyén lévő anyaglaboratórium (4.1. ábra.). A dinamikus szilárdsági vizsgálatokhoz kellőképpen felszerelt laborban megtalálható egy Instron Ceast 9050-es ütőmű, ami képes Charpy és ütve szakító vizsgálatok elvégzésére. A labor felkészült a próbatestek bemetszésére, erre egy Instron Ceast manuális működtetésű bemetsző készülék, az elkészült próbatestek méreteinek ellenőrzésére egy Mitutoyo mérőóra áll a rendelkezésemre.



4.1. ábra. Quattroplast Kft. anyaglaboratóriuma

Az előkísérletek során megismert ütőgép használatának az elsajátításával kezdődtek meg a munkálatok. Az Instron Ceast 9050-es ütőműbe helyezett üllőtől és kalapáctól függően lehetséges Charpy ütővizsgálat, és ütve szakító vizsgálat elvégzése. A mérések során az adatokat a gépbe épített számítógép rögzíti. Az adatokat a mérés alatt folyamatosan nyomon követhetjük, sőt a gép el is tárolja a kapott eredményeket, amit utána bármikor visszakereshetünk, vagy adathordozóra menthetünk.

Ha a mérésekhez szükséges üllőt és kalapácsot rögzítettük a megfelelő helyeken, akkor bekapcsolhatjuk a szerkezetet.

Az indulást követően először a kalapácsot kell kalibrálni, az ingát a felső holtpontból indítjuk, 12 lengést követően a gép kiszámítja a veszteségeket, ami a légellenállásból és a súrlódásokból adódik. Ezek után a gépen lévő érintő kijelző segítségével kiválaszthatjuk a kívánt mérés paramétereit, ha ez megtörtént, akkor kezdhethetjük el a mérést.

Az adatgyűjtő rendszer nagyban megkönnyíti a számításokat, mert az eredmények megadásához felhasználja a veszteségből számított korrekciókat.

4.1. Charpy-féle mérési eljárás

Először a mérési módszernek megfelelő alkatrészeket készítettem elő. Az ütve hajlító vizsgálathoz használt cserélhető kalapács 1 J-os, amit az ütőmű tengelyéhez rögzítettem egy csavaros ékkel. Amit ezután kitérítettem a helyzetéből, ez a szabad, akadás mentes mozgás ellenőrzésére irányult (4.2. ábra.). A következő lépés az üllő behelyezése és rögzítése a kialakított befogó részbe.(4.3. ábra.)



4.2.ábra. Kalapács rögzítése



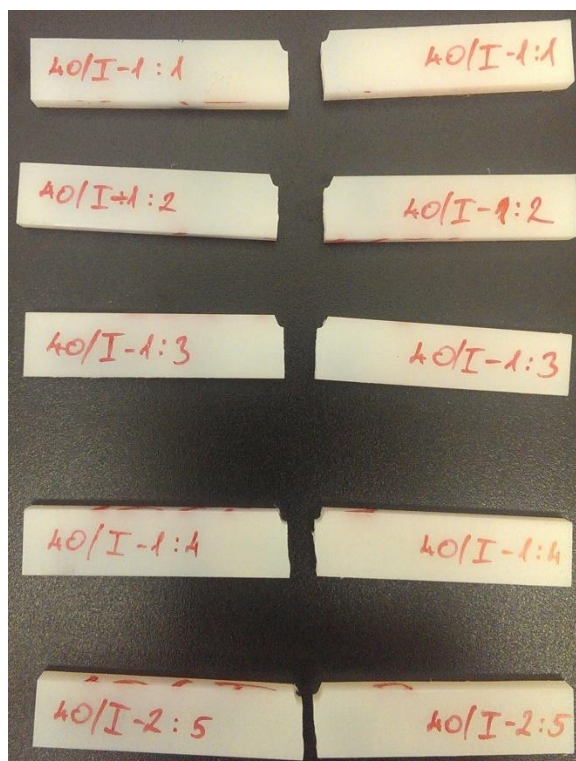
4.3. ábra. Rögzített üllő

Ezek után elvégeztem a kalapács kalibrációját. A kalibráció végeztével a megfelelő mérés paramétereit választottam ki. A következő lépésként az egy oldalon hornyolt próbatestet helyeztem az üllőbe, amit egy központosító tű segítségével középre igazítottam (4.4. ábra.). Végül az inga zárszerkezetét oldottam. A törés során fellépő erőket a gépbe épített erőmérő cella folyamatosan mérte, amit az adatgyűjtő rendszer rögzített.

A Charpy ütővizsgálatoknál a kalapács energiájának kihasználtsága 50 % körül volt, ami a szabványban előírt mérési tartománynak megfelel. A mérés során 105 db próbatestet törtem el (4.5. ábra.).



4.4. ábra. Beállított próbatest



4.5. ábra. Próbatestek törés után

4.2. Ütve szakító mérési eljárás

Az ütő szilárdság meghatározásánál is a megfelelő kalapáccsal és üllővel szereltem fel az ütőművet (4.6. ábra.).



4.6. ábra. Ütve szakításhoz használt üllő befogott próbatesttel

A mérési elvből adódóan nagyobb energiára van szükség a próbatest elszakadásához, ezért egy 15 J-os kalapácsot használtam a vizsgálathoz. A beszerelt, szabadon mozgó kalapács kalibrációját elvégeztem, majd kiválasztottam az ütve szakító mérés paramétereit. Ez a módszer egy ütve húzást modellez, ezért itt a próbatestet nagy erővel kell befogni, hogy az inga energiája a próbatest szakadását okozza a keresztfej leütése helyett. A megfogás a következőképpen alakul, az állón fix befogópofával megszorítottam a próbatestet úgy, hogy az párhuzamos legyen az inga útjával.

A próbatest másik végét egy keresztfej segítségével fogtam meg, a keresztfejnek merőlegesen kell állnia a próbatestre. A leírást jól szemlélteti a 4.6. ábrán befogott próbatest. Az inga a keresztfej megütésével adja át az energiáját a próbatestnek, amitől az jó esetben elszakad. Az ütés akkor jó, ha tisztán húzás keletkezik. Ha hajlítás is létrejön, az meghamísíthatja a mérés eredményeit.

A próbatestek szakadásához a kalapács energiájának 18%-a használódott fel. A mechanikai vizsgálóberendezésekkel szemben a digitális mérőrendszerekkel kapott eredmények a mérési tartomány nagyobb részében használhatók fel.

4.2.1. Megjegyzés

Az ütve szakító vizsgálatok alatt egyes próbatesteknél azt tapasztaltam, hogy a 15 J-os kalapács energiájának 100%-a nem volt képes elszakítani a két oldalon hornyolt mintákat. Ennek okára további vizsgálatokra lenne szükség, ez a további céljaim között szerepel. A hibás méréseket megismételtem, így az eredményeket ezek nem befolyásolják.

4.3. Optikai feszültségvizsgálat

A vizsgálatra azért került sor, mert az előkísérletek rámutattak, hogy a mérések eredményeit nagyban meghatározza a bemetszés rádiuszának értéke. Ez leginkább az ütve szakításnál ütközött ki. A kapott eredmények szórása nagyon nagy mértékű volt. A 0,25 mm-es rádiuszú bemetszőkést alkalmazva az épen maradt keresztmetszet 5 százados megváltoztatásával nagyfokú változás történt a felhasznált energiát tekintve. Ez volt az az ok, ami miatt a vizsgálat elvégzése mellett döntöttem.

A Szent István Egyetem Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszéke biztosított számomra egy készüléket a mérések elvégzéséhez (4.7. ábra.).

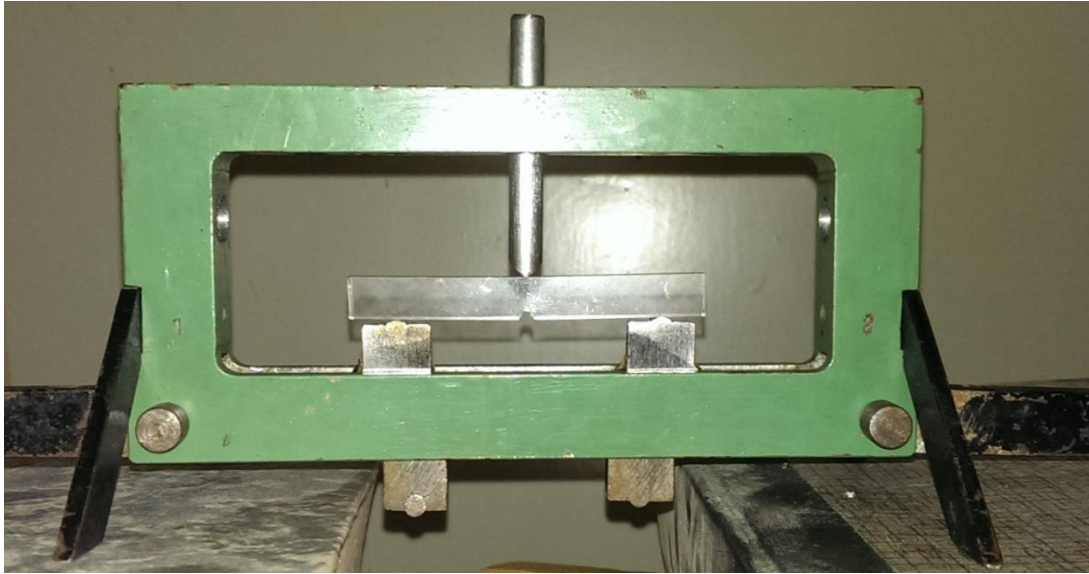


4.7. ábra. Befogó készülék az optikai feszültségvizsgálathoz

A szükséges vizsgálatok elvégzése miatt a befogókeretet át kellett alakítanom, amit a Szent István Egyetem Gépipari Technológiai Intézet Tanműhelyében történt.

Az átalakított készülék már felhasználható tiszta hajlítás, tiszta húzás és az ütve hajlítás egyszerűsített változatának elvégzésére.

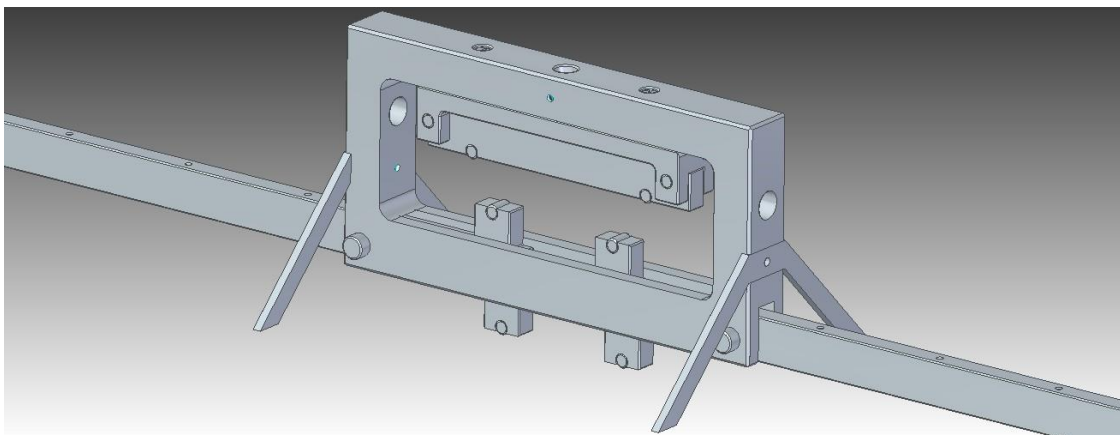
Az átalakított befogókészülék a következő ábrákon láthatóak: 4.8. ábra, 4.9. ábra, 4.10. ábra.



4.8. ábra. 3 pontos hajlításra alkalmas készülék



4.9. ábra. Húzásra alkalmas befogó keret



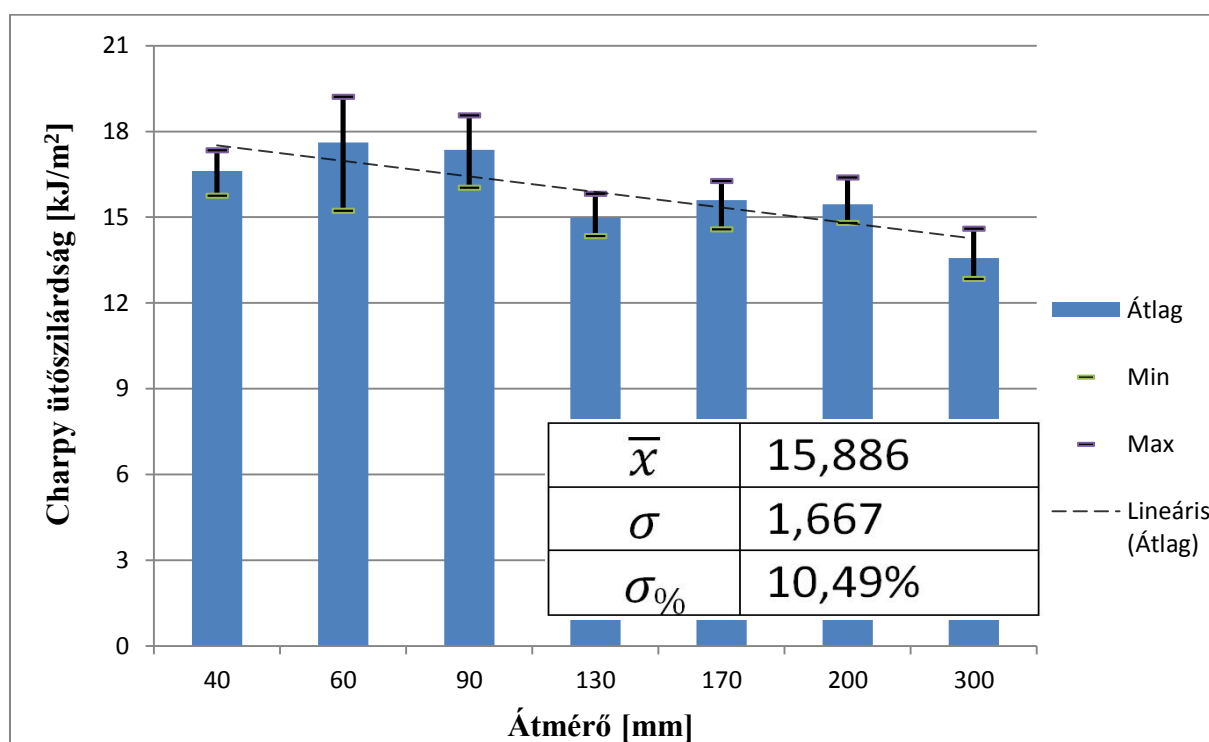
4.10. ábra. Tiszta hajlításra alkalmas készülék

5. EREDMÉNYEK

A kutatásom során elvégzett mérések eredményeivel és azok kiértékelésével foglalkozom ebben a fejezetben. Az eltérő mérési módszerek eredményeit külön taglalom. A két mérés során összesen 210 darab próbatestet vizsgáltam, ez minden egyes átmérő esetében 30 darabot jelent. Ezekből kapott eredmények alapján végeztem el a kiértékelés.

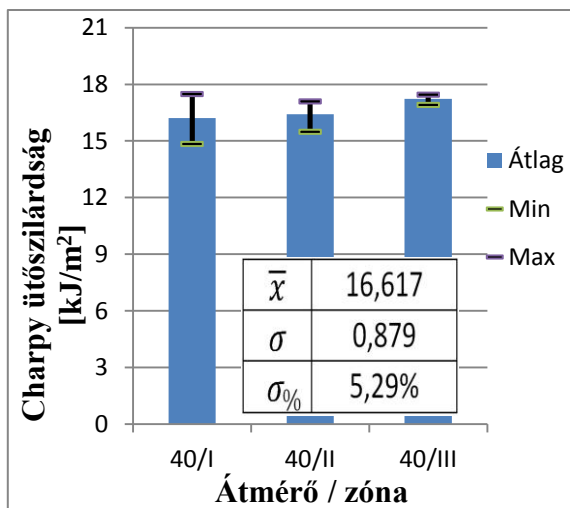
5.1. Charpy ütővizsgálat eredményei

A szakirodalmakban fellelhető Charpy ütőmunka értéke a töltetlen bemetszett poliamidok esetén 12 kJ/m^2 . Az általam mért DOCAMID 6G-H megnevezésű PA ettől valamivel nagyobb ütőszilárdságot képvisel. A mérések alapján az átlagos ütőmunka értéke $\bar{x} = 15,89 \text{ kJ/m}^2$, ezt látható az 5.1. ábrán is, ahol az ütőszilárdságot ábrázolom az átmérők függvényében.

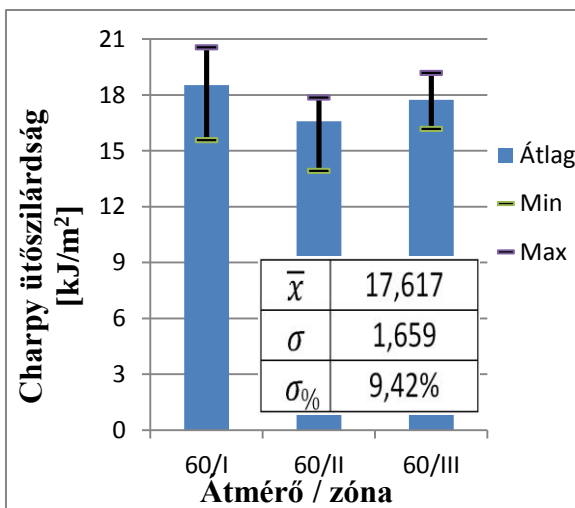


5.1. ábra. Az ütőszilárdság átmérő függvényében

Az ábrát nézve rögtön feltűnik egyfajta csökkenő tendencia, a növekvő átmérők ütőszilárdsága csökken. Az átlag értékhez képest a minták százalékos szórása $\sigma\% = 10\%$ feletti. A 100 mm alatti rudak ütőmunkája közel azonos, a 60-as és a 90-es között szinte alig van különbség. A 100 mm feletti átmérőknél ez ugyanúgy megfigyelhető, a 170-es és 200-as átmérők ütőmunkája megegyezik.



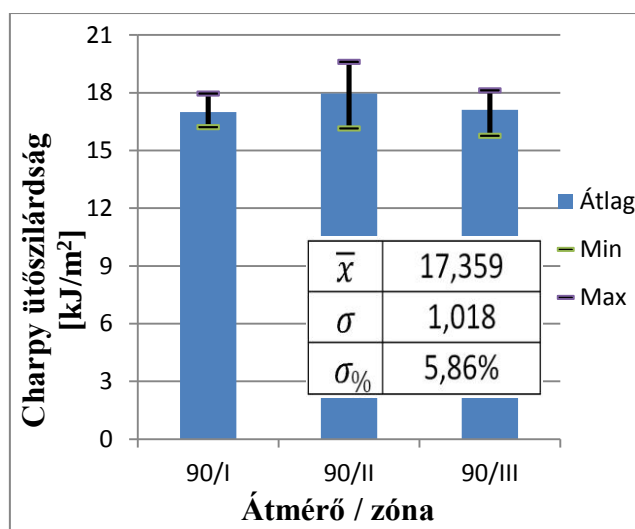
5.2. ábra. 40 mm rúd ütőmunkája



5.3. ábra. 60 mm rúd ütőszilárdsága

A 40 mm átmérőjű rúdból vett minták ütőmunkája közel azonos a zónákat tekintve (5.2. ábra.), viszont a különböző zónák szórása eltér, az I. zónától a III. zóna felé csökken a szóródás. Az átlaghoz képest a 40-es rúd ütőállóbb, és a relatív szórása is csupán a fele.

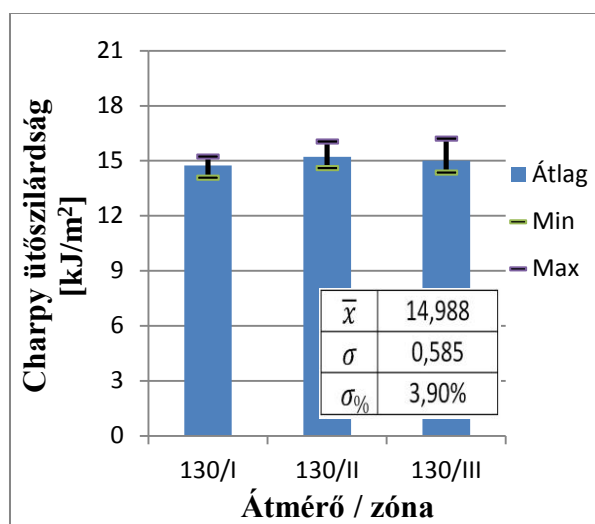
A 60-as rúd eredményeinél az az érdekesség állt elő, hogy ez bír a legmagasabb ütőszilárdsággal, és a legnagyobb relatív szórással is (5.3. ábra). A tömb két szélső részéből vett minták ütőszilárdsága valamivel nagyobb, mint a középső részen lévők. A százalékos szórása megközelíti az átlag százalékos szórását.



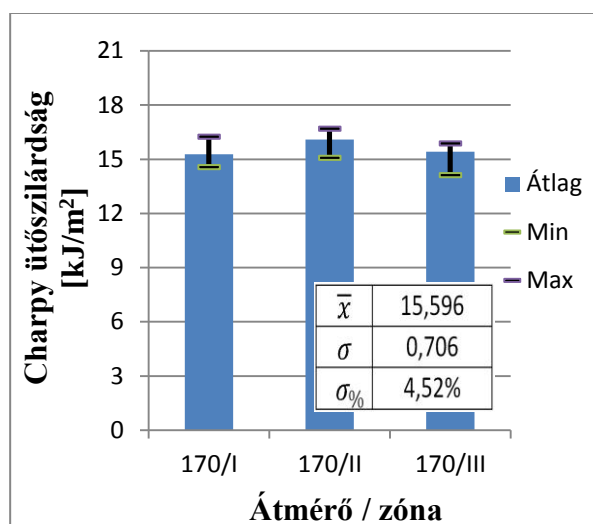
5.4. ábra. 90 mm átmérő próbatesteinek ütőszilárdsága

A 90-es rúd ütőmunka értékei majdnem megegyeznek a 60-val, viszont a szórása jóval kevesebb. A 60-as rúdhöz képest a zónák szórása is ellentétes, itt a II. zóna szórása a legnagyobb, az I. és III. zóna homogénebb.

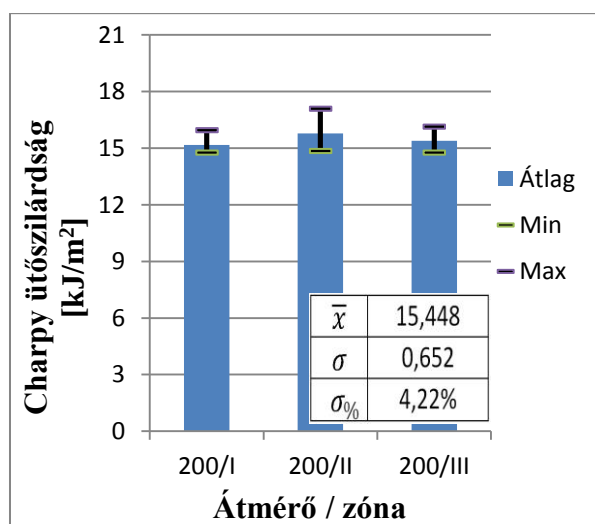
A 100 mm feletti rudak ütőmunkája csökken, de ezzel együtt a várható érték százalékos szórása is csökken. Ez alól a 300 mm-es rúd kivétel, mert annak a legkisebb az ütőszilárdsága és a legnagyobb a szórása a 100 mm feletti átmérők között. A 130-as, 170-es és 200-as rudak ütőszilárdságáról elmondható, hogy kis mértékben térnek el, ez a zónákra is igaz. Ezen átmérőknél a százalékos szórás értéke 5% alatti. Ezek a megállapítások láthatók az 5.5. ábrán, 5.6. ábrán és az 5.8. ábrán.



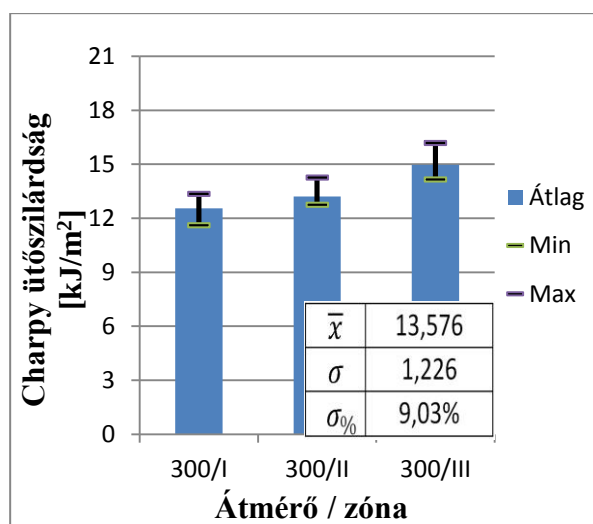
5.5. ábra. 130-as átmérő ütőmunkája



5.6. ábra. 170 mm-es rúd ütőmunkája



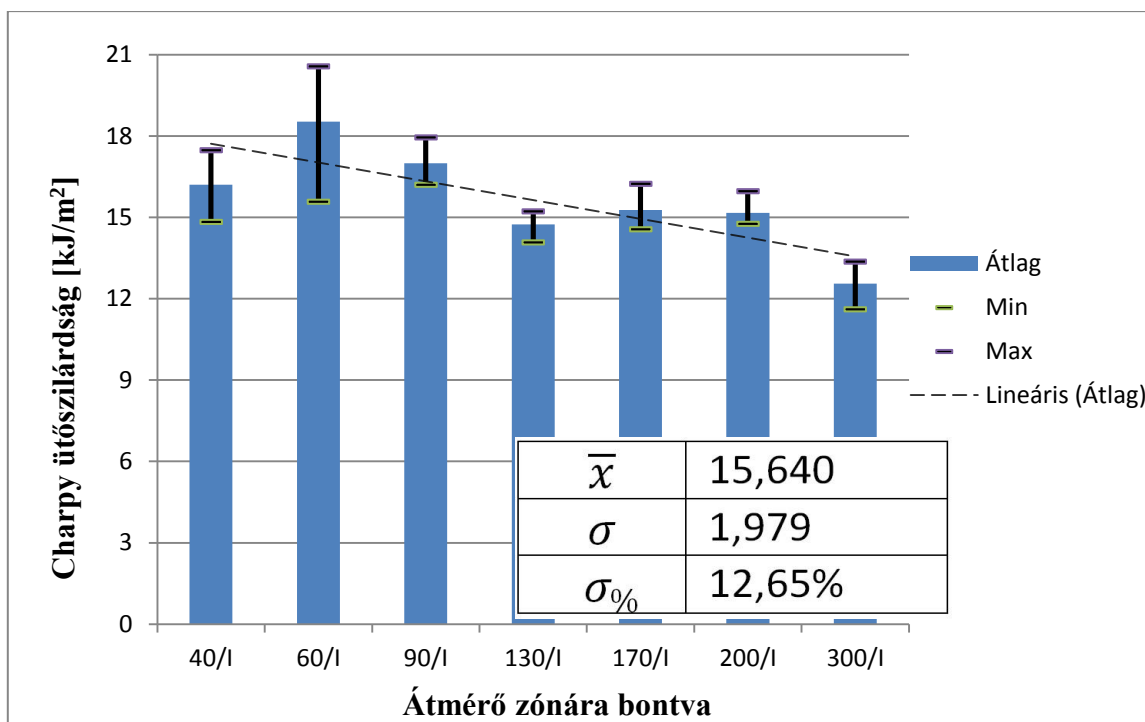
5.7. ábra. Ütőszilárdság 200-as átmérőnél



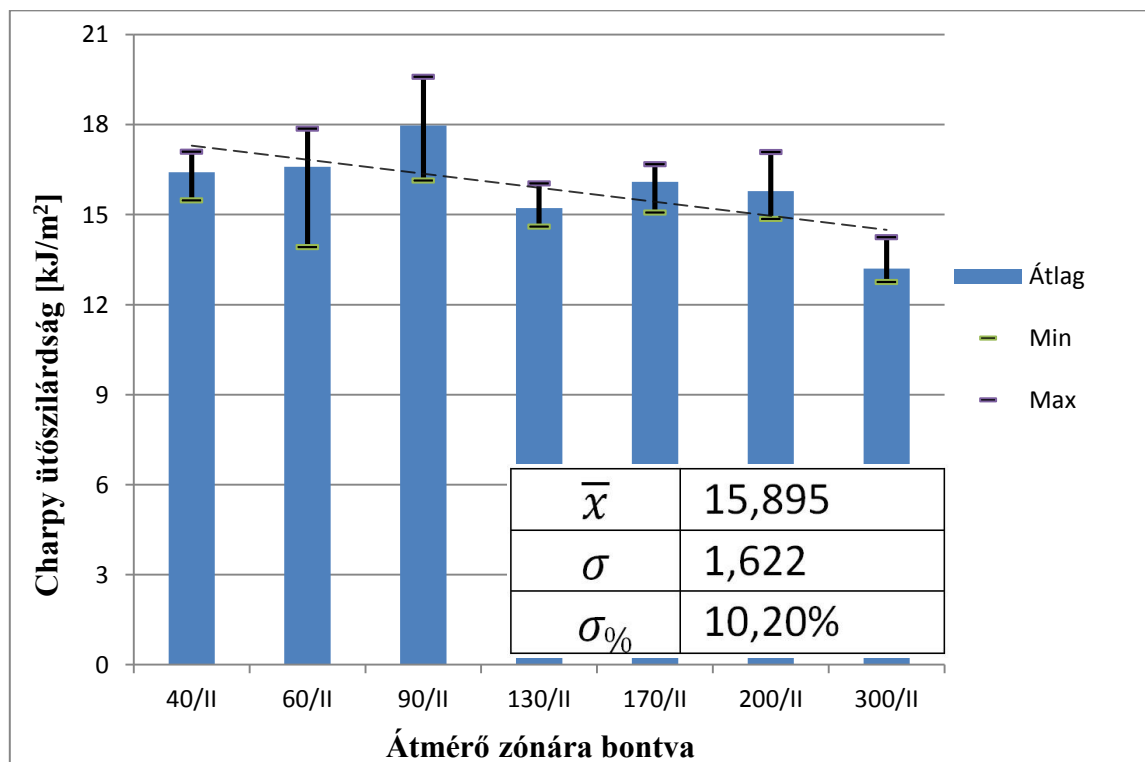
5.8. ábra. Ütőszilárdság 300-as átmérőnél

Az átmérők zóna szerinti csoportosítása során látható, hogy az I. zónából kiforgácsolt próbatestek trendje hasonlít leginkább 5.1. ábra összesített eredmények trendjére (5.9. ábra). A II. zónáról is elmondható, de igazán a III. zóna ütőmunkája és szórása a legkiegyensúlyozottabb (5.10. ábra; 5.11. ábra.).

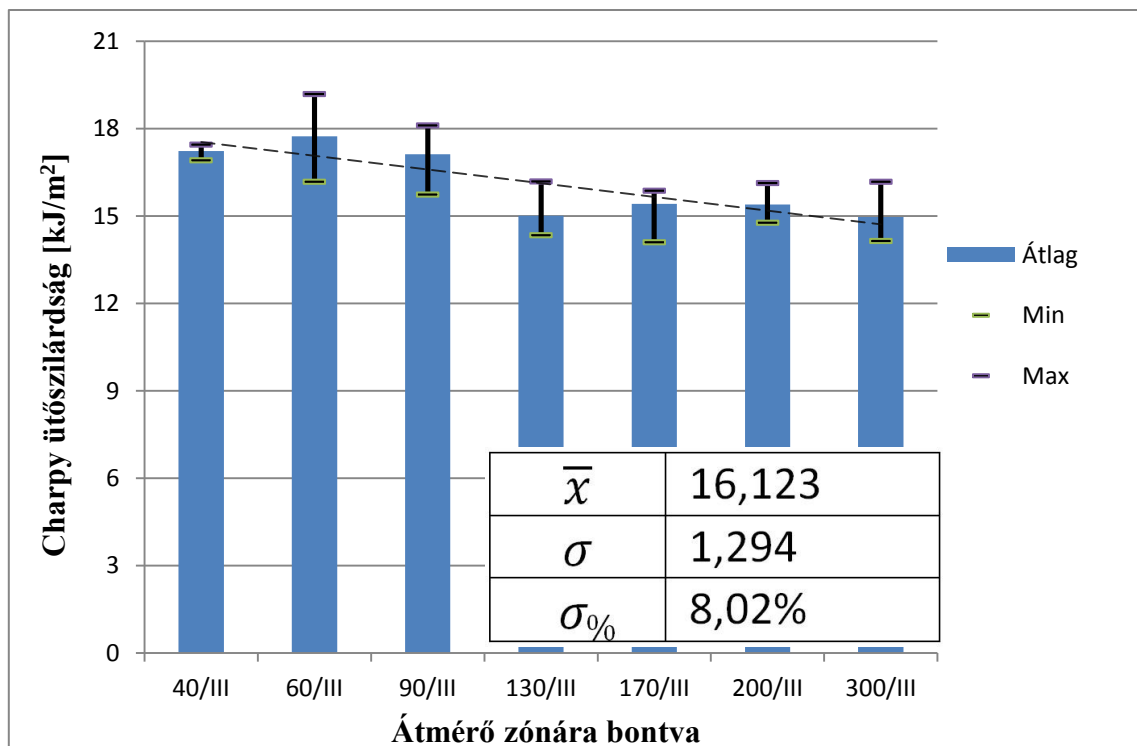
A zónák szórásán csökkenést lehet észlelni, ami az I. zónától a III. zóna felé mérséklődik. Az ütőmunka viszont ezen irányba minimálisan, de növekszik.



5.9. ábra. A rudak I. zónájának összesített ütőmunkája



5.10. ábra. A rudak középső részéből vett minták ütőszilárdsága



5.11. ábra. A III. zóna ütőszilárdsága az átmérők függvényében

A Charpy ütővizsgálatból kapott ütmunka értékei alapján megállapítható, hogy az átmérők és a különböző zónák között egyértelműen csökkenő trend látható az ütőszilárdságban, az átmérők növekedésével. Az átlagos ütmunkától való eltérés százalékban kifejezett értéke 10%, de ez több átmérő esetén csupán csak a felét érte el. Elmondható még, hogy a III. zóna mérései lettek a legkiegyensúlyozottabbak, a legmagasabb ütmunkát a 60 mm-es átmérő próbatestein, a legalacsonyabbat a 300 mm-es rúd mintáin mértem. Továbbá a mérések kimutatták, hogy a gyártástechnológiából adódóan van egy minimális eltérés az ütőszilárdságban a 100 mm feletti és alatti rudak esetén.

5.2. Ütve szakítás eredményei

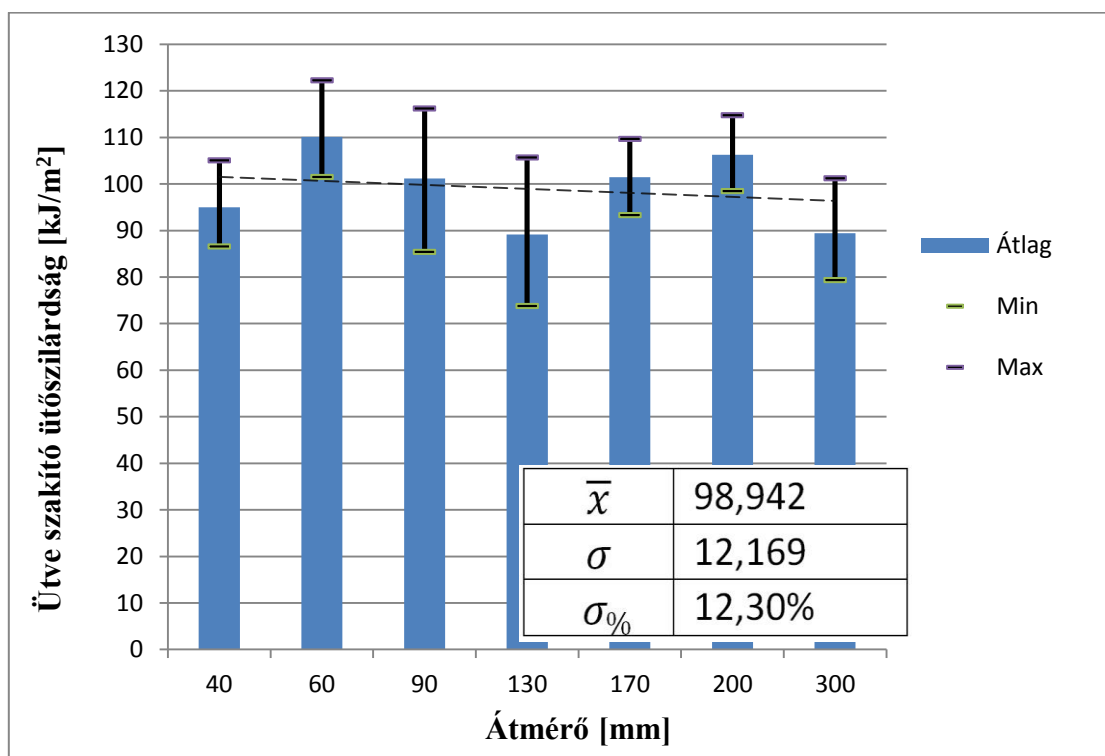
A szakirodalmakban kevés helyen találhatóak meg a polimerek ütve szakító szilárdsága. Ez a mérési módszer kevésbé elterjedt, a dinamikus szilárdsági vizsgálatok közül inkább a Charpy és az Izod ütővizsgálatot szokták alkalmazni. Az ütve szakító vizsgálatot azokon az anyagokon szokás elvégezni, amelyek nehezen vagy egyáltalán nem törnek el.

Az ütve szakítás ütőszilárdságának értéke kJ/m^2 -ben magasabb, mint a Charpy ütőszilárdság. Ez az eltérő mérési elvből fakad, ezért a mérések számszerű összehasonlítása nem hoz semmilyen eredményt.

Viszont a kapott értékekből meghatározható trendek, átlagok és szórások alakulását már érdemes lehet összehasonlítani a Charpy ütővizsgálatával.

Az ütve szakító mérések eredményei alapján az ütmunka 89 kJ/m^2 és 106 kJ/m^2 között mozgott, aminek az átlagos ütőszilárdsága $\bar{x} = 98,94 \text{ kJ/m}^2$, és százalékos szórása 12,3% -os (5.12. ábra.). A Charpy ütővizsgálat átlagos százalékos szórásához képest ez az érték valamivel magasabb. De ez a magasabb szórás az ütve szakító vizsgálatok eredményeiben mindenhol megfigyelhető. Az átmérő szerint kimutatott ütőszilárdság esetén a 100 mm feletti, és alatti tartományban ugyan az az irányvonal alakult ki.

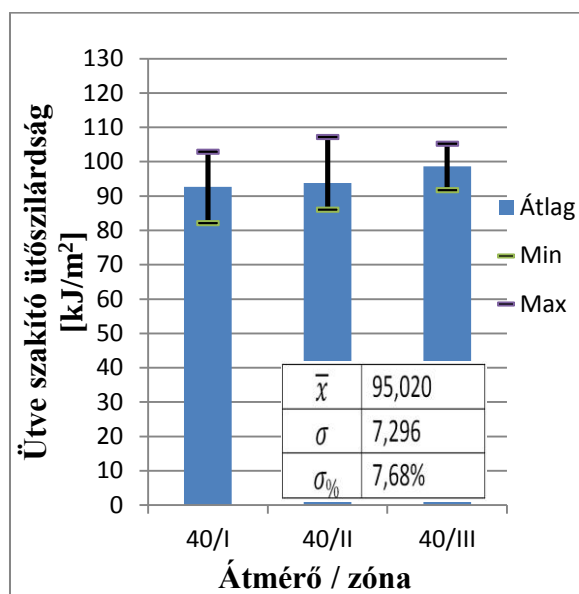
A 100 mm alatti átmérők közül a legmagasabb ütőszilárdság a 60 mm-es rúdnál volt mérhető, a 40-es és a 90-es rudak ütmunkája alacsonyabb ettől. A 100 mm feletti átmérőknél ez szintén hasonlóan alakul, ott a 170 mm-es és a 200 mm-es átmérőkből kivett minták ütmunkája a legmagasabb, a 130-as és 300-as teljesen megegyezik, amelyek átlagosan 15 kJ/m^2 kevesebb ezektől.



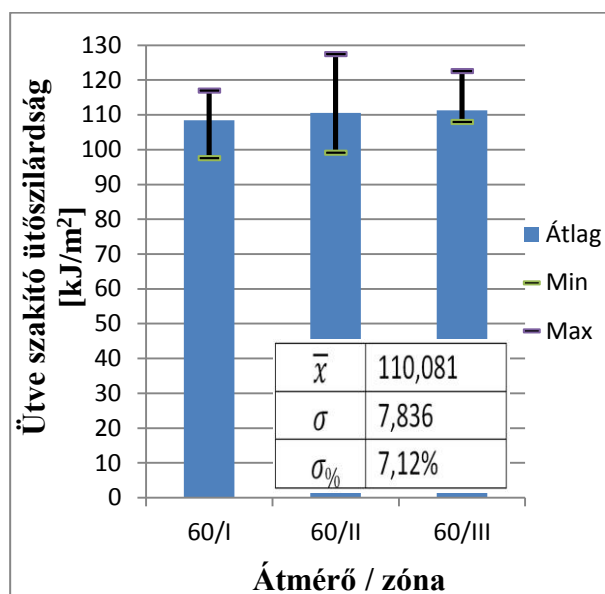
5.12. ábra. Összesített ütőszilárdság az átmérő függvényében
ütve szakító vizsgálat alapján

Az átmérők közötti szórás hasonló trendet mutat, mint a Charpy ütővizsgálat eredményeinél. Viszont itt a legnagyobb szórást a 300 mm-es anyagnál mértem, ami meghaladta a 15% -ot (5.19. ábra).

Az üte szakításnál a 40-es, 60-as, 170-es és 200-as rudak mérései alkalmával a szórás szinte hajszálpontosan megegyezik (5.13. ábra; 5.14. ábra; 5.17. ábra; 5.18. ábra). Viszont a százalékos szórás mértéke nagyobb, mint a Charpy ütővizsgálatnál.

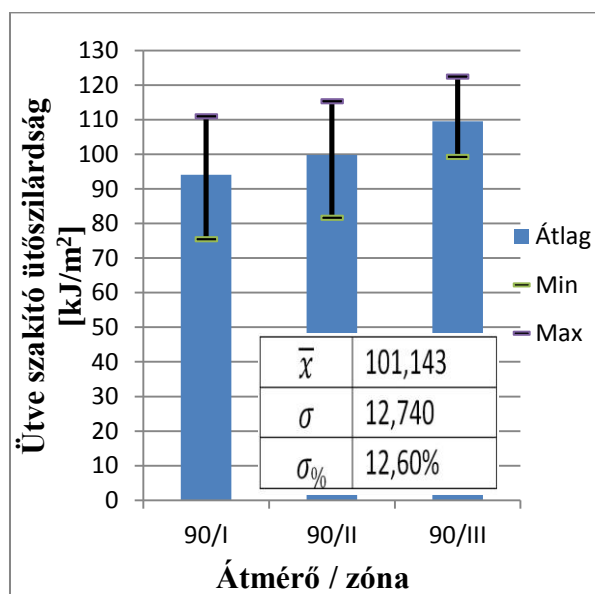


5.13. ábra. 40 mm-es rúd ütőszilárdsága

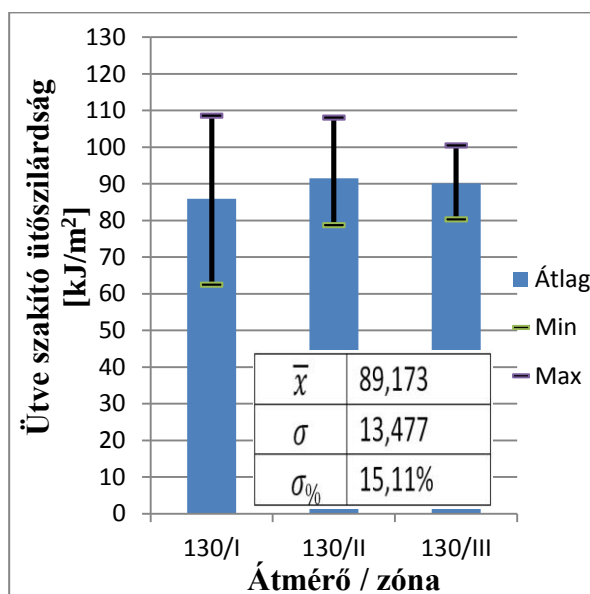


5.14. ábra. Ütőmunka 60 mm-es átmérőnél

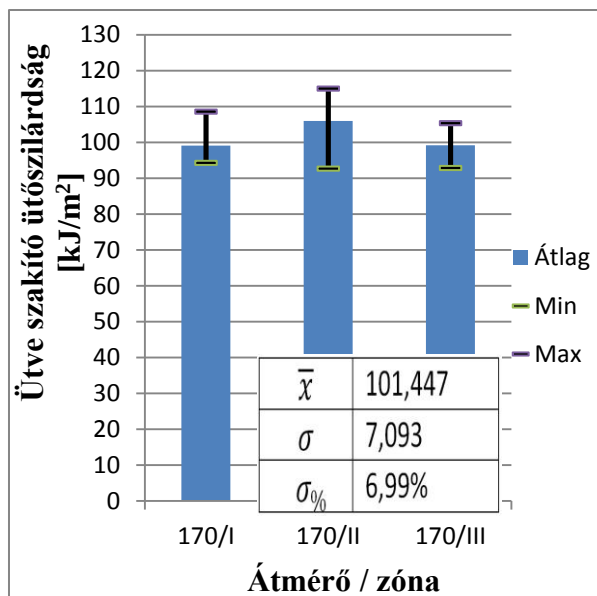
A 90 mm-es, 130 mm-es és 300 mm-es átmérők vizsgálatai 10% feletti szórást mutatnak (5.15. ábra; 5.16. ábra). A 60-as, 170-es és 300-as átmérők kivételével, ahol a II. zóna szórása a legnagyobb, minden másik esetben egyfajta szórás csökkenés figyelhető meg a zónák egy meghatározott irányvonalát nézve.



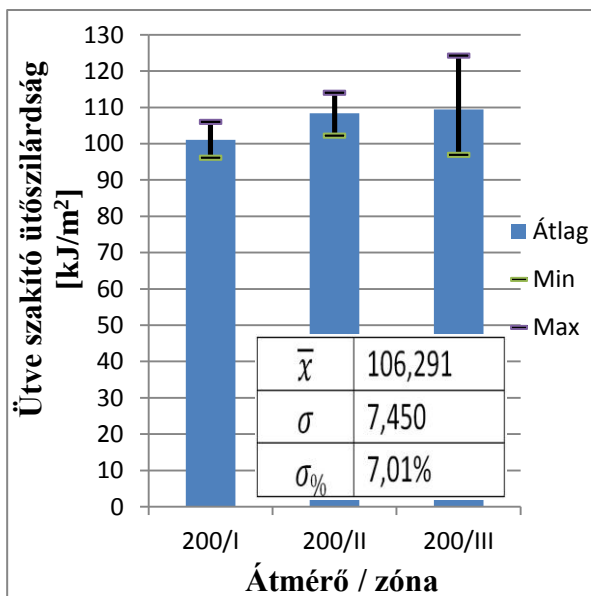
5.15. ábra. Ütőmunka 90-es rúdnál



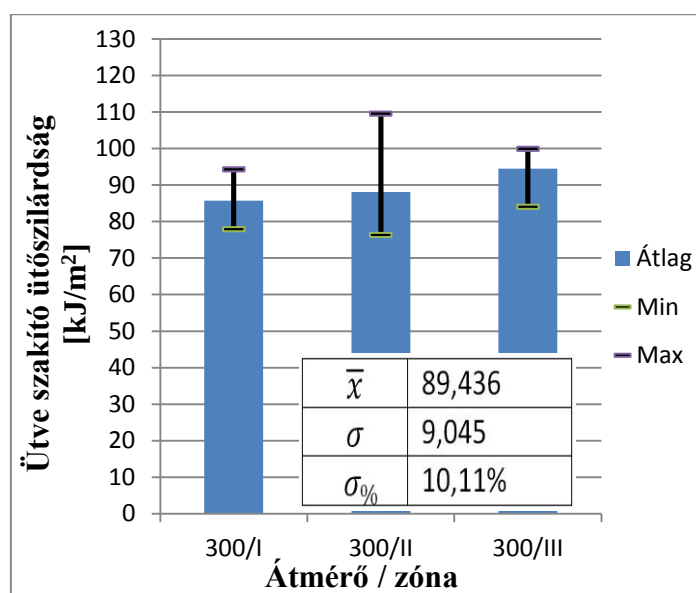
5.16. ábra. Ütőmunka 130-as rúdnál



5.17 ábra. 170-es átmérő ütőszilárdsága

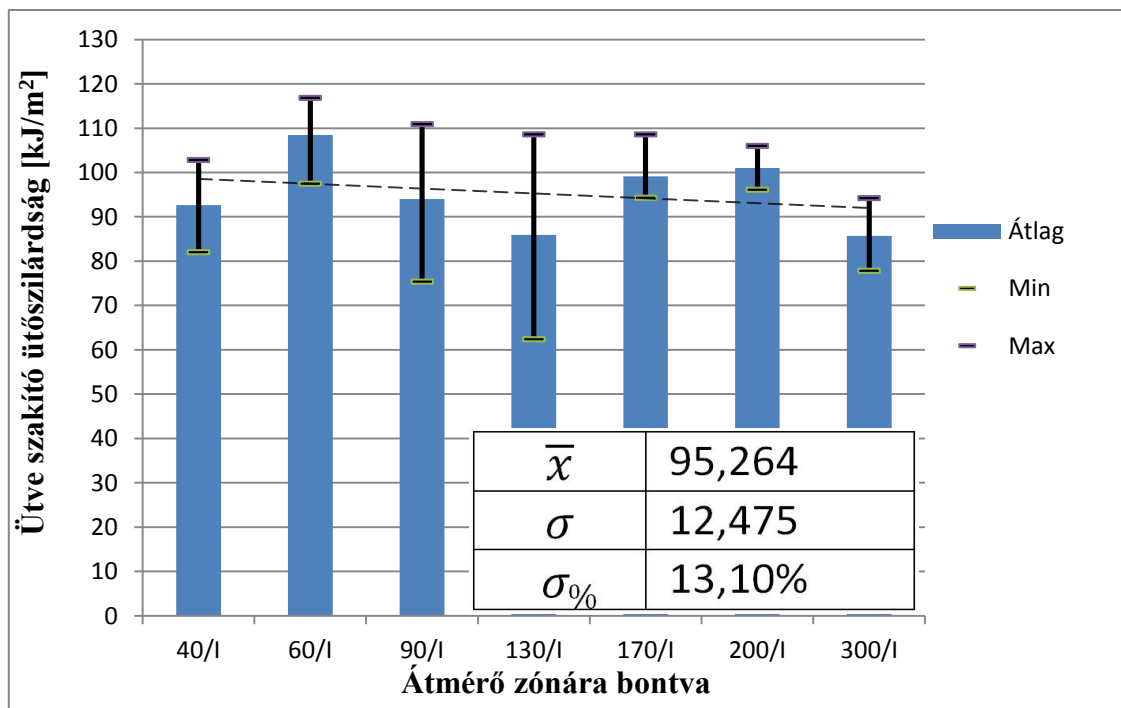


5.18 ábra. 200-as átmérő ütőszilárdsága

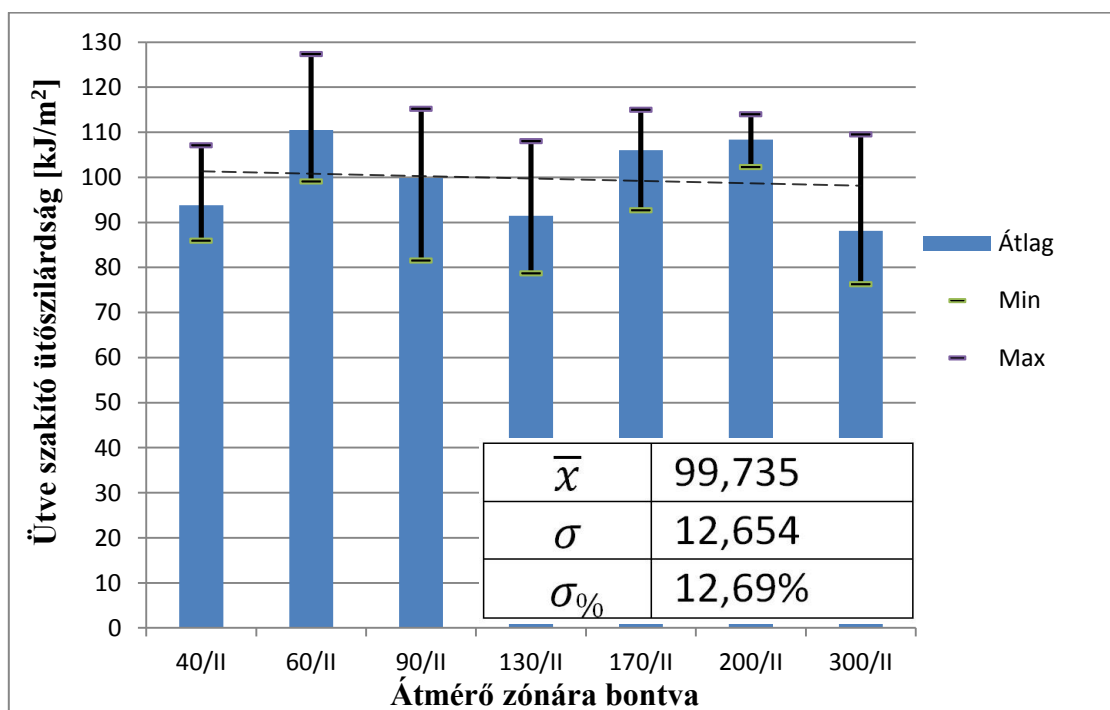


5.19. ábra. Ütőmunka értéke 300 mm-es átmérő esetén

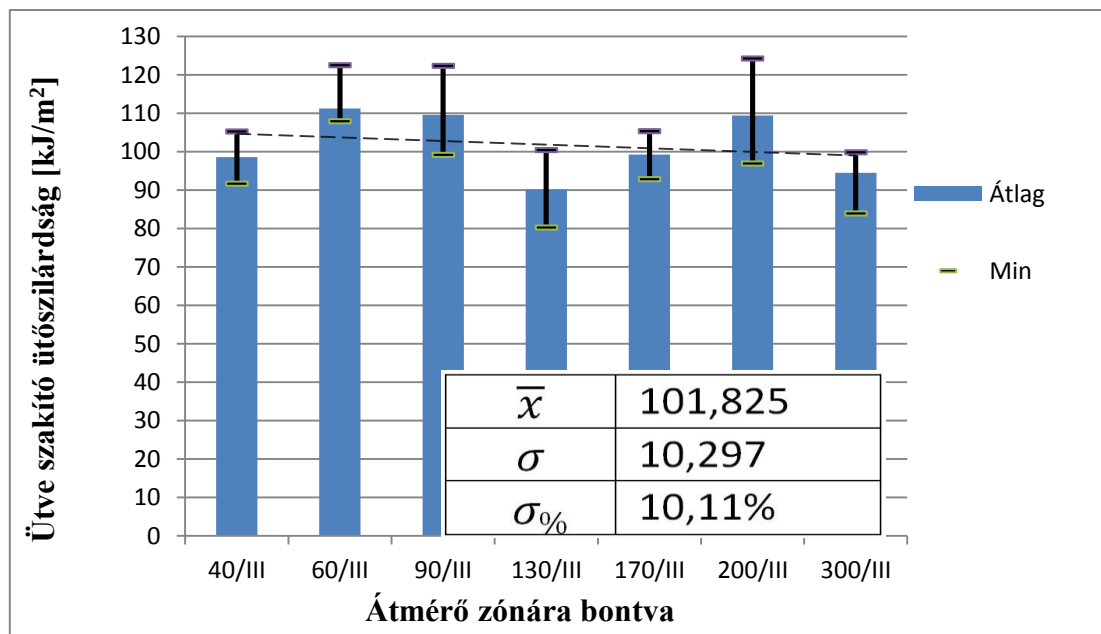
A rudak zónáinak összehasonlításánál az ütőszilárdságok átlagos értéke megegyezik. Mind a 3 zóna esetében ugyanaz a trend mutatkozik meg az ütőmunkát figyelembe véve. A 40-es, 90-es, 130-as, és 300-as ütőmunkája alacsonyabb, mint a 60-as, 170-es és 200-as rudak mintáié. A százalékos szóródás csökken az I. zónától a III. zóna felé haladva. (5.21. ábra; 5.22. ábra; 5.23. ábra;)



5.20. ábra. Ütve szakító szilárdság I. zóna



5.21. ábra. Ütve szakító szilárdság II. zóna



5.22. ábra. Ütve szakító szilárdság III. zóna

Az ütve szakító mérések eredményei is kimutatták, hogy az ütőszilárdságban van némi különbség a 100 mm alatti és feletti rudak között. Az átlagos ütőmunkához képest ez az eltérés százalékos szórásban kifejezve 12,3%. Az 5.12. ábrában ábrázolt ütőmunkák esetén nehezen lehet bármilyen csökkenő vagy növekvő tendenciát megfogalmazni.

Az egyes zónák különálló vizsgálata kimutatta, hogy a III. zóna értékei a legkiegyensúlyozottabbak. A mérések során kapott legnagyobb ütő szilárdságot a 60 mm-es átmérő mintái produkálták, a legalacsonyabbat pedig a 130 mm-es rúdból kimunkált próbatestek. A szórások mértéke nagyobb, mint a Charpy vizsgálat eredményeiből kapott szórás, de általánosságban kimutatható, hogy az ütve szakító vizsgálatnál ez a tágabb szórás a mérések során mindenhol megjelenik.

5.3. Optikai feszültségvizsgálat eredményei

A vizsgálat célja a bemetszés érzékenységének kimutatása, statikus terhelés mellett eltérő bemetszési sugarakkal. Ezért különböző rádiuszú és eltérő mélységű átlátszó bemetszett próbatesteket alakítottam ki a vizsgálatához, amelyeknek az alapanyaguk polikarbonát volt.

A próbatestek méretét az MSZ ISO 179 és az MSZ ISO 8256 szabványok szerint készítettem. Adott mérések esetén a terhelések megegyeztek.

A vizsgálat összetettségéből fakadóan a könnyebb értelmezhetőség érdekében a próbatestekre egyszerűsített jelöléseket használok, amik a következők:

5.1. táblázat

Próbatest jelölései

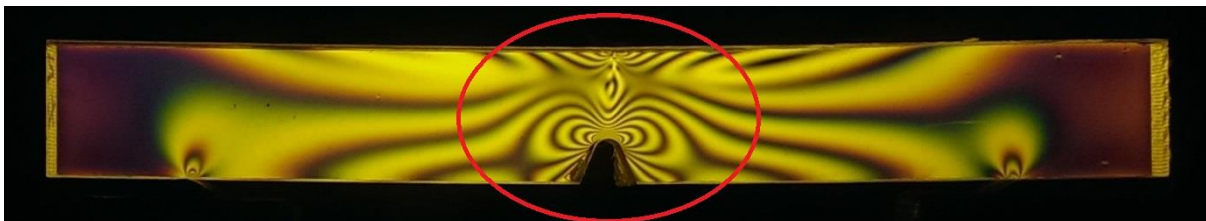
Próbatest típusa	Próbatest hossza	Próbatest szélessége	Próbatest vastagsága	Maradó keresztmetszet	Bemetszés rádiusza
A	80 mm	10 mm	4 mm	8 mm	1 mm
B				7 mm	1 mm
C				8 mm	0,25 mm
D				6 mm	1 mm
E				4 mm	1 mm
F				6 mm	0,25 mm

A Charpy ütővizsgálat igénybevételét leegyszerűsítettem a könnyebb modellezés érdekében. Az alaktényező nem függ a terhelő erő nagyságától, csupán az igénybevétel módjától és az alkatrész alakjától [12]. Ezért a dinamikus ütés helyett statikus terhelést alkalmaztam. A vizsgálat során a terhelés az arányossági határt nem lépte át. A Charpy vizsgálat szerint 3 ponton történik a terhelés felvétel, a bemetszett oldalon a felfekvés távolsága megegyezik a Charpy ütővizsgálatéval, és a hornyolással szembeni oldalon az ütés helyén is megtámasztottam.

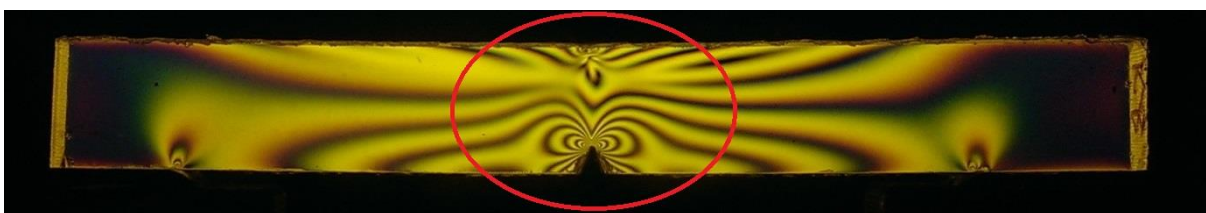
Ezt a módszert 3 pontos hajlításnak is nevezhetném. A vizsgálat eredményei az 5.23. ábrán, az 5.24. ábrán és az 5.25. ábrán látható.



5.23. ábra. 3 pontos hajlítás A típusú próbatest

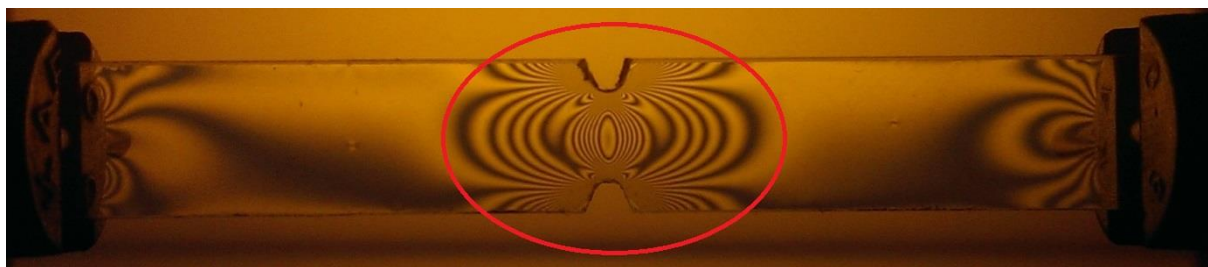


5.24. ábra. 3 pontos hajlítás B típusú próbatest

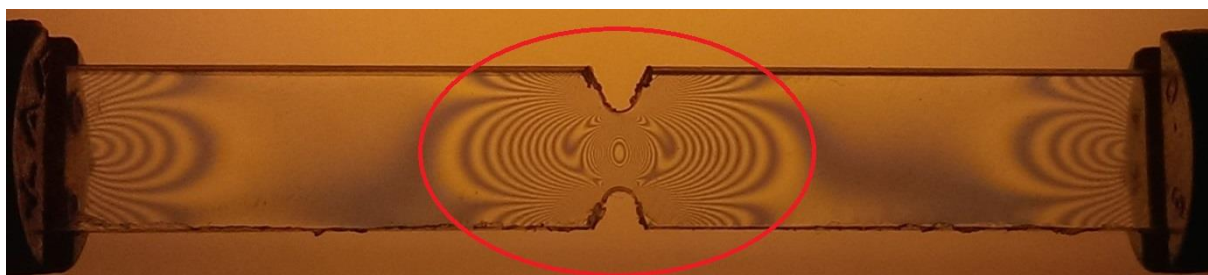


5.25. ábra. 3 pontos hajlítás C típusú próbatest

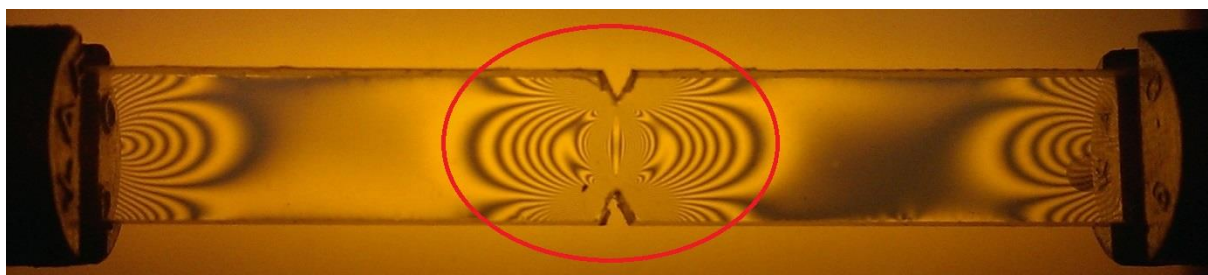
A tiszta húzás esetén csak tengelyirányú, centrikus erő terheli a keresztmetszetet, az igénybevétel hatására keletkező feszültségeloszlások az 5.26. ábrán, az 5.27. ábrán és az 5.28. ábrán figyelhetők meg.



5.26. ábra. Tiszta húzás D típusú próbatest



5.27. ábra. Tiszta húzás E típusú próbatest



5.28. ábra. Tiszta húzás F típusú próbatest

Különböző bemetszések esetén, a Charpy-féle 3 pontos igénybevétel, 2 ponton megtámasztott és azzal szemben a kalapács támadáspontjánál megterhelve. Látható, hogy van jelentős különbség, az élesebb bemetszésnek a feszültség koncentráció hatása vizuálisan megjeleníthető statikus terhelés hatására. Ugyanez az ütve szakító mérés két oldali bemetszés esetén húzó igénybevételnél is megjelent. Elmondható, hogy volt értelme az előkísérletekkel optimalni a vizsgálati rendszert, az anyag tényleges szívósságának megfelelő szabványos bemetszés és kalapács energia kiválasztásának céljából.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

A kutatás eredményei, és az abból levont következtetések a következő pontokban olvashatók:

- A Quattroplast Kft. által gyártott magnézium katalizálású, natúr öntött poliamid 6-ról elmondható, hogy szívóssága jobb az átlagos poliamidoknál.
- Az ütve szakító vizsgálatból kapott eredmények kevésbé érzékenyek az átmérő változására, nehéz megfogalmazni csökkenő vagy növekvő trendet. Míg a Charpy ütővizsgálat esetén egyértelműen nagyobb átmérővel csökken az ütőszilárdság.
- Mind a kettő mérési módszer alkalmával az eredmények kimutatták, hogy a 100 milliméter feletti és alatti rudak ütőszilárdsága eltérő. A 100 mm alatti átmérők ütőmunkája magasabb értéket képvisel, de ez a különbség a polimerek esetén nem jelentős.
- A legnagyobb ütőmunkát mind a két fajta mérés során a 60 milliméteres átmérőjű rúdból kialakított próbatesteken mértem.
- A meglévő poliamid 6 öntéstechnológia szívósság szempontjából a 60 mm-es rúdátméretekre tekinthető optimalizáltak. Ez azt jelenti, hogy a technológia során a polimerizációnál keletkező kristályok mérete, kristályossági fok, és a visszamaradó monomer tartalom eredő hatása a 60-as átmérőjű rúd esetében a legkedvezőbb.

Az mérések során tapasztalt ütőszilárdságok szórásának oka a gyártástechnológiában keresendő. Ezek az anyagok elméletileg adiabatikus polimerizáció során keletkeznek, ami annyit jelent, hogy a rúd egy kezdeti hőfokról exoterm folyamat révén átmelegszik. A 100 mm alatti és feletti rudaknál ez eltérő módon érvényesül az adott gyártástechnológiával. Minél kisebb egy rúd átmérője, annál kevésbé igaz, hogy adiabatikus a rendszer. A polimerizációs folyamat alatt álló rudak átmelegedése, a rendszer hőtani egyensúlya, nagyon sok külső körülménytől függ. Az egyik legfontosabb a tényleges átmérő, hiszen pl. 50 mm-es átmérő alatt a külső és a belső hőmérséklet között nagyon kevés az eltérés. Minél nagyobb az átmérője egy adott rúdnak a gyártás folyamán, annál inkább képes arra a belseje, hogy akár 40-50 °C fokkal magasabb hőfokra melegedjen, mint a külső kérge. Végeredményben a technológia hő-dinamikája fogja meghatározni az adott termék mechanikai jellemzőit, többek között az ütőszilárdsági tulajdonságokat.

Az ütészilárdságot a következő tényezők befolyásolják:

- Kristályosság: A külső kéreg miután alacsonyabb hőfokon képződik, és gyorsabban is hűl le, ezért a krisztallitok mérete jóval kisebb, mint a melegebben maradó magé. A mag hőmérséklete magasabb és lassabban is hűl le, mivel a hővezetése ezeknek az anyagoknak igen rossz.
- Monomer tartalom: A rúd héjzónájából a belső mag felé közeledve megállapítható, hogy a kis molekulájú monomer anyagból az egyensúlyi folyamat révén nagyobb mennyiség marad benne az anyagban. Az egyensúly ugyanis a hőfok emelkedésével a monomer felé tolódik el, ez egyfajta kémia egyensúly. A belső magban ezért nagyobb lesz a monomertartalom. (Ez adott mérésekkel pontosan meghatározható.) Tehát a monomertartalom befelé növekszik, ez azt jelenti, hogy a monomer, mint fizikai lágyító lesz benne az anyagban, és mint fizikai lágyító egyre növeli az ütésállóságot.

A rúd héjzónájából a magzóna felé haladva, a növekvő monomer tartalom lágyító hatása ellentétes a nagyobb krisztallit méretekből adódó nagyobb szilárdsággal és kisebb alakváltozási képességgel. A magzónában a hosszabb polimerizációs időtartam és a lassabb lehűlés miatt a kristálymagok nagyobb méretűre tudnak növekedni, tehát a szferolitos (gömbkristályos) struktúra durvább lesz. Ez a szferolitos struktúra törékenyebbé, ridegebbé teszi az anyagot, alakváltozási képessége kisebb.

Kísérleteimmel bizonyítottam a magzónából vett anyagminták alapján, hogy az ipari termelésben lévő poliamid 6 gyártástechnológiánál, a monomertartalom lágyító hatása kevésbé érvényesült, mint a nagyméretű kristályok hatása.

A téma továbbviteli lehetőségei:

- Az öntött rudak gyártástechnológiából fakadó szélső részek ütőmunka eltérésének további vizsgálata, a rudak öntési elrendezésének tudatában.
- A bemetszés érzékenység okainak további vizsgálata.
- Megvizsgálni azt, hogy a nagyatmérőlű tömböknél a héjzónában, magzónában milyen a termékek szívóssága, mechanikai tulajdonsága, hiszen ott sokkal jobban előtérbe kerülnek a polimerizációs technológiával kapcsolatos jelenségek, mint mondjuk egy 40-es vagy 60-as rúd esetében.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatásom kezdetén arra a kérdésre kívántam választ adni, hogy milyen mértékű ütőmunka eltérés van a különböző átmérőjű öntött rudak között. A cél megvalósítása érdekében a kapott rudakból próbatesteket munkáltam ki, elvégeztem a méréseket, majd a kapott adatokat a matematikai statisztika szabályai szerint kiértékeltem. Munkám során felhasználtam az egyetemi forgácsoló gépeket, a Quattroplast Kft. anyaglaboratóriumába megtalálható bemetsző készüléket és ingás ütőművet. Az ütőműbe épített számítógépes érzékelő rendszer segítségével a mérési eredményeimet kiértékelő programmal kezeltem, és dolgoztam fel.

A próbatestek kialakítása több lépésben történt. Kezdetben kör keresztmetszetű tömböket szalagfűrészten daraboltam fel meghatározott zónák szerint. A kapott zóna rudakból további darabolással téglatesteket készítettem, amelyeket marógépen megmunkálva, elkészültek a próbatestek. A bemetszetlen próbatesteken a mérési eljárásnak megfelelő oldalon adott mélységben hornyot alakítottam ki.

A szabványban előírt méretű és bemetszésű próbatesteken Charpy ütővizsgálatot, és ütve szakító vizsgálatot végeztem el. Mérésenként 105 db mintát törtem, illetve szakítottam el.

A kapott adatok feldolgozása, és kiértékelése alapján a kutatás eredményei a következők.

Az általam vizsgált magnézium katalizálású poliamid ütőszilárdsága jobb az átlagos poliamidoknál. A két vizsgálati módszer eredményeiből nem tudtam egyöntetű irányvonalat felállítani. Az ütve szakító vizsgálatból kapott eredmények kevésbé érzékenyek az átmérő változására, nehéz megfogalmazni csökkenő vagy növekvő trendet. Míg a Charpy ütővizsgálat esetén egyértelműen nagyobb átmérővel csökken az ütőszilárdság. Mind két mérési módszer alkalmával az eredmények kimutatták, hogy a 100 milliméter feletti és alatti rudak ütőszilárdsága eltérő. A 100 mm alatti átmérők ütőmunkája magasabb értéket képvisel. A legnagyobb ütőmunkát mind a két fajta mérés során a 60 milliméteres átmérőjű rúdból kialakított próbatesteken mértem.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Andó Mátyás (2010): Műszaki műanyagok kompozitok fejlesztése mezőgazdasági gépészeti alkalmazásokhoz. Ph.D értekezés, Gödöllő: Szent István Egyetem, Műszaki Tudományi Doktori Iskola
- [2] Pék L., Pellényi L., Pálincás I. (2000): Anyagszerkezetten és anyagismeret, Budapest: Dinasztia Kiadó
- [3] Kalácska G. (szerk.) (2007): Műszaki polimerek és kompozitok a gépészmérnöki gyakorlatban. Gödöllő: 3C-Grafika Kft.
- [4] dr. Máthé Csabáné (2007): Műanyagok kiválasztásának szempontjai. Műanyagipari Szemle
- [5] Czikovszky T., Nagy P., Gaál J. (2003): A polimertechnika alapjai. Budapest: Műegyetemi Kiadó
- [6] Kovács Levente (2005): A poliamidok tulajdonságai a feldolgozásai körülmények és a kondicionálás függvényében. Műanyagipari Szemle
- [7] Dr. Bánhegyi György (2004): Poliamidok tulajdonságainak javítása a főlánc módosításával és adalékanyagokkal. Műanyagipari Szemle
- [8] Dr. Varga Csilla (2012): Műanyag kompozitok - 2. rész. Pannon Egyetem Kiadó
- [9] MSZ EN ISO 179-1:2004 Műanyagok. A Charpy-féle ütési jellemzők meghatározása. 1.rész: Nem műszeres ütésvizsgálat
- [10] MSZ EN ISO 8256:2004(E) Műanyagok. Az ütve húzó szilárdság meghatározása
- [11] Dr. Thamm F., Ludvig Gy., Dr. Huszár I., Dr. Szántó I. (1968): A szilárdságtan kísérleti módszerei. Budapest: Műszaki Kiadó
- [12] M. Csizmadia Béla, Nándori Ernő (1999): Mechanika mérnököknek Szilárdságtan. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó