



MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR
MECHANIKAI TECHNOLÓGIAI TANSZÉK
Műszaki Menedzser Szak
Technológiai Blokk



PVC alapú extrudált habok mechanikai vizsgálata

Mechanical testing of PVC based extruded foams

Tudományos diákköri munka

Kelt.: Miskolc, 2012-11-03.

Készítette:	Kriston Zsolt
	G4-BM, Nk.:S2GHT0
Témavezető:	Dr. Kuzsella László
	adjunktus
Konzulens:	Kállai Imre
	tudományos munkatárs

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS	2
1. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	3
1.1. A PVC KLÓRTARTALMÚ POLIMER ANYAGSZERKEZETI FELÉPÍTÉSE	3
1.1.1. Polivinilklorid előállítása.....	5
1.1.2. PVC feldolgozástechnika előkészítő lépései.....	6
1.2. POLIMER HABOK ÉS HABOSÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK	8
1.2.1. Polimer hab	9
1.2.2. A habosítás lehet	9
1.2.3. A habosodás folyamata	9
1.2.4. Polimer hab termékek gyártása.....	9
1.2.5. A habosítási technológiák alapjai	9
1.2.6. Habosított PVC lemezek.....	12
1.3. PVC LEMEZEK ALKALMAZÁSA, GYÁRTÁSA	12
1.3.1. PVC lemez gyártástechnológiái	13
1.4. LEMEGYÁRTÓ EXTRUDÁLÁS TECHNOLÓGIÁJA	13
1.4.1. Lemezgyártó extrudersor felépítése	13
1.4.2. Adagoló-keverő berendezés.....	14
1.4.3. Két csigásextruder.....	16
1.4.4. Szélesrésű lemezgyártó extruderszerszám.....	18
1.4.5. Kallander hengerek.....	20
1.5. A LEMEGYÁRTÓSOR VÉGTERMÉKKÉ ALAKÍTÓ EGYSÉGEI	24
1.5.1. Az elkészült lemeztermék	26
1.6. MŰANYAGOK HÚZÓSZILÁRDSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA.....	27
1.6.1. Műanyagok szakítódigramja	27
1.6.2. Műanyag szakítódigramok anyagminőség szerint.....	28
1.6.3. A húzóvizsgálatból meghatározható mechanikai jellemzők	29
1.6.4. Műanyagok szakítására alkalmas eszközök és berendezések.....	32
2. AZ ELVÉGZETT MÉRÉSEK ISMERTETÉSE	34
2.1. A VIZSGÁLT HABOSÍTOTT PVC LEMEZ	34
2.2. A VIZSGÁLT KEMÉNY PVC LEMEZ	35
2.3. VIZSGÁLATOKNÁL HASZNÁLT PRÓBATESTEK ADATAI	35
3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK, KIÉRTÉKELÉS.....	37
ÖSSZEFOGLALÁS	42
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	42
IDÉZETT FORRÁSMUNKÁK	43

BEVEZETÉS

Jelen tudományos diákköri dolgozat a kazincbarcikai Ongropack Kft gyártástechnológiájával előállított poli-vinil klorid bázisú, extrudált habok előállításának rövid technológiai jellemzését, és mechanikai, elsősorban húzóvizsgálatának eredményeit tartalmazza.

Az extrudálással előállított PVC habosított lemezek a cellás anyagok, szűkebben a cellás polimer kompozitok népes családjába tartoznak. Ezen anyagok rendkívül kedvező termikus tulajdonságaikról és viszonylag nagy fajlagos mechanikai szilárdságukról ismeretesek. Mindezen belül a PVC habosított lemezek kitűnnek jó termokémiai stabilitásukkal, tehát tűzállóságukkal és fotokémiai stabilitásukkal, vagyis napfényállóságukkal. Mindezen rendkívül előnyös tulajdonságaik mellett előállításuk nagyüzemi körülmények között is megvalósítható többféle technológiával is. Tulajdonságaik az adalékanyagok, stabilizátorok, folyósító szerek, habosító anyagok segítségével jól kézben tarthatók, előre tervezhetők.

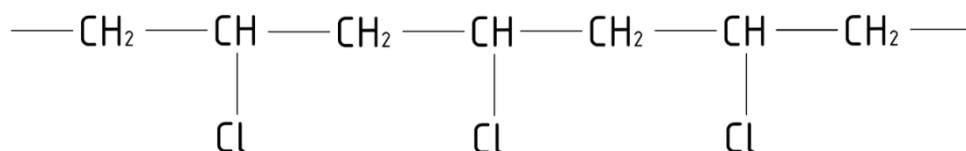
TDK dolgozatomban különböző extrúziós vastagságú és adalékanyag tartalommal (ebből adódóan többféle sűrűséggel) rendelkező PVC lemezt vizsgáltam húzóvizsgálat segítségével, és hasonlítottam össze a húzóerő tulajdonságokat különböző lemezvastagság és sűrűség esetén.

1. Irodalmi áttekintés

Mi is az a polimer? Tehetjük fel a kérdést. A polimerek körülvesznek minket mindennapjainkban. A szerves kémia alapvető részeként jelen vannak a természetben, de még az emberi testben is. Legszűkebb értelmezés alapján olyan hosszúláncú szerves vegyületek a kémiában, amelyek tipikusan sok ezer elemi építőegységből, úgynevezett monomerekből állnak. Ezek a monomerek egymáshoz kötődnek elsődleges kémiai kötéssel. A természet így építi fel elemi, például a cellulózt. Gondoljunk a legősibb építő anyagra, a fára, ami tipikus szálerősítésű polimer kompozit. Az emberi szervezetben a legtöbb szénhidrát tartalmú vegyület, fehérjék, izmok, de még a csont is polimer szerkezetű. A legérdekesebb az, hogy bonyolult szerkezetű polimerekkel magyarázható a szaporodás, az öröklődés, az egészséget fenntartó immunrendszer, és az azt megtámadó vírusok is. A mérnöki polimerek ezekre a kitűnő természeti példákra támaszkodnak. A fémek anyagszerkezetét összevetve a polimerekével, hasonló összetartó erők kutatásával eredményeket érnek el a fém helyettesítő polimer szerkezetű anyagok terén. Térjünk ki a polietilén után a legnagyobb termelésű, és felhasználású poli(vinil-klorid)-ra. A PVC-ből készült termékek az ipar számára kedvező tulajdonságokkal bírnak [1].

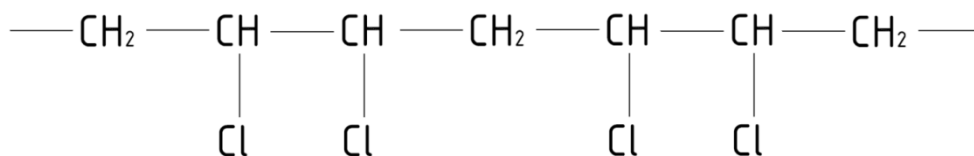
1.1. A PVC klórtartalmú polimer anyagszerkezeti felépítése

A PVC gyártás kiindulási anyaga a klóretén, ismertebb nevén vinil-klorid. A szintetikus polimerek 90%-ának anyagszerkezeti alapja láncszerkezetű. A legegyszerűbb monomer az etilén két szén molekulája közötti kettős kötés felszakad, és molekulalánc képzésére hajlamos lesz egy másik etilén molekulával. Ha az etilén négy hidrogénje közül az egyik helyére belép egy klór molekula, keletkezik belőle egy vinil-klorid molekula. Több vinil-klorid molekula kapcsolódásakor a kettős kötések felszakadása miatt a következő láncmolekula keletkezik:



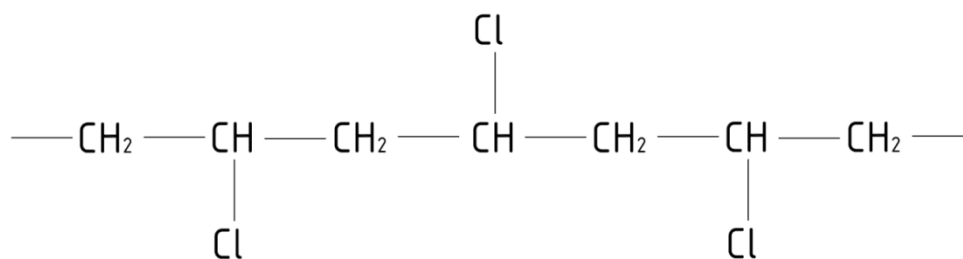
1. ábra. Vinil-klorid molekula általános szerkezeti alakja [2]

Ezen láncban minden klórral rendelkező CH csoportok közé egy metilén(CH₂) csoport lép. Az elrendeződés úgy is létrejöhet, hogy a klórt tartalmazó CH csoportok kettesével rendeződnek, és két rendeződés közbenső csoportja metilén lesz, a következő ábra szerinti elrendezésben:



2. ábra. Avinil-klorid molekulában a CH csoport közé ékelődött metilén (CH₂) csoport [2]

Az 3. ábrában látható vinil-klorid molekula egy másfajta konformációja az úgynevezett „láb-fej” kapcsolat is kialakulhat. A vinil-klorid molekulalánc esetében ez a leggyakoribb szerkezet.



3. ábra. A vinil-klorid molekula „láb-fej” konfigurációja [2]

Láthatjuk, hogy minden második szénatomhoz tartozik klór. Ez az elrendeződés a PVC alacsony kristályosodási foka okozza. Monomer lánc leágazása csupán 1%, ez jelentőséget biztosít a PVC tulajdonságainak, ami miatt részben alkalmazzuk is. A szakítószilárdsága növekszik, ridegsége és üvegedési hőmérséklete nő, oldékonysága csökken. A PVC 56,8 (m/m)% klórt tartalmaz magában. Ez a tulajdonsága eléggé hasznos, hiszen a közönséges konyhasóból kinyert klórhoz könnyen hozzájuthatunk, mert elég nagy mennyiségben jelen van (pl. tengervíz). Tengerek só készletei gyakorlatilag kimeríthetetlenek [2].

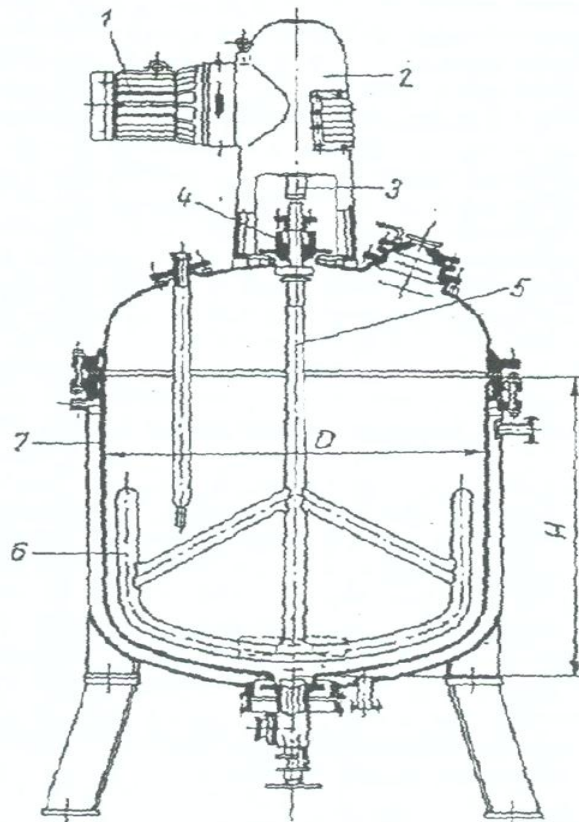
A PVC egyik legfontosabb tulajdonsága a szerkezeti stabilitása, a vegyi-, fény- és hőhatásokkal szembeni kiemelkedő ellenállása. Hő és/vagy fény együttes ráhatásával a szimpla PVC elszíneződik egyre sötétebb lesz az eredetileg fehér színből, és bomlási folyamatokat is mutat. Sósav hasad le a szerkezetből. Ezt különféle adalékanyagokkal, úgynevezett stabilizátorokkal kompenzálják. Anorganikus stabilizátorok (alkáliák), fémorganikus stabilizátorok (fémszappanok) hozzáadásával. Az adalékanyagok a feldolgozás-technikában elkerülhetetlenek [3].

1.1.1. Polivinilklorid előállítása

A poli(vinil-klorid) amorf, hőre lágyuló mesterséges anyagszerkezetű polimer. Polimerizációval állítják elő melyek lényege, hogy melléktermék nélkül láncreakcióban jönnek létre. Az etilén monomerhez klórt adunk. A monomer vinil-klorid -14°C -on, 4bar nyomáson folyadék halmazállapotúvá válik. Feldolgozása manapság háromféle módon történik (PVC gyártás):

- szuszpenziós polimerizációval (82%)
- emulziós polimerizációval (11%)
- tömbpolimerizáció útján (7%)

Emeljük ki a Szuszpenziós polimerizációt, a legolcsóbb, leghatékonyabb, és legelterjedtebb eljárást a PVC gyártás terén. Egy 130m^3 térfogatú, függőleges reaktorban, szakaszos keveréssel állítják elő kb.: 120ford./perc fordulatszámom. A reaktorba vizes fázist és monomert adagolnak és a segédanyagokat is vízzel táplálják be. A vízben lezajlik a reakció, ami a monomert apró cseppekké oszlatja. Az iniciátort (pl. hidrogén-peroxidot) a vinil-kloridban oldva juttatják a reaktorba, majd a rendszert 5-10bar nyomás alá helyezve, alacsony hőmérsékleten 60°C -on intenzíven keverik, 6-12 óráig, 90%-os átalakulásig folytatják. Az keverési folyamat végét, a halmazállapot közelségét jelző nyomáscsökkenés mutatja. A keletkező zagyot majd szeparálják, homogenizálják, szűrik, centrifugálják, és szárítják. Eredményként egy lisztnél durvább finomságú port kapunk. Ez a folyamatirányítás exoterm reakció. A felszabadult hő kártékony hatású, ezt kézben kell tartani. Jól keverhető vizes közegben ez kényelmesen megoldható, és reaktivitási szempontból alacsony reakciójú iniciátorok alkalmazása együttesen segíti. A 4. ábrán feltüntetve látható a hengeres keverő reaktor, amiben a PVC, és sok más polimer is készül. Meghajtása villamos reaktorról történik, ami jelentős nyomaték leadására képes. Ilyen reaktorokban történik a szuszpenziós PVC, az emulziós PVC, a PP(polipropilén), a PAN(polianikril) előállítása is. A reaktor a polimerlánc kialakításának legegyszerűbb gépészeti módja [1].



4. ábra. Kettősfalú (duplikátor), keverős tartály-reaktor [1]

1) villamos reaktor, 2) hajtómű, 3) tengelykapcsoló, 4) tömszelence, 5) tengely 6) keverő, 7) zománcozott autokláv, D) reaktor belső átmérője, H) hasznos magasság

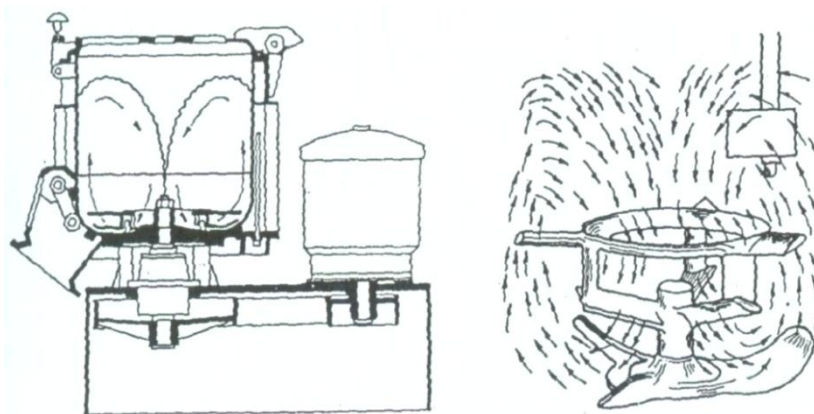
1.1.2. PVC feldolgozástechnika előkészítő lépései

1.1.2.1. PVC porkeverék és granulátum

Szinte elkerülhetetlen alaplépés a polimereknél a keverés. A PVC törzsanyaghoz különféle adalékok keverhetőek, ezáltal érhetjük el a számunkra kedvező anyagtulajdonságokat. A gyártócégek különböző alkalmazási területeiknek speciális igényeit kielégítve választanak alapanyagot. A többkomponensű tulajdonságjavított törzsanyag továbbkerül a tényleges alakadási technológiába, ami lehet extrudálás, kallenderezés, fröccsöntés. Az adalékok lehetnek szemcsés vagy por alakúak, de paszta vagy folyadék halmazállapotúak is. Két keverés típusú technológiát különböztünk meg a polimertechnikában:

- Dry-blend, azaz száraz porkeverés, és
- magas hőmérsékleten ömledék keverés. [4]

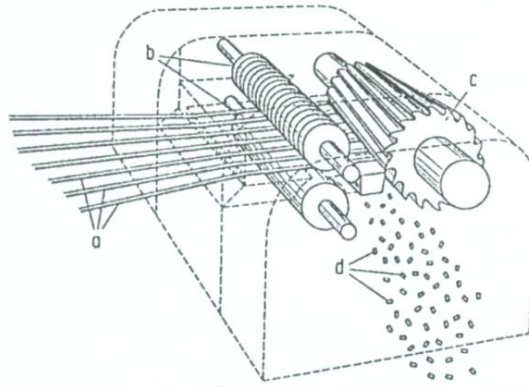
Előbbi szobahőmérsékleten extruderbe, fröcsöntőbe helyezik. Utóbbi közvetlenül lehűtés nélkül kerül a feldolgozóba. Nem kizárt esemény azonban, hogy újragranulálni, szemcsésíteni kell a keverékeket. Keverések kémiai reakciójukat tekintve lehetnek; *diszperzív*, ami komponens méretcsökkenéssel járó intenzív, vagy *disztributív*, eloszlató extenzív keverések. Jellegzetes elnevezések közé tartozik a polimertechnológiában, a kompaund, és a blend kifejezés. Adott célra összeállított keveréket és granulátumot *kompaundnak* nevezzük. A *blend* kifejezés két különböző polimerből összeálló rendszert jelent, nem figyelve azt, hogy létrejött-e kapcsolat a különböző alkotórészek között. Pl.: a polisztirol és a polifenilénoxid keveréke homogén blendet képez. PVC por száraz keverésére tipikusan alkalmazott keverőgép a fluoridágyas örvénykeverő. [1].



5. ábra. Örvénykeverő alapelve [1]

A keverőben, szakaszos nagy sebességű forgás hatására a lebegő szemcsék centrifugálisan áramlani kezdenek. Alapvető laboratóriumi kialakítása néhány literes, és 1000ford./perc feletti fordulattal bír. Ipari kialakítása 1-10m³, 50m/s kerületi sebességű. A nagy fordulat miatt súrlódás lép fel, hatására 100°C-ra felmelegszik a keverék, és könnyedén beépülnek (bediffundálnak) a PVC porba az adalékok. Ezt követően a keveréket eloszlatjuk, majd kinyerjük. Sikeres keverés elve, hogy a keverni kívánt anyagok összetételben, méretben és sűrűségben hasonlóak legyenek [1].

Amint azt tudjuk adalékok segédanyagok döntő jelentőségűek a PVC tulajdonságaiban. Kereskedelmi forgalomba hozatala por állagban, vagy granulátum formában történik. A granulátum 2-5mm méretű, lencseszerű vagy henger alakú szemcsékből áll. Az extrudálási eljárásból kijövő polimer szemcsézése granulálása több technológiával lehetséges. Legegyszerűbb, az extruderből kijövő, még viszkózus képlékeny zsinórszerű polimert, vízfürdőn átjárva megszilárdítják, majd szembeforgó késcs hengerrel darabolják, felaprítják [5].

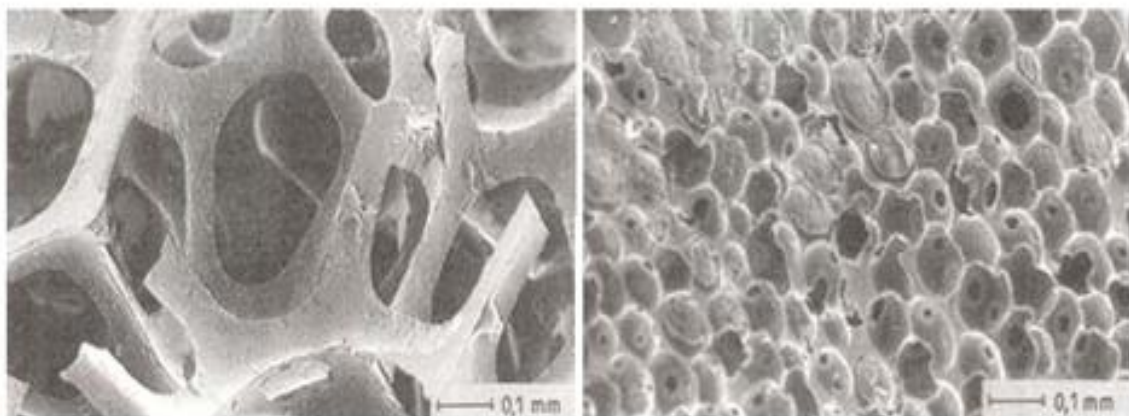


6. ábra. A granulálás alapelve [5]

a) extrudált zsinórok, b) behúzó hengerek, c) szembeforgó késes henger, d) granulátum

1.2. Polimer habok és habosítási technológiák

Polimerekből a legkülönbözőbb megjelenésű és tulajdonságú habokat lehet előállítani, a hab szerkezete lehet *nyitott*– vagy *zárt cellás*, habot lehet készíteni hőre lágyuló és térhálós polimerből, és a hab mechanikai tulajdonságai a gumiszerűtől a keményhabig a teljes rugalmassági modulusz skálát lefedhetik. Nagy jelentőségük van az integrál, vagy struktúrhaboknak, ahol egyetlen technológiai lépés során alakul ki a termék belső habszerkezete, amely a külső felületek felé haladva fokozatosan tömörré válik. Az integrálhabokkal a termékek vastagsága és hajlítómerevsége növelhető anélkül, hogy a termék tömege megnőne. Bár habot szinte az összes hőre lágyuló polimerből lehet készíteni (legismertebb talán a PS hab, „Hungarocell”), a térhálós polimerekből készített haboknak napjainkban még nagyobb a jelentőségük. A 7. ábrán látható a két cellaszerkezet mikroszkópos felvétel alatt [6].



7. ábra Nyitott illetve zárt cellák [7]

1.2.1. Polimer hab

Olyan kétfázisú rendszer, amelyben statisztikus eloszlású, változó méretű gázbuborékok találhatók polimer mátrixban. Szinte az összes hőre lágyuló polimerből lehet habosított terméket készíteni, a legismertebb: PS („Hungarocell”), PE („Polifoam”). Térhálós anyagok közül a legismertebb a PUR hab [7].

1.2.2. A habosítás lehet

- Mechanikai
- Kémiai
- Fizikai [7]

1.2.3. A habosodás folyamata

- Buborék inicializálása
- Buborék növekedése
- A hab stabilizálása [7]

1.2.4. Polimer hab termékek gyártása

- Extrudálással,
- Fröccsöntéssel
- Zártszerszámban habosítás

1.2.5. A habosítási technológiák alapjai

Ahhoz hogy habos lemezt kapjunk alapvető lépés, hogy az anyagszerkezetbe gázképző habot kel juttatunk, ami kialakítja a kívánt szerkezetet sűrűségcsökkentés céljából. A habot képező gáz előállítási módja szerint hét fő habosítási eljárást ismerünk.

Kémiai habosítószerek („*hajtóanyagok*”). A kémiai habosítószer

ek finom eloszlású porok, amelyeket szárazon a polimerhez kevernek. Extrudáláskor, fröccsöntéskor, vagy egyéb feldolgozási művelet során hő hatására a habosítószer elbomlik, miközben (típusától függően) CO(szénmonoxid), CO₂(széndioxid), N₂(nitrogén), vagy NH₃(ammónia) gázok keletkeznek. A finom eloszlású por, mint a buborékképződés *gócképzője* is kifejti hatását. A kémiai habosító típusok között találunk 110°C-on bomló, és 400°C-on bomló vegyületeket is [1].

Gázinjektálás. Gázinjektálás során nagy nyomással N_2 -t, vagy egyéb gázt juttatnak a feldolgozó gépben ömledék állapotban levő polimerbe, az extruder, vagy a fröccsöntő gép hengerébe. Amint a polimer elhagyja az extruder szerszámot, illetve fröccsöntéskor bekerül a fröccsszerszámba, a külső nyomás lecsökken, így a polimerben levő nagyobb nyomású gáz kitágul, és kialakítja a polimerben a hab-szerkezetet. Ennél az eljárásnál is szükséges *gócképzőkkel* elősegíteni a buborékok kialakulását [1].

Gázfejlesztés a polimerizáció során. A tömör poliuretánok feldolgozásakor *izocianátot*, és *poliol*t kevernek össze sztöchiometriai arányban. Ha kismértékű izocianát felesleget használnak, és egy kevés vizet adnak a polioldhoz, CO_2 gáz képződik, és a poliuretánban kialakul a habszerkezet [1].

Gőzképződésen alapuló módszer. Szintén a poliuretánoknál használt technológia, amely a polimerizációs reakció hőjét hasznosítja. A reakcióelegyhez (poliol és izocianát) alacsony forrpontú folyadékot (klórmentes Freon, pentán) kevernek. A felszabaduló reakcióhő elgőzölögteti a folyadékot, ami létrehozza a habszerkezetet. A polimerizációs reakció kinetikáját (katalizátorokkal) úgy kell szabályozni, hogy a képződő polimer viszkozitása kellően nagy legyen, mielőtt az összes folyadék elpárologna. (Kis viszkozitású folyadékból nem lehet habot képezni!) Az egyenletesebb póruseloszlás elérése céljából a rendszerhez felületaktív anyagot (többnyire szilikon olajat) is adnak [1].

„Habverés”. Kaucsuk latexnél alkalmazott technológia. A háztartási habveréshez hasonlóan, mechanikusan kevernek levegőt a kolloid tulajdonságú polimer latexhez. A keletkezett habot kivulkanizálják [1].

Adszorpciós módszer. Finom eloszlású adalékanyagok (pl. korom) a felületükön jelentős mennyiségű gázt képesek megkötni, adszorbeálni. Melegítés hatására az adszorbeált gáz felszabadul, és kialakítja a pórusos szerkezetet [1].

Habosítható gyöngyök. A polisztirol habgyártásnál alkalmazott módszer. A két legelterjedtebb megoldás szerint alacsony forrpontú folyadékot (pentán) adnak közvetlenül a sztírol szuszpenziós polimerizációjakor utólag a polimerhez. A termék különálló apró gyöngyökből áll (a polimerizációs eljárást „gyöngypolimerizáció”-nak hívják). Felmelegítéskor a meglágyuló polimert a pentán gőzei felhabosítják [1].

Ma már szinte mindenfajta műanyagot lehet habosítani a tömegcsökkentés és a tulajdonságok módosítása céljából. Az utóbbi években kifejlesztett, fizikai habosítószerekkel végzett habfröccsöntést több változatban kínálják a gyártók.

A habosítás előnye a szükséges anyagmennyiség csökkentése és számos új tulajdonság megjelenése vagy a meglévők pozitív változása. Ilyen a kis sűrűség, a jó hő és hangszigetelő képesség, a mechanikai rezgés csillapítása, a csekély vízgőzáteresztő képesség, esetleg a kisebb nedvességfelvétel [8].

A dolgozatban vizsgált műanyaghabok szerkezeti felépítésük szerint ún. integrálhabok, amelyeknek a belső rétege habszerkezetű, felületük azonban tömör műanyag. Gyártásuk extruderben történő hasítási eljárás során történik

A habszerkezetet kémiai vagy fizikai habosítószerrel alakítják ki. A kémiai habosítószer (hajtóanyagok) por vagy granulátum formájú vegyületek, amelyek a feldolgozás hőmérsékletén gáz alakú bomlástermékek (legtöbbször szén-dioxid vagy nitrogén) keletkezése mellett elbomlanak, és ezek a gázok alakítják ki a cellás szerkezetet. A kémiai habosítószer hátránya, hogy viszonylag drágák, és kevésbé kívánatos melléktermékek is maradnak az anyagban. A fizikai hajtóanyagok inert gázok vagy a feldolgozás hőmérsékletén gáz alakú anyagok, amelyeket extrudáláskor vagy fröccsöntéskor ún. szuperkritikus állapotban közvetlenül a műanyag ömledékbe vezetnek. Fizikai habosítószerrel könnyebb, homogénebb szerkezetű habokat lehet gyártani, jobb a gyártás biztonsága, és ezek a szerek olcsóbbak is. A habosítószert az adagolószivattyú fűvószelepen keresztül nagy nyomással injektálja az ömledékbe. A gázmennyiséget a hab kívánt sűrűségének megfelelően állítják be. A gázt a csiga mozgása osztja el az ömledékben, homogén eloszlását a diffúzió is segíti. A hengerben a nyomást fenn kell tartani a keverék fűvókán át történő kilépéséig, nehogy idő előtt meginduljon a habosodás. Amikor a keverék kijut a szabadba, a hirtelen nyomáscsökkenés következtében bekövetkezik a habosodás. A keverékbe vitt göcképző ezt segíti, és jelenléte révén egyenletesebb lesz a habszerkezet [8].

1.2.6. Habosított PVC lemezek

A normál PVC habosított lemezek, a habosított lemezek tulajdonságainak megfelelően alacsony sűrűségének köszönhetően könnyűek. Az extrudálással előállított PVC habosított lemezek viszonylag nagy fajlagos mechanikai szilárdságukról ismeretesek. Ezek a tulajdonságaik az adalékanyagok, stabilizátorok, folyósító szerek, habosító anyagok segítségével kézben tarthatók, tervezhetők. Felületük finoman struktúrált. A lemezek kiváló hang és hőszigetelő tulajdonsággal rendelkeznek. Nehezen éghetőek, önkioltóak. Minden a fém és faiparban használt általános szerszámmal könnyen megmunkálhatóak. Kiváló tulajdonságaiknak köszönhetően a felhasználási területük köre rendkívül széles, alkalmazásuk gazdaságos. Előnyeik: az alacsony súly, költséghatékonyság, problémamentes feldolgozhatóság, ragyogó fehér szín, sima, egyenletes, finom felület, önkioltódás, alacsony vízfelvétel, vegyi anyagokkal szembeni ellenállóság, időjárásállóság. Felhasználási területeik; reklámtáblák, kiállítási falak, szitanyomás, digitális nyomtatás, stb. Iparban vezérlő szekrények és asztalok, elektrotechnika, stb. Építőiparban falburkolás, szendvics panelek, bel- és kültéri dekorációk, stb.[9].



8. ábra Lemezminták habos kivitelekben

1.3. PVC lemezek alkalmazása, gyártása

PVC lemezek alkalmazási köre rendkívül széles spektrumú. A lemezek alakítási tulajdonságai közé tartoznak például, hogy hőformázhatóak, hajlíthatóak, vághatóak, laminálhatóak, nyomtathatóak, vákuum-formázhatóak és hegeszthetőek. Legtöbb esetben olyan helyen alkalmaznak PVC lemezeket ahol nagy a korrózió, és a kémiai reakciók ráhatása a környezetre. Ugyanis bizonyos típusok, szobahőmérsékleten több kémiai vegyületnek ellenállnak. Aztán kedvező mechanikai igénybevételük miatt is alkalmazandók, például az ütésállóságuk kedvező nyílászáróknál, egyéb lemez profiloknál. A lemezek profilozásos

alakadásnak is alávetethetők legtöbbször vákuumformázó eljárásban. Zajos környezetben ahol a hallás károsodhat kiváló hangszigetelést is el lehet velük érni. Hőszigetelő tulajdonságaiknak köszönhetően, válaszfalként, térelválasztó-elemekként kerülnek felhasználásra. Kiváló fényáteresztő képességekkel is rendelkezhetnek kialakítás szerint, sok helyen váltották fel az üveg tulajdonságait [10].

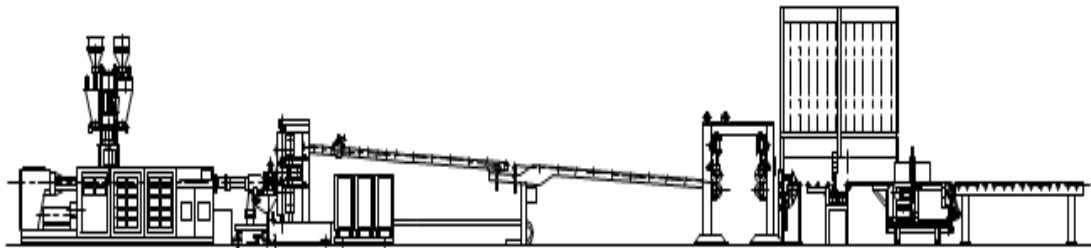
1.3.1. PVC lemez gyártástechnológiái

Az 1mm-nél vastagabb lapokat a műanyagiparban lemeznek nevezzük. Féltermék, merevlemez extrúziója, gyártási technika terén elkülönül a fóliagyártástól. Régebben fóliákból, rétegeik egymásra sajtolásával értek el egyre vastagabb területet, ezáltal lemezt. Név szerint, etázs-sajtókon, ami több melegíthető és hűthető szerszámlapokból áll. A fejlődő technika újabb fejlesztést igényelt. Legismertebb eljárás vált elterjedté, a lemezgyártó extrudálás, ami lentebb részletesen kielemezésre kerül.

1.4. Lemezgyártó extrudálás technológiája

1.4.1. Lemezgyártó extrudersor felépítése

A leggyakrabban használt lemezgyártási eljárás, lemezgyártó extrudersoron történik, szélesrésű szerszám segítségével, a sort a 8. ábra vázolja. Az adagolóberendezéstől kezdődően, a kétcsigás extruderből széles résű extruderszerszámba vezetve, onnan kilépve, kallander hengereken keresztül átkerült anyag eléri végső lemez formáját. A kallander hengerek közül a lemez, görgős asztalra rávezetve levegőn történő hűtés hatására már nem képlékeny, és azon továbbhaladva szobahőmérsékletre hűl, ezután lehet védőfóliával ellátni. Lehúzó hengerektől továbbhaladva végső alakítások szükségesek a lemeztermék kívánt műszaki paramétereire. Egy széllevágó berendezésen, ami lehet fűrész vagy éles késszerű korong, a lemez két szélét levágják megadva ezzel a szélességi méretét. Vastagság függvényében szintén fűrész, vagy lemezvágó olló darabolja a kívánt hosszúságra. A keletkezett fűrészport egy gravitációs tároló berendezés elszívja. A kész lemezterméket oldalra eltoló adagolóberendezés raklapra adagolja. Habos és síklemezek ugyanezen főbb lépéseken végighaladva nyerik el végső, lemeztermék formájukat. A főbb lépéseken kívül eltérő technológiai pontok persze vannak, elvégre két különböző termékről van szó. Megkülönböztetünk habos, és síklemez gyártó extrudersort.



8. ábra. Lemezgyártó extrudersor vázlata [11]

1.4.2. Adagoló-keverő berendezés

Az extrudersor legelső fázisát, ami egyben a legfontosabb, az adagolóberendezés és a bele táplált alapanyagok alkotják. Egyszerre gravitációs adagoló, és keverő egységként használatos. Úgynevezett Wankel technológiával működik, ami lényegében annyit tesz, hogy két lépcsőben négy tölcészerű betápláló egység található. Ehhez még kapcsolható a színezést elősegítő pigment adagoló. Ezek összecsatlakozva az extruder bevezető nyílása előtt található keverőbe futnak, ahol az előírt adalékok százalékos összetétel szerint keveredve adagolódnak be az extruder gyűrűcsigái közé. Legfelső tölcésérekbe vákuumképző szívóhatással jut be az alapanyag. A silóból a benne lévő PVC por az egyik választott felső tölcésérbe szívódik. Hasonlóképpen szívással töltődik meg a többi felső adagoló is, csak a silóval ellentétben az extruder mellett található állványra helyezett kalodákból. A felfüggesztett kalodák zsákszerű tárolók, miknek alját kinyitva egy üstszerű tárolóedénybe ömlik a hozzávaló, amit csöveken keresztül megfelelő adagban szívnak a tölcésérekbe. A három tölcésér lemeztermék függvényében alkalmazható például törzskeverékek, darálékok, vagy habosítószerke adagolói lehetnek. Egy elektromos szintérzékelő jelzi a felső tölcésér telítettségét ennek hatására egy a tölcésér alján található tölcésérzáró kinyílik, és továbbömlik az alatta lévő tölcésérbe az adalék. Itt már csak kalibrált mennyiség lehet. A mennyiséget elérve a beömlesztő fedél visszazár, és újra megindul a szívás a felső tárolóba. A kalibrált adag csigás adagolón keresztül jut el a keverőegységbe ahol találkozva, a többi adalékkal bejut az extruderbe. A pigmentet adagoló berendezés szintén kalibrálást igényel. Az adagolóknak jelzett mennyiségeket egy az extruder mellett található kapcsolószekrényben elhelyezett kijelző mutatja. Az adagolók kalibrálása automatikus, az anyagkihozatal függvényében. A 9. ábrán látható egy komplett adagoló.



9. ábra. **Gravitációs adagoló egység [11]**

Külön receptek taroznak az egyes termékekhez. Más és más, házasításokkal, adalékok bekeverésével érhetünk el megfelelő tulajdonságokat. Törzskeverék tartalmaz különböző stabilizátorokat, csúsztatókat, emulgeátorokat, tapadásgátlókat, égésgátlókat, szilárdságfokozókat, feldolgozás javítókat, lágyítókat, antioxidánsokat, antisztatikumokat, stb. Ezek segítségével nyerik el a lemezek például önkioltó, vegyianyagálló, vákuumformázható, időjárásálló, alacsony vízfeltevő, kedvező mechanikai, stb. tulajdonságaikat.

Habosított PVC lemezeknél törzsanyag, PVC por, selejt darálék, valamint habosítószer használatos. A habosító lehet szilárd illetve folyékony kivitelben is. Mindkettő név szerint Tramaco típusú. A folyékony habosító egy külön keringetővel és kalibráló egységgel ellátott tartályból csövön keresztül kerül az extruderben. Általában 10mm vastagság feletti lemezeknél használatos. Hozzá, ha szükséges még külön pigment is társul színezésként.

Kemény PVC lemezeknél PVC por, törzsanyag, olykor törzsanyag helyett selejt darálék, kerül az adagolóba. Lehet azonban 100% törzsanyag, vagy darálék, arányban víztiszta őrlemény. Itt is, ahogy a habos lemezeknél is színválasztékhoz pigment adagoló is működik.

1.4.3. Két csigásextruder

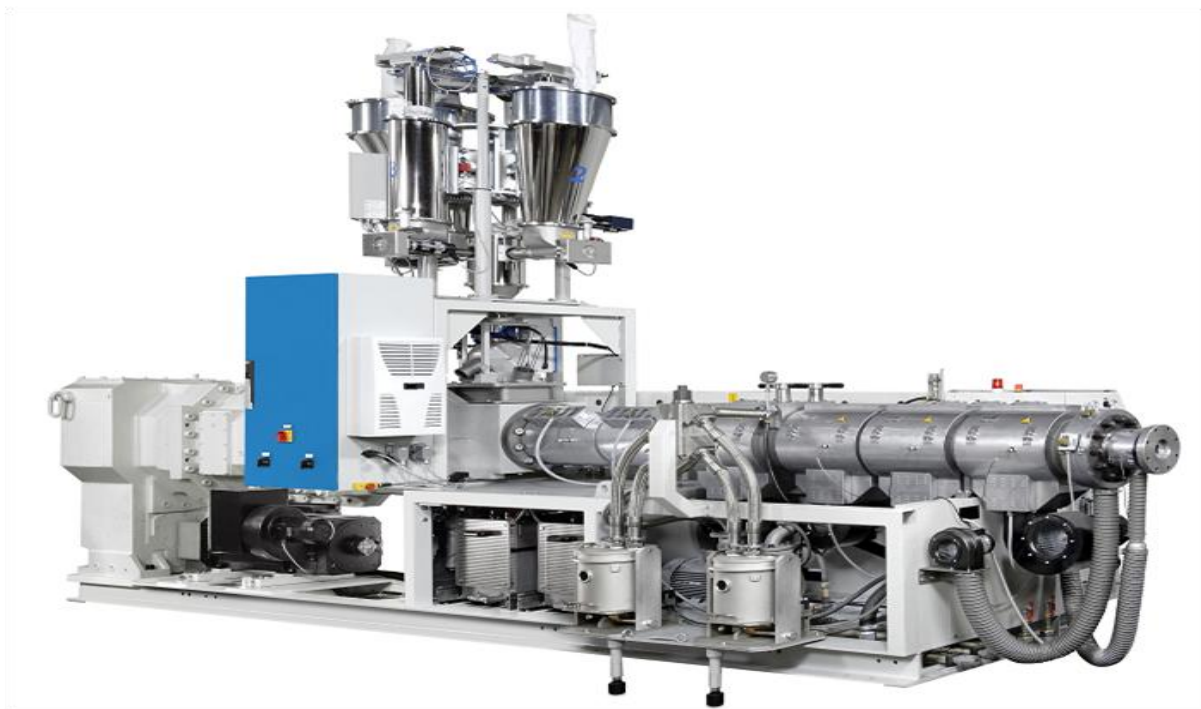
Extruder részegységeit talán érdekesebb a meghajtásnál kezdeni. Egy villanymotor hajtja meg fogaskerekeken keresztül az osztóművet, ami a két csigás kialakítás miatt szükséges. Extrudercsiga lényegében egy menetes orsó nagy menetemelkedéssel. Háromfázisú kiépítést igényel. Etető zóna, ide csatlakozik az adagolóberendezés, ide zajlik a betáplálás. Kompressziós, sűrítő zóna, ömlesztés folytatása, homogenizálás. Kiszállító zóna, kisajtolás megengedet nyomáson. Az utolsó, kiszállító zóna fontos paramétere a csigavég technológiai kialakítása. Jelen esetben kúpos végű előtte törőrésszel ellátott (szakzsargonban kukoricás végződésű), az adapter minél pontosabb táplálásához. Az ömledék keverésénél két csigás kialakítással az extruder keverési hatásfokát, és szállítóteljesítményét lehet növelni. A kétszigás extruder önálló feldolgozógépként, és keverő funkciót megvalósító eszközként is működök. Jelen esetben ezt a két műveletet egyidejűleg hajtja végre. A 10. ábrán látható egy kétszigás kialakítás és a csigák körül található ömledék vezető csatorna. Az egymás mellett lévő csigák forgásiránya ellentétes. Általában szorosan helyezkednek el egymásban, hogy a két csiga között kevesebb anyag tudjon áramolni a tökéletes átdolgozás megvalósításának érdekében. Az anyag tehetetlenségénél fogva kénytelen a csigacsúcs felé áramolni. Gyúrotárcsák helyezkednek el, a folytonos menet megszakításával, elősegítve a keverési mechanizmust és a kívánt minőség elérését.



10. ábra. Kétszigás kialakítás [11]

A csigákat az egyes szakaszain villamos fűtésnek vetik alá. Hat hőmérsékleti fűtő zónát találunk az extruderen. Ezek hőfokai az extrudálás irányába folyamatosan csökkennek. A zónák között találunk még azonban egy vákuumképző egységet. Ez az egység arra szolgál, hogy a csigák gyúrásából adódóan keletkezett gőzöket illetve gázokat, valamint

szennyeződések elszívják. Szabadon hagyott nyíláson a kezelő látja az anyag haladását a szerkezetben a csigák között. A nyílás lezárásával rákapcsolható a vákuum. A gyúrócsigák eljuttatják az ömledéket a csigavégre csatlakoztatott szűkítő adapterbe (szakzsargonban eilov). Adapter végén kör keresztmetszetű csatlakozás található a szerszám rákapcsolása végett. Fontos szempont az adapter hőmérséklete is ezeket becsatlakoztatott érzékelők közlik a gépkezelővel. Az összes, a technológia szempontjából fontos adatokat például hőmérséklet, anyagkihozatal, csigasebesség, szinkronállítás stb., a kezelő állítja be az extruder mellett található kapcsolószekrény, nyomógombokkal ellátott panelján. Termék függésében más és más adatok szükségesek. A kezelő a termelésirányítótól kapott műveletutasítás adatait kell betáplálnia a kontrollerbe, szabályozván a gyártást. Mindkét lemezterméknél a kalodák cserélésére is figyelnie kell a folytonos anyagellátás, és előállítás érdekében. A 11. ábrán látható egy Krauss-Maffei típusú eszterga, egykét helyen burkolatok nélkül a részegységek szemrevételezhetősége érdekében.

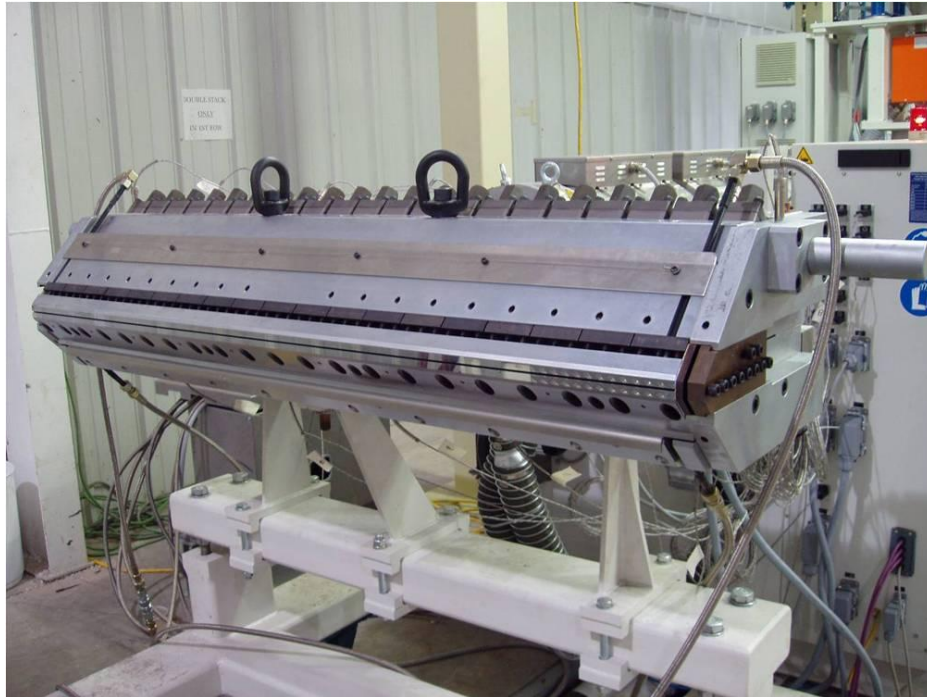


11. ábra. Krauss-Maffei extruder az adagolóval [11]

1.4.4. Szélesrésű lemezgyártó extruderszerszám

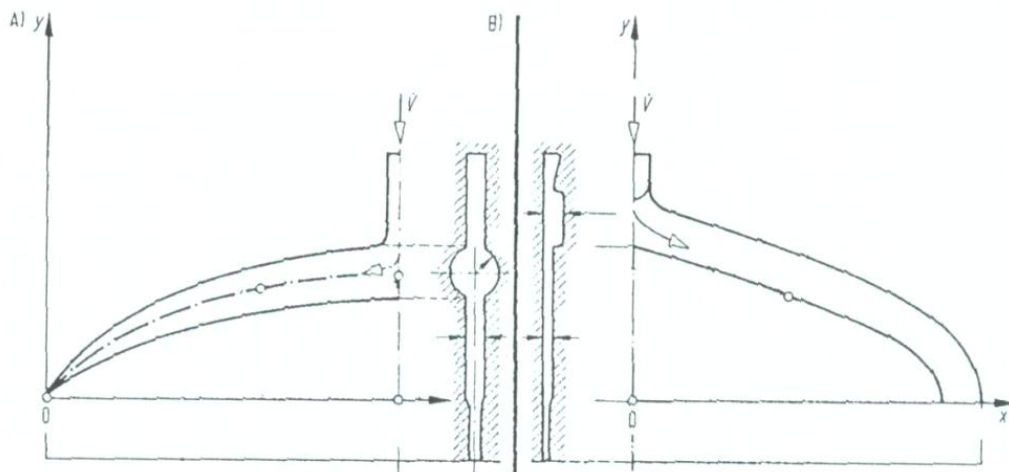
Továbbhaladva az extrudersoron az adagolók, az extruder, és az adapter után a leglényegesebb pont csatlakozik, a szerszám, ami lemezformát ad az anyagnak. Ez az ún. szélesrésű extruderszerszám. Az adapter kör keresztmetszetű anyagáramát kell leszűkíteni és egyenletes síkban szétteríteni, alakítani tovább akár 2 méter széles és 15mm-nél is vastagabb lemezfelületté. Kibocsájtásnál nagyon fontos a megfelelő nyomás alatt tartás az anyaghibák elkerülése miatt. Ezen szerszám egyenletes felületű, vastagságú, és elhúzóadásmentes lemez készítésére alkalmazható. Egyenletes lemezminőség alapfeltétele az egyenletes sebesség, állandó anyagáram a szerszám minden pontjában, ezt szabályozza még az ajakrések előtt lévő torlóléc (szakzsargonban gát). Fontos, hogy a szerszám széles részét hogyan állítjuk be, milyen pontosan, és finoman ezt a pontosságot két szerszámajak beállításával tudjuk szabályozni. Vastagság növeléséhez akár 90db csavart is be kell állítanunk, ez azonban szerszám méret függő. Két oldalról az ajakrések külön fűtést is igényelnek, melynek megvalósítása egy bevezetett csövön keresztül történik a szerszám két végén, amiben fűtőolaj cirkulál. Ez a temperálás, külön alsó és felső ajaktemperálást igényelnek a szerszámok mindkét szélén, ez a legalapvetőbb hőmérsékletszabályozás a folytonos anyagáram miatt szükséges. Az alsó és felső ajkak maguk is cserélhetők, külön-külön ha szükségessé válik, az elhasználódás, az anyagbeégés, stb okok miatt. 14 hőérzékelőt csatlakoztatnak a szerszámokra alul-felül, amik adatait a gyártást irányító már említett panelon, az extruder egyéb adatai mellett, külön funkció jelenít meg.

A szerszám széle felé haladva egyre magasabb hőfokok szükségesek szintén az egyenletes anyagáram miatt. Például az adapternél 145°C-tól indulva a széleket 175°C-ot állítunk be. Szerszám méretek is változóak ezek a méretek lemeztermék szélesség függőek. A 12. ábrán látható egy ilyen extruderszerszám összeszerelt állapotban rajta az említett állítócsavarokkal, ajaktemperálókkal, hőérzékelőkkel.



12. ábra. Lemezgyártó extruderszerszám [11]

Az extruderszerszám szélességében, az extrudálás irányában nézve például 1250, 1350, 1500, 1700, 2150, 2250mm-es szerszám is lehet. Szerszámokhoz persze az említett ajkak külön tárolva megtalálhatók, beszerelhetők, felcsavarozhatók. A „vállfa” kialakítást akkor láthatjuk, ha a megállások során alkalmazott kijárató, minimális begyűrődését engedve a szerszámba megkötődik az anyag, ami egyszerűen kiemelhető belőle. Szükséges hozzá a levegőn hagyott, illetve azon történő hűlés is a szerszámszétszedést követően. Ugyanis minden ilyen extruderszerszám daruval kettévehető konstrukciójú. Felbontható alsó, és felső részre. Mindkét részében megtalálható az elosztócsatorna. Egymásra helyezve a két rész alakadó felülete között halad az anyag. Az elosztócsatorna tökéletes a két rész megfelelő passzos illeszkedésénél. Melegedésből adódóan az összeszerelő csavarokon fokozatosan húzni kell. Az elosztócsatorna úgynevezett „vállfa” formájának kialakítása a legkritikusabb. Két konstrukciót különböztetünk meg, kör keresztmetszetű elosztócsatornás, és a négyzet keresztmetszetű elosztást. Utóbbi korszerűbb, és egyszerűbben kivitelezhető. A „vállfa” alakú elosztócsatorna két konstrukciója a 13. ábrán látható magyarázattal.



13. ábra. Szélesrésű szerszám elosztócsatornája felülnézetben (két változat) [1]

A) körkörös elosztócsatorna, B) négyszögszelvényű elosztócsatorna

Habosított PVC lemezeknél légbuborék-képződést kell elérnünk. Már a szerszám ajak kialakítását úgy helyezzük el, hogy torlódást idézzenek elő az anyagban. Alsó és felső ajkak felülete összezárva folyamatosan közelít, emelkedik (szűkül) egymáshoz. A torlódást követően az adalékokban kezd beindulni a habosító levegőbuborék képzése. Tehát lényegében már itt kezdődik az eltérés a habos illetve síklemezek technológiai pontjai, lépései, termékképzései között.

Kemény PVC síklemezeknél az ajkak érintkezése, kialakítása a szerszám szája felé úgy néz ki, hogy a felsőajak anyaggal érintkező része teljesen sima. Az alsó ajak azonban egyfajta torlódást elősegítő emelkedő (szűkülő), a végén azonban a felső sima felülethez illeszkedő kialakítású. Ez a konstrukció keménylemezek gyártásánál elkerülhetetlen ugyanis így kerül ki a levegősődést. Ezáltal egyenletes felületet, és keménységet.

1.4.5. Kallander hengerek

A Kallander hengerek lényegében hűtő-fűtő hengerek. Lemezgyártó extrudersorban például három hengert egymáson függőlegesen elhelyezkedve találunk. Olykor az alsó és középső henger rései között elhelyezett három-három egymáson lévő vízszintes hengerrel. Funkciójukat tekintve a lemeztermékek egyenletes sima felületét adják meg. sebességükkel, és egymás közötti résükkel lemezvastagságot szabályoznak. Hűtő-fűtő folyadék található bennük, amik a lemezgyártásnál hely szerint az alsó alacsonyabb, a középső köztes, a felső

magasabb hőmérsékletet tulajdonít magának. Az alsó és középső hengernél belépve úgy fűzzük be a lemezeket, hogy a felső hengerről haladjon tovább. Csatolhatóak hozzá más hengerek is illetve fóliatárolók. Ezek a kasír, és a lamináló fóliák lemezre történő rávezetéséhez szükséges hengerek. A kallander hengerek együtt kezelhetők, egy a sor vége felé található lehúzóhengerekkel is, de csak sebességben. Valamint mozgatható a hengersor és a görgős továbbító egység előre és hátra. Egy a hengerekhez tartozó kontroláló szekrényen tudjuk változtatni nyomógombok segítségével, például a rések növelését csökkentését, előre hátra mozgatást, stb. Az extruder mellett található kijelzős vezérlőn szintén állíthatóak, a lehúzó egységgel együtt, például a hőfokok és sebességek. A 14. ábrán látható egy kallander hengersor. A képen látható állapotban egy a síklemez előállításához használatos hengersor látható.



14. ábra. Kallander hengerek [11]

A kötéll segítségével befűzött lemezt lassítani, gyorsítani kell a csigák anyagkihozatala a kallander hengerek és a lehúzóhengerek sebességének függvényében. Ezek a végtermék szempontjából lényeges lépések. A hengerek továbbítása után a hozzájuk csatlakoztatott, velük együtt előre hátra mozgatható görgős asztalra kerül a lemeztermék. Itt szobahőmérsékletre hűl, és már csak alakadási munkálatok szükségesek. A 15. ábrán a lemez extrudálását és hengerlését mutatja, valamint közvetlen utána a 16. ábrán a felülről továbbított görgős asztalú levegőn hűtés látható.



15. ábra. A PVC lemez hengerek közé fűzése



16. ábra. Levegőn történő hűtés görgős továbbítókkal

Kemény PVC síklemezeknél, a keménylemez előállításához összeszerelt extruderszerszámból rögtön fűzzük a hengerek közé a még képlékeny lemezeket. Azzal a céllal, hogy teljes vastagságában számottevő hűtés nélkül elérjék a keménységet, egyenletes felületet. Hőfokonként alulról felfelé, például 75, 80, 85°C-okat állítanak be, ez azért növekszik, hogy meggátolják a hengerre tapadást. Az alap keménylemez nem különösebben igényel egyéb formálást. Vannak azonban úgynevezett kasírozott, és laminált fóliával ellátott változatú keménylemez terméket is.

Habosított PVC lemezeknél a haboslemezekhez szükséges ajkakkal szerelt szerszámból rögtön hat darab hűtőhenger közé kerül a lemez. A hűtő egység alul-felül három hengerből áll. Bennük hűtővíz cirkulál. Ennek a hűtőegységnek a feladata, hogy a habosodó lemezen két szilárdabb réteg képződjön alul illetve felül. Köztük pedig a habosodó anyagszerkezet megmaradjon. Ez után a lépés után a három kallander henger játszik szerepet. Például 65, 70, 75°C-ok felfelé haladva a hengerek hőmérsékletei, rátapadás gátlás érdekében. Méretfüggően folyékony vagy granulátumszerű habosító alkalmazandó. Időigényes, és nagyobb odafigyelést igényel. Ugyanis a lemez nem megfelelő beállítások nélkül összeeshet, ami annyit tesz, hogy a habosított réteg a két szilárdított réteg között veszít vastagságából. A 16. ábrán látható egy haboslemez extrudálás oldalról. A nagy hengerek elé rögzített hűtőhengerek a vízbevezető csövekkel, és a megszokott görgős továbbítás.



16. ábra. *Haboslemez extrudálás*

1.5. A lemezgyártósor végtermékké alakító egységei

A továbbító görgőn lefutott lemez szobahőmérsékletre hűlt. Ezt követően már csak annyi a teendők, hogy kialakítsuk a kívánt lemezterméket méretire. Több alakadó, korrigáló részegységbe kell bevezetnünk a lemezt. Funkciójuk külön-külön vezérlést karbantartást igényel. Azonban kívülről egy teljes egységnek tűnnek. Ezek sorban a következők;

- Vastagságmérő berendezés
- Védőfólia biztosító
- Lehúzó hengerek
- Daraboló egység
- Fűrészpor elszívó és tároló
- Rakatoló egység

A **Vastagságmérő berendezés** egy érzékelővel ellátott pártázó berendezés. Elindul a lemez bal oldalától, (az extrudálás irányában nézve) és elkezd pozitívból a nulla érték felé számolni. Mikor elérte a lemez közepét nulla értéktől mínusz érték felé számol. A széresrésű szerszámokon is megtalálható a nulla érték közepén. Az érzékelő kijelzőn mutatja, hogy hol vastagabb illetve vékonyabb a lemez. A kezelő ezáltal tudja beazonosítani a szerszámon, hogy melyik helyen kell az állítócsavarokon húzni vagy engedni. A levágott lemezmintán átlagvastagságot nézve és mérve, valamint a kijelző adatai is mind rendelkezésre állnak az állításokhoz. Található még továbbá a mérőegység felett egy fényérzékelős kamera, ez jelzi majd a rakodóegységnél sípoló hanggal, ha valamilyen hibát talál a felületen. Legyen az bármilyen szennyeződés, anyaghibából adódóan például lyuk, fóliahiba, stb.

A kívánt vastagság elérése után **Védőfóliával** látják el a majdnem kész lemezterméket. Egy fóliatárolóról lehúzzák a fóliát levezetve a lehúzó hengerek közé, úgy hogy a lehúzó hengerek között rásimuljon. Folyamatosan fogy a védőfólia a lemez sebességével együtt. Cserélgetni kell daru segítségével. Lényeg hogy megvédje a felületet a károktól, szennyeződésektől. Olykor írásos magyarázatképpen pluszban ragasztós csíkfólia is kerül rá.

A **Lehúzóhengerek** összeköttetésben állnak a már említett kallander hengerekkel. Együttes feladatuk a lemez sebességének beállítása, tartása. Két pár lehúzó összezárásával a közéjük befűzött védőfóliával ellátott lemez két szélét levágják. Haboslemezeknél pengével kb 3mm-es vastagságig. Keménylemezeknél pedig egy kör alakú késsel. Ezek a vágóberendezések a két lehúzó hengerpár között találhatók. Itt található még egy festékfújó berendezés is, ami a védőfóliára rányomtatja a lemez nevét és méreteit.

Daraboló egység felépítésében két széllevágó körfűrészből, egy daraboló körfűrészből, és egy lemezvágó ollóból áll. A paramétereket az egység mellett található vezérlőszekrény panelján lehet betáplálni. Szélességi, hosszúsági méreteket. Ezen méretek függvényében a fűrész, vagy olló pozícionálható. Ahogy a lemez továbbítódik a görgőkön megfelelő vastagság és felület elérése után általában filcel elhelyezett jelölés után látja, a darabolót, és rakatolót vezérlő munkás, hogy mehet a termékre a védőfólia, valamint tovább a raklapra. Lemezvastagság függő, hogy fűrész vagy olló szükséges a daraboláshoz. 3mm-nél vastagabb habos lemezeket már daraboló fűrész vágja méretre, alatta azonban az olló (szakzsargonban giotin). Keménylemezeknél 2mm-ig olló, e méret felett pedig fűrész darabol. Selejt érkezése esetén kisebb méretekre darabolják szükségszerűen a lemezeket és munkások teszik félre raklapra, hogy onnan targoncával a darabolóba juttatva ledarálódjon, valamint újrahasznosítódjon egy következő ugyanolyan termékben.

El kell távolítanunk egy **Fűrészpor elszívó és tároló egységgel** a fűrészport. Fontos, hogy a keletkezett por ne kerüljön a termékre, ugyanis akkor nem felelne meg az elvárt előírásoknak. Lényegében háztartási porszívóhoz hasonlít csak monumentális kivitelben és sok-sok porzsákkal. Motoros meghajtású nagy erejű szívóerő kiszívja a fűrészek köré erősített burokból a port, állított porzsákokba. Ezeket a porzsákokat megrezegteti egy rezgető gép és a por a gravitáció hatására leperreg a részegység aljára erősített négy zsákba. Ez a por azonban már nem újrahasznosítható, hiszen több egységben szennyeződött.

A méretre vágott védőfóliával ellátott, fűrészportól mentesített lemeztermék egy **Rakatoló egységhez** ér. Ez is lényegében egy görgős asztal. Beállító panelon kézi potméterekkel lehet a görgők sebességét változtatni. Erre az asztalra érkezik terelőként át a lemeztermék mellett a szélhulladék is. Az asztal végén, ami egyben az extrudersor vége is, egy ütköző található. A lemez ütközik és beindul a rakatoló. Közvetlenül mellette található egy raklaptartó asztal. Pneumatikus kapcsolókkal ellátva, az egység az egyik szélhulladékot felemeli és eltolja alatta a terméket a raklapra. Letéve a szélhulladékot a visszafelé haladó tolórész egy billenőkar által a másik oldalon található szélhulladék tárolóba dobja. Oldalra tolás segítése végett találhatóak a görgők között, csapágygolyókat tároló fém lecek. A raklaptartó asztal fokozatosan úgy helyezkedik a súlyt és a lemezvastagságot érzékelvén, hogy egymásra csússzanak a lemezek. Továbbá még egy darabszámláló készülék, ami közli a raklapra kerülendő lemezek számát. Az ütközéseket számolva mutatja értékeit. Hibás termék esetén az említett kamera észrevételét itt jelzi egy sípoló hang. A rakatolót vezérlő munkás átvizsgálja a terméket, és ha tényleg nem megfelelő, akkor a selejtek közé helyezi.

1.5.1. Az elkészült lemeztermék

Az extrudersorról lekerült késznek tekintett lemez, még koránt sem készült el. Ennyi tüzetes lépés, alakadás után is, gondos odafigyelést, raktározást, minősítést igényel. A rakatoló egységnél figyelni kell a megfelelő felületet, méretet, színárnyalatot, stb. Feltéve, ha a vevő is magas igényeket, minőségi elvárásokat tűz ki célul. Raklapok előkészítése után pontosan figyelni kell a rákelülő lemezek darabszámára. Felületi hibák esetén, olykor a védőfólia hibáinál, alsó felület csíkozódásakor selejtbe kerül a termék. A selejteket késsel összevágják, összetörik és mehet a darálóba. Ahol külön-külön megfelelő darálékként majd visszaforgatják a termelésbe. A munkásoknak raklaponként jelezni kell az adatokat, amik az átlagvastagság, köztes vastagságok, átlók, színek, sűrűségek, stb. lehetnek. Mindezt egy adatnaplóban. Időközönként a lemezekből kivágott mintákon kell végezni méréseket. A lemez vastagságot tolómérővel mérni kb. 10cm-enként, majd átlagvastagságot számolni, a minta hosszúságát mérőszalaggal lemérni, és a szélesség adott értékét figyelembe véve térfogatot számolni. A mintadarab súlyát elosztván a térfogattal megkapjuk a sűrűséget. Ez az érték viszonyítási alapul szolgál a termelésirányítási lapban szerepelt értékhez. PDA-s készülékkel lehet színárnyalatokat, színmélységeket, áttetszőséget, stb. mérni. Elvárás szerint a lemez közepén vagy még a két szélén is. Mérések, ellenőrzések arra szolgálnak, hogy folyamatosan ellenőrizzük a termékeket. Észrevett hibák, problémák korrigálhatóak legyenek még időben, elkerülve ezzel a vevő felőli reklamációt. Ha teljesen megfelelnek a körülmények és az értékek, lehet csomagolni a raklapokon a lemezeket. Majd kinyomtatott címkékkel ellátni, ami a lényeges adatokat tartalmazza pl. méretek, vevő, gyártási szám, stb. Az 5S termelésirányítási rendszernek megfelelően az üzembe minden elvárás szerint hozzáférhetőségben a helyén megtalálható. A becsomagolt felcímkézett termékeket targoncákkal helyezik a raktárba. A lemeztermék ilyenkor tekinthető teljesen késznek. A raktárban várva a vevő kamionjait még egy fontos dolgot meg kell megemlíteni. Mégpedig a fény bejutását a raktárba. Köztudott hogy hosszútávon a fény hatásának kitett PVC veszít tulajdonságaiból. Például sósav csapódik le belőle, és adalékaiban is változhat. Lemezeknél általában a hullámosodás, összesülés jellemző a nem megfelelő raktározás miatt.

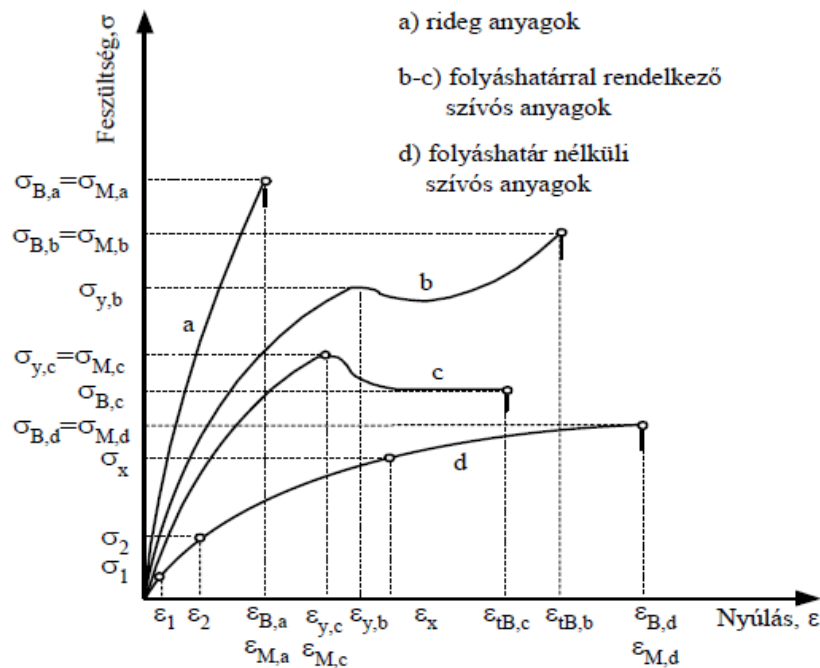
1.6. Műanyagok húzószilárdságának meghatározása

A műanyagok húzóvizsgálata ekvivalens a szakítóvizsgálattal fémek esetében. Eltérés az eszközparkban és a vizsgálati körülményekben van. Érvényes persze rájuk is, ami a fémekre vonatkozik, de a műanyagokra jellemző a viszkoelaszticitás azaz késve-rugalmasság miatt a húzás sebességének kifejezetten nagy hatása van a szakítógörbe alakjára. A vizsgálatok eredményét a hőmérséklet is jelentősen befolyásolja.

A fémekhez képest nagyságrendekkel nagyobb nyúlás a húzási tulajdonságok meghatározására szolgáló szakítógépek konstrukcióját módosítja. Eltérő anyagminőségű polimerek húzóvizsgálatának eredményei csak a vizsgálati körülmények azonosságát esetén hasonlíthatók össze. Ezért kifejezetten nagy jelentősége van a szabványban rögzített feltételek betartásának és közlésének. Húzóvizsgálat során a szabványban leírt geometriájú próbatestet két végénél befogva, meghatározott mérési körülmények (szakítási sebesség, hőmérséklet, nedvességtartalom) mellett egytengelyű húzó igénybevétel alatt szakítjuk el, közben mérjük és regisztráljuk a hosszváltozás függvényében fellépő húzóerőt. Valamint meghatározzuk az anyagok egytengelyű húzó igénybevétellel szembeni ellenállásait. Segítségével meghatározhatjuk az anyag rugalmasságát, szilárdságát, alakváltoztatási képességét, szívósságát jellemző anyagjellemzőket [12].

1.6.1. Műanyagok szakítódigramja

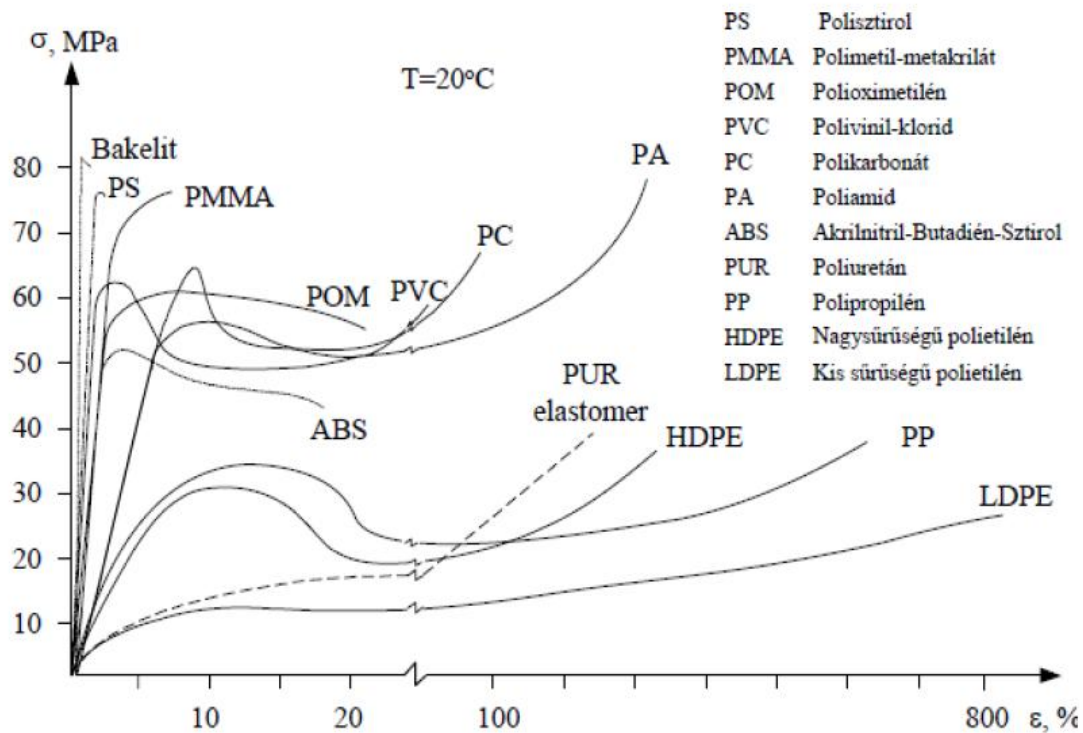
Ahogy a fémeknél, a műanyagoknál is egytengelyű húzó igénybevétel során mérjük a próbatestre ható erőt és a nyúlást. Szakító diagramot készítünk, majd megadjuk a szilárdsági mérőszámokat. Műanyagok esetén a húzóvizsgálatból kiszámolható mérnöki feszültség-nyúlást nem R -el, hanem σ -val jelöljük. Műanyagok esetén tipikus szakítógörbe alakokat a 17. ábra mutatja. Rajta az eltérő viselkedésű anyagszerkezetű műanyagok betűvel kiemelt és feltüntetett magyarázatával. Megfigyelhető a duroplaszt (a) és az amorf és részben kristályos termoplaszt (b, c, d) anyagok és a hozzájuk tartozó kikövetkeztethető alakváltozásuk alatt történő plasztikus deformációk. Az amorf és részben kristályos termoplaszt polimerek szemmel látható szívósságot mutatnak. Az alakítási keményedésre hajlamos műanyagoknál (c) megállapítható hogy a szakításukhoz szükséges erő nagyobb, mint a folyást eredményező tényező. Lágy műanyagok (d) alakítási keményedést nem mutatnak náluk folyáshatár nem adható meg [12].



17. ábra Eltérő viselkedésű műanyagok húzódiagramjai és a nevezetes pontok jelölései [12]

1.6.2. Műanyag szakítódiagramok anyagminőség szerint

Mint ahogy a szakítódiagramokból is láhattuk, a polimerek estén is akár csak a fémeknél eltérő jellegzetes diagramokat különböztetünk meg. Különböző műszaki és tömegműanyagok húzódiagramjait a 18. ábra mutatja. Jól látható hogy a műanyagok az acélhoz képest két nagyságrenddel kisebb modulusúak lehetnek a nyúlásuk viszont több százszoros lehet. Jól látható, hogy mennyire eltérő viselkedést mutatnak az egyes polimer típusok. Vannak olyanok, amelyek azonos körülmények mellett ridegen törnek, de akadnak olyanok is, amelyek nagy nyúlást képesek elviselni teljes tönkremenetel nélkül. Például a (PS) polisztirol jellegzetes rideg nyúlása csupán néhány százalékos, 80MPa húzószilárdságú. Ütésálló kopolimer ABS (akrilnitril-butadién- sztirol) nagy polisztirol nagy szilárdságát a butadién polimerláncba történő beépülésével, rugalmassággal kombinálja. A PE (polietén) szívós tömegműanyag. Az LDPE szívósabb műanyag, mint a HDPE Szakadási nyúlása akár 800% is lehet [12].

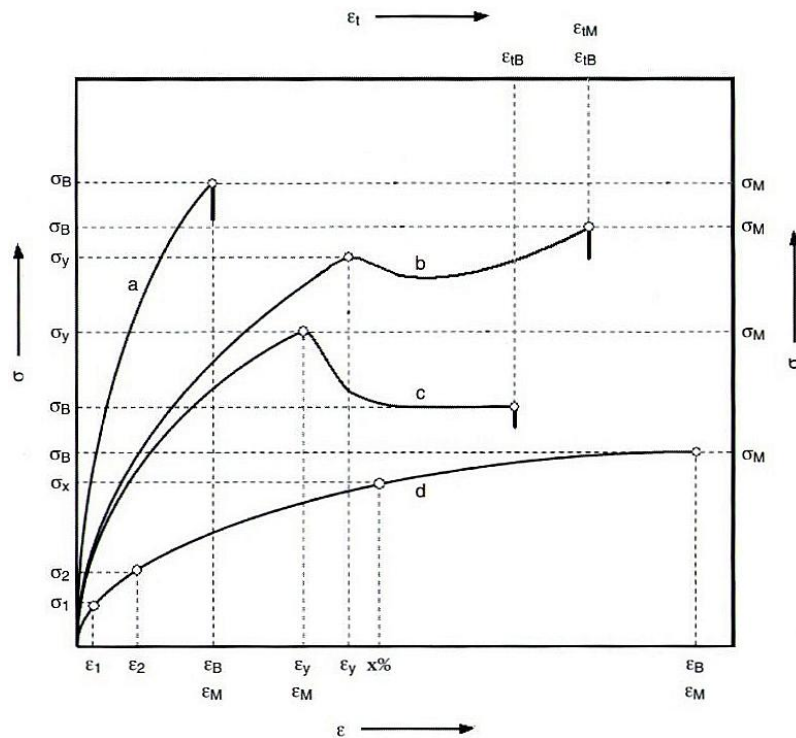


18. ábra Egyes polimer típusok tipikus szakító görbéi [12]

1.6.3. A húzóvizsgálatból meghatározható mechanikai jellemzők

A műanyagok húzóvizsgálatára vonatkozó MSZ ISO 527-1:1999 szabvány a húzóvizsgálat során mérhető jellemzők pontos értelmezését adja meg. Az eltérő húzódiagram alakok miatt a jellemző szilárdsági értékek eltérő helyen vannak, de értelmezésük azonos. A szabvány húzófeszültségnél σ jelölést használ a fémeknél elterjedt R jelölés helyett. A húzóvizsgálat eredményeként az adott mérési körülményekre vonatkozóan megkapjuk az anyag erő-nyúlás ($F-\Delta l$) görbét. Ezt át lehet skálázni mérnöki feszültség–relatívnyúlás ($\sigma-\epsilon$) görbévé (20. ábra): az erő tengely helyén a mérnöki feszültséget (σ [MPa]) megkapjuk, ha az erőt (F [N]) osztjuk a próbatest kiindulási keresztmetszetével (A_0 [mm²]): [13]

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ [MPa]},$$



20. ábra Műanyagok húzási jellemzőinek meghatározása (MSZ ISO 527-1:199) [13]

σ_Y folyás határ: azaz első feszültség, amelynél a nyúlás a feszültség növekedése nélkül növekszik. A gyakorlatban bizonyos polimereknél fel sem lép a folyás jelensége, másoknál több 100 %-os folyási alakváltozás következhet be, amelyet a próbatesten nyakképződés és szerkezeti átalakulás kísérhet. A folyást bizonyos polimerek esetén az ún. feszültség fehéredés jelezheti [12].

σ_M húzószilárdság: a maximális erő és a kezdeti keresztmetszet hányadosa. A maximális erő elérésekor az anyag a leggyengébb pontjában helyileg instabil állapotba kerül, ezen a helyen megkezdődik a keresztmetszet kontrakciója, helyi keresztmetszet csökkenése. A folyamat folytatódhat nyakképződéssel, vagy hirtelen szakadással [12].

σ_B szakítószilárdság: a szakadáskor mért erő és a kezdeti keresztmetszet hányadosa. A feszültség-relatív nyúlás diagram segítségével az alakváltozási mutatószámok is meghatározhatók [12].

σ_x húzófeszültségx-százalékos nyúláskor: ez tulajdonképpen „egyezményes folyáshatár” megfelelője. x százalékos nyúláshoz tartozó feszültség. Mindig kisebb kell legyen, mint a húzószilárdsághoz tartozó nyúlás. Szükség csak akkor van rá ha a vizsgált műanyag ha vizsgált műanyag folyáshatárral nem rendelkezik [12].

A műanyagok vizsko-elasztikus és relaxációs viselkedése miatt a nyúlási jellemzőket (ϵ) csak a terhelés közben mért értékek alapján határozzuk meg. Folyáshatár előtti és folyáshatáron túli nyúlásokat különböztetünk meg [12].

A névleges nyúlás (ϵ_t): a folyáshatár meghaladó feszültségértékekhez tartozó nyúlásokat a befogópofák közötti távolságra vonatkoztatva értelmezzük.

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \cdot 100 \text{ [\%]}.$$

ahol L_0 a befogópofák eredeti távolsága mm-ben. Δl a befogópofák közötti távolság növekedése mm-ben [13].

Nyúlás a folyáshatárnál (ϵ_Y): valódi folyási pontban mérhető nyúlás.

Néveges nyúlás a húzószilárdságnál (ϵ_M): a húzószilárdság pontjában mérhető nyúlás. Ez azonban csak a folyáshatárral nem rendelkező műanyagoknál értelmezett.

$$\epsilon_M = \frac{L_M - L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ [\%]},$$

ahol L_0 a próbatest vizsgált szakaszának eredeti terheletlen hossza, L_M a próbatest vizsgált szakaszának a maximális erőnél mért megnyúlt hossza [13].

Névleges szakadási nyúlás (ϵ_B):

$$\epsilon_B = \frac{L_B - L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ [\%]},$$

ahol L_B : a próbatest vizsgált szakaszának a szakadáskor mért megnyúlt hossza [13].

1.6.4. Műanyagok szakítására alkalmas eszközök és berendezések

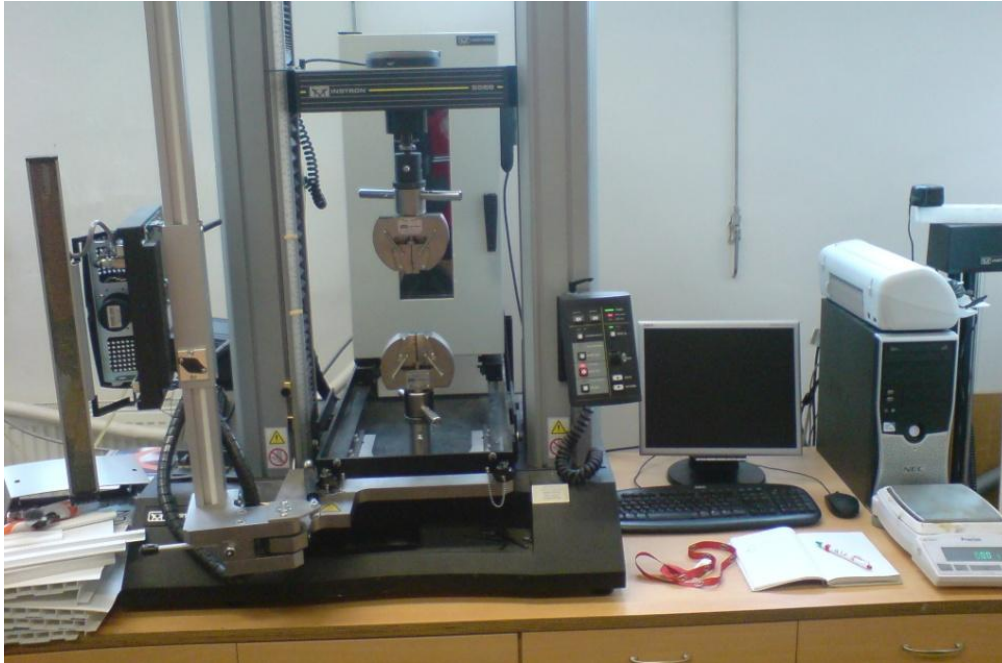
1.6.4.1. Elektromechanikus anyagvizsgáló gép

Az Instron elektromechanikus anyagvizsgáló rendszerei átfogó és költséghatékony megoldást kínálnak a mechanikus anyagvizsgálatok követelményeinek kielégítésére. Alkalmasak az alapvető szakító és nyomóvizsgálati feladatok elvégzésétől, egészen az összetett mérés technikai igények kielégítéséig, valamint ciklikus-, relaxációs- és kúszás vizsgálatokhoz. Kapacitástartomány tekintetében széles skála (0.5kN- 600kN) áll rendelkezésre. Az Instron 5500 digitális elektronika vezérli a vizsgálórendszert és gyűjti az adatokat, melyhez axiális pozíció, terhelőerő-vezérlő és adatgyűjtő csatornákkal rendelkezik. Az elektronika ellátja a próbatest védelmét az előválasztható határterhelés túllépésével szemben. Automatikusan felismeri és kalibrálja a jelátalakítókat, az erőmérő cellákat, stb. A rendszer alkalmas valamennyi vizsgálati paraméter eltárolására és későbbi betöltésére. A gép vezérelhető manuálisan, a vezérlőpanelről (konzolról), vagy a BLUEHILL szoftverrel. Bármilyen vizsgálat teljesen végrehajtható PC-ről (kezdve a beállítások elvégzésétől az eredmények kiértékeléséig). A mért adatok statisztikai kiértékelését, tárolását, komplett jegyzőkönyv formátumú kidolgozását (szakítódiaagram, mért és számított adatok, dátum, vizsgálatot végezte, vizsgálat paraméterei stb.) a szoftver automatikusan elvégzi. A szoftver a mért alapadatokból képes további kb. 1000 mechanikai jellemző automatikus kiszámítására (pl. fajlagos nyúlás, Young-modulus, Poisson-szám, szakítószilárdság, stb.) [14].

Kiegészítők mechanikai anyagvizsgálatokhoz:

- Befogók (mechanikus, pneumatikus, hidraulikus),
- Vezérlő, adatgyűjtő-, kiértékelő szoftverek,
- Klímakamrák, és kemencék (-150°C $+1500^{\circ}\text{C}$ hőfoktartományban),
- Finomnyúlás-mérők (felcsíptethető és érintésmentes – video extenzométerek, automata extenzométerek, biaxiális extenzométerek)

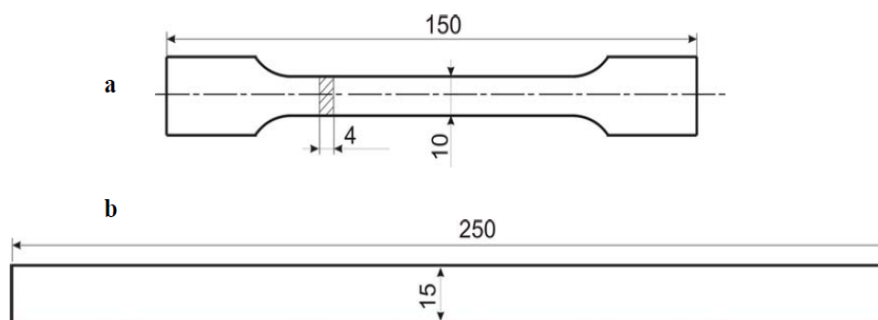
A műanyagok húzási jellemzőinek meghatározásához alkalmazható asztali kivitelű, INSTRON 5566 típusú szakítógép látható a 21. ábrán. Amely korszerű 10kN terhelhetőségű szakítógép műanyagok vizsgálatára. Kétoszlopos asztali kivitelezés összetettebb anyagvizsgálati feladatok végrehajtására, kutatási fejlesztési célokra is alkalmas (habok vizsgálata, ciklikus vizsgálatok, terheléstartás, hiszterézis vizsgálat, automatikus próbatest védelem, statikus és ciklikus előterhelés stb.) [14].



21. ábra. A dolgozat méréseihez alkalmazott INSTRON 5566 típusú szakítógépet

1.6.4.2. Általános polimer húzó próbatestek adatai

A polimerek egyik sajátossága, hogy a szakítódíagramjuk, és így a belőle meghatározható mechanikai jellemzőik függenek a próbatest alakjától és méreteitől. A gyakorlatban kör és téglalap keresztmetszetű próbatesteket alkalmaznak, polimer anyagoknál a téglalap keresztmetszet terjedt el jobban. Ennek geometriai méretei is az anyag típusától függően változnak. Arra, hogy egy adott anyagnál melyiket kell használni, az MSZ EN ISO 527-es szabvány tartalmaz előírásokat. 22. ábrán hőre lágyuló polimerek (a) és a kompozitok (b) vizsgálatára alkalmazott próbatestek láthatók [13].



22. ábra Próbatest típusok: (a) hőre lágyuló polimer anyaghoz, (b) hőre keményedő mátrixú kompozitokhoz [13]

A próbatestek gyártástechnológiája és annak beállítási paraméterei is nagyban befolyásolhatják a mechanikai jellemzőket. Méreteik attól függenek, hogy milyen gyártástechnológiával készítik őket. Fröccsöntéssel melegsajtolással, fóliatermékekből próbatest kiemelés lyukasztás. hőre keményedő műanyagokból fémipari berendezésekkel (pl. marás). Elasztomereknél jellemző az alakos lyukasztók használata [15].

A próbatest előállítása során arra kell ügyelnünk, hogy az eredeti felület megmaradjon. Ugyanis repedés vagy egyéb sérülések nagyban befolyásolják a majdani vizsgálatokat. összehasonlító vizsgálatra az eltérő hosszúságban kivágott vagy eltérő technikával kiemelt próbatestek nem alkalmasak [15].

2. Az elvégzett mérések ismertetése

A vizsgálat lemezmintái a kazincbarcikai Ongropack Kft gyártástechnológiájával előállított poli-vinil klorid bázisú, extrudált lemezekből állnak, kemény illetve habosított lemezkivitelből. Ezekre a termékekre egységesen jellemző, hogy nehezen éghetőek, önkioltóak, megfelelnek a műanyagokra vonatkozó különböző nemzeti tűzállósági előírásoknak. Műszaki paramétereik széles spektrumúak hosszúságuk, szélességük, vastagságuk változó, extruderszerszám és alkalmazásfüggő.

2.1. A vizsgált habosított PVC lemez

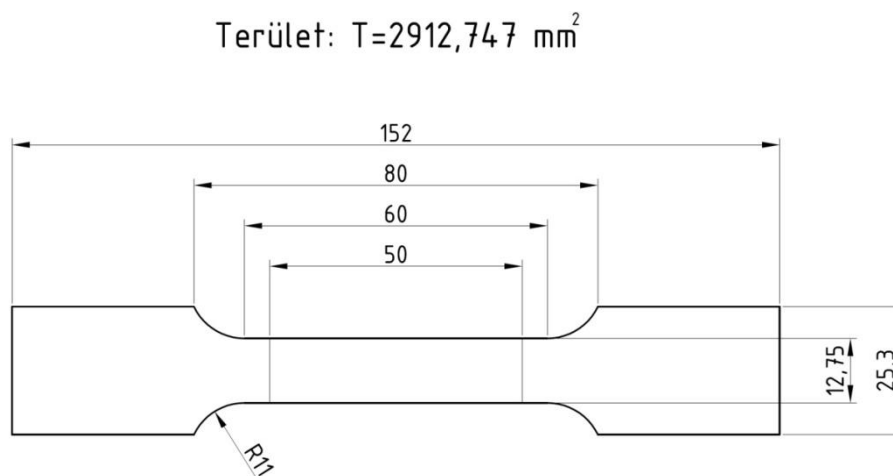
Mechanikai, elsősorban húzóvizsgálatoknak alávetett ONGROFOAM AYTU típusú lemez próbatestek. A lemezek integrálhabokkal kialakított szerkezetűek, ahol egyetlen technológiasorán alakul ki a termék belső habszerkezet, amely a külső felületek felé haladva fokozatosan tömörre válik, ezáltal a termékek vastagsága és hajlítómerevsége nő anélkül, hogy a tömege megnőne. Kémiai habosítószer (,hajtóanyagok”) hozzáadásával készül a lemeztermék. A finom eloszlású port, amelyet a pvc porhoz, törzsanyaghoz, darálékhoz szárazon kevernek még az extruderbe történő betáplálás előtt. Extrudáláskora gyúrás és hő hatására a habosítószer elbomlik, miközben habosítást elősegítő gázok keletkeznek. A finom eloszlású por, mint a buborékképződés *gócképzője* is kifejti hatását. A gócképződés az a jelenség, amelynek során egyfázisú rendszerben az anyafázistól elkülönülnek a már stabilis új fázis parányi részecskéi. Függetlenül az anyafázis és az új fázis halmazállapotától.

2.2. A vizsgált kemény PVC lemez

Az ONGRODUR IRCN típusú kemény PVC lemezekből kinyert próbatesteken szintén húzóvizsgálati mérések történtek, csakúgy, mint a habosított lemezek. Ezek a lemezek teljes egészében tömör anyagszerkezetűek, azonos, egyenletes anyageloszlásúak. Ebből következik, hogy sűrűségük is nagyobb, eltérőbb a habos lemezektől. Komponenseikben sem tartalmaznak annyi alapanyagot. Nem keményítene meg a lemezen alsó felső réteget hagyva, hogy az anyag egész metszetében egynemű legyen. Ez a lemez is tartalmaz lágyítót csak kisebb mennyiségben. Hőformázhatóak, vághatóak, hegeszthetőek, laminálhatóak és nyomtathatóak. Minden típus ellenáll a legtöbb kémiai vegyületnek szobahőmérsékleten. Előnyei: kiváló vákuumformázás, ütésállóság, kedvező mechanikai tulajdonságok.

2.3. Vizsgálatoknál használt próbatestek adatai

A vizsgálatoknál használt bélyeggel kivágott próbatest paramétereit, valamint a kiszámolt területet (a sűrűségek megállapítása érdekében) az alábbi 23. ábrán mutatja.



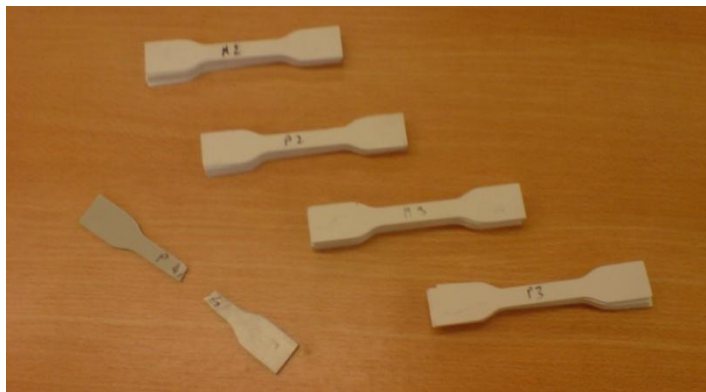
23. ábra. A kivágott, és vizsgált próbatest geometriája

Az egyenként kivágott próbatestek tömegei külön-külön lettek mérve a sűrűségek (g/cm^3) megállapításához, melyek a leírt tömeget (g), a fenti terület (cm^2) és az átlagvastagság (cm) segítségével lettek külön-külön meghatározva minden próbatest esetében. A mérések elemzésénél a sűrűségek állagát figyelembe véve került összehasonlításra a 0,5 sűrűségű alatti, ill. feletti habos továbbá a jóval nagyobb sűrűségű kemény lemezek húzófeszültség vizsgálata. A különböző vastagságú és anyagszerkezetű próbatestek mért sűrűségeit és átlagaikat a dolgozathoz csatolt MELLÉKLET 2. részletesen tartalmazza.

Minden vastagságból és sűrűségből 10-10 db próbatest lett elszakítva a fentebb már megemlített Instron 5566 típusú szakítógépen klimatizált helyiségben, normál körülmények között, 20°C hőmérsékleten, 50%-os páratartalomnál. Az alakváltozási sebesség minden esetben 10mm/min volt. A szakítógéphez nagysebességű adatgyűjtő kártyán keresztül számítógép csatlakozik melyen a BlueHill 2 nevű szoftver szabályozza a vizsgálatot és az adatgyűjtést. Ennek segítségével tetszőleges mintavételezési frekvenciával lementhető a vizsgálat közben az elmozdulás, és hozzá tartozó erő, amiből a szélesség és vastagság(mm), szakítás előtti és a szakítás utáni adataiból tetszőleges anyagvizsgálati jellemzők határozhatók meg. Esetünkben a kontrakció(%), a max. erő(N), a húzószilárdság(MPa), a szakadási nyúlás(m/m vagy %), a szakadási erő(N), és a rugalmassági modulus(MPa) számoltuk ki vizsgálatonként. A mérési adatokból meghatároztam ezen mérőszámok átlagát, minimumát, maximumát, szórását. A vizsgálatok során felvett húzódiagramokat a dolgozathoz csatolt MELLÉLET 1. tartalmazza. A 24. és 25. ábrán láthatóak a vizsgálat előtti habos és kemény próbatestek.



24. ábra. A vizsgált habos próbatestek a vizsgálat előtt (összesen 240 db)



25. ábra. A vizsgált kemény próbatestek a vizsgálat előtt (összesen 34 db)

3. Mérési eredmények, kiértékelés

A következőkben a meghatározott húzási jellemzők közül a húzószilárdság, rugalmassági modulus, szakadási nyúlás átlagai vannak ábrázolva oszlopdiagramban, az oszlopok tetején a szórási intervallumokkal vagy más néven hibasávokkal a 26-34. ábrákon.

Az eredmények lemezzvastagságonként sűrűség szerint $0,5 \text{ g/cm}^3$ alatti (a) és feletti (f); valamint extrudálási irányhoz viszonyított orintáció szerint párhuzamos (p) és merőleges (m) minták szerint vannak csoportosítva.

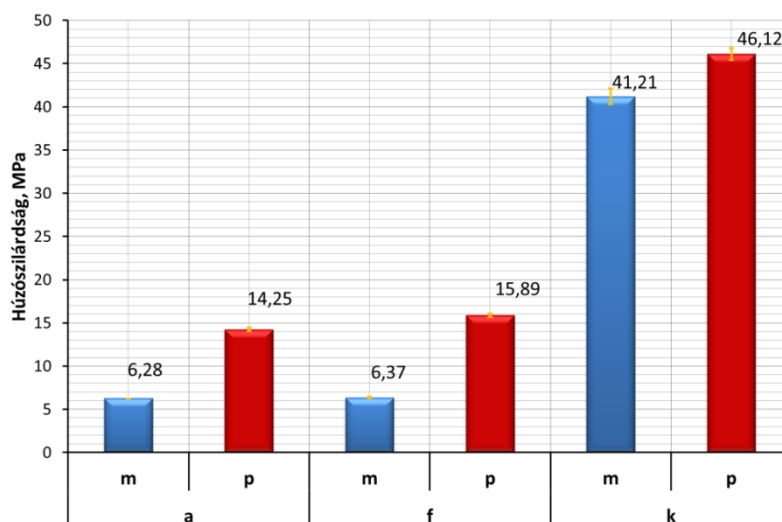
Az eredeti alapkeverékből habosító nélkül extrudált, és ennek megfelelően sokkal nagyobb sűrűséggel rendelkező ún. keménylemez (k) háromféle vastagságban állt rendelkezésre, 2 mm, 3 mm és 4,5 mm. Ezek közül csupán a 3 mm lemezzvastagságú extrudált hab eredményei voltak összevethetők a habosított lemezek eredményeivel, melyek 3 mm, 4 mm és 5 mm lemezzvastagságban álltak rendelkezésre. Ezért csak a 3 mm-es lemezzvastagság esetében vannak eredmények három különböző sűrűségű lemezről.

Általános megállapítás, hogy minden lemezzvastagság és sűrűség esetében az értékek nagyobbak az extrudálási iránnyal párhuzamosan kivágott próbatestek esetében. Ennek okai a PVC, mint makromolekuláris polimer atomos szerkezetében keresendők. A polimerláncokon belül nagy energiájú elsődleges, kovalens kötés van, melynek felszakításához nagy erőre van szükség. Azonban a polimerláncok között több nagyságrenddel kisebb energiájú másodlagos kötések vannak. Az extrudálás hatására a polimerszálak az extrudálás irányába orintálódnak mely irányban ennek megfelelően sokkal nagyobb terhelést képes elviselni a polimer. Ezzel ellentétben merőleges irányban kisebb a szilárdságuk, ugyanis a molekuláris kötések nem az elsődleges, főlánci irányában kezdenek el, nyúlni, szakadni, hanem a másodlagos kötések irányában, ezért könnyebben szakad a próbatest.

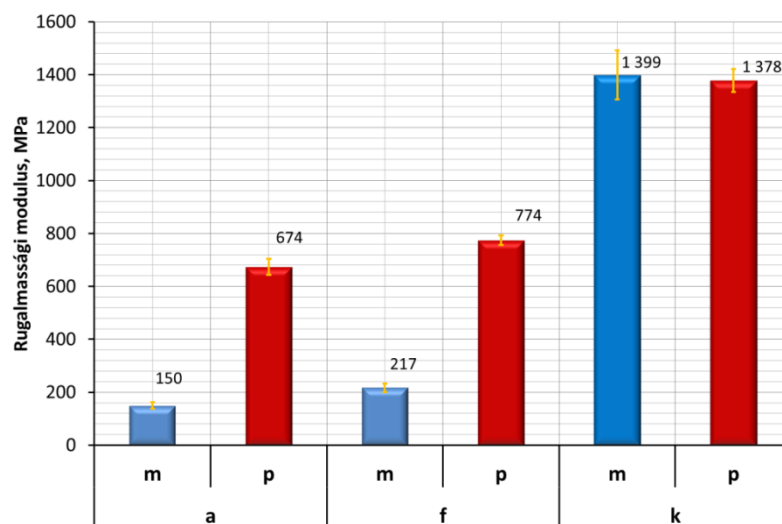
A diagramokon a két eltérő sűrűségben, ugyanúgy kivágott és szakított habos lemezek mért adatait, valamint az első három diagramban a kemény lemezek adatait is megtalálhatók. Továbbá az értékekhez tartozó szórási intervallum is feltüntetve látható. Elemézve a 3mm vastag lemezeket a további következtetések állapíthatóak meg. A habos szerkezeti értékek a kemény lemez adatokhoz képest maximum harmadánál kisebbek, viszont a szórás a keménylemez esetében szemmel láthatóan nagyobb, de az 5%-os mérnöki intervallumnak megfelelnek. Habszerkezet „levegős”, nem egynemű tömör anyagból áll. A terhelést nem a teljes befoglaló térfogat viseli, hanem csupán az egytengelyű feszültségre merőleges

keresztmetszeten az anyag. Minél kisebb a sűrűség, annál több „lukat” tartalmaz az anyag, és annál kevesebb a terhelést ténylegesen felvevő anyag aránya.

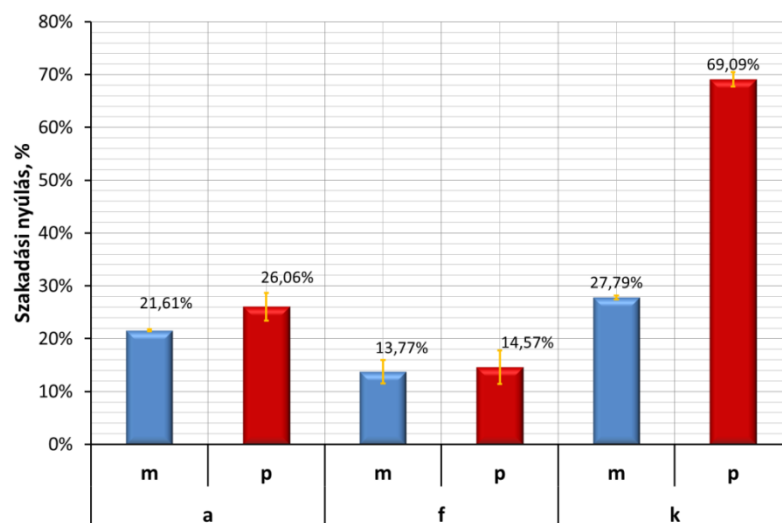
A 26. 27. és 28 ábrán a 3mm vastag merőleges, ill. párhuzamos kemény lemez szakítási adatai vannak összevetve. A többi ábrában a 4 mm-es és 5 mm-es habos lemezek adatai láthatóak. A kapott értékek alapján összehasonlíthatóak a lemezek, a vastagságból adódó eltérések. A lemezvastagság növekedésével – a sűrűséghez hasonlóan a – a szilárdsági jellemzők rendkívül kis mértékben, de javuló tendenciát jeleznek, a szakadási nyúlás értékei viszont kis mértékben javulnak.



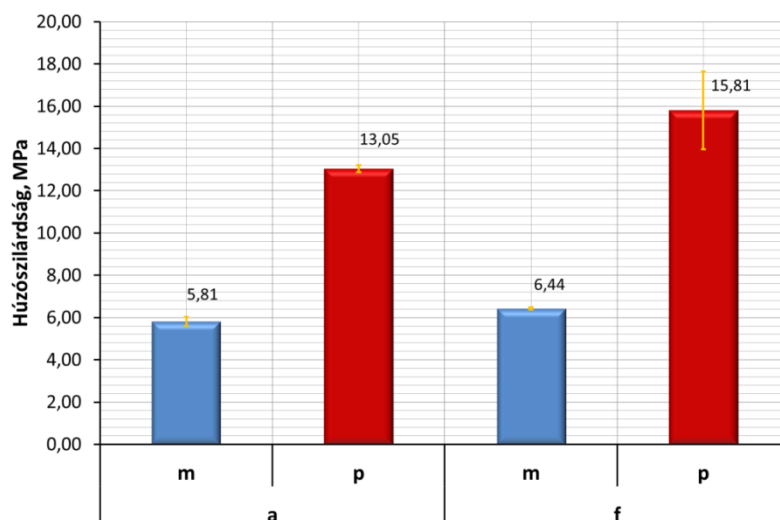
26. ábra. 3 mm vastagságú, extrudált PVC lemez húzószilárdsága



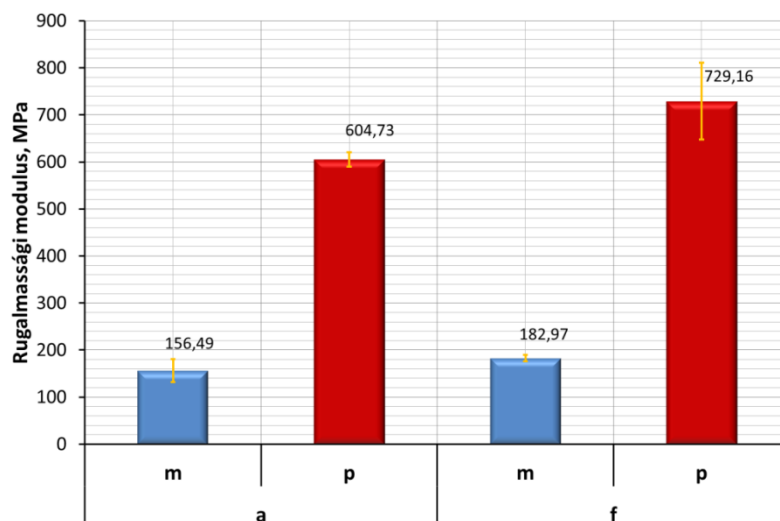
27. ábra. 3 mm vastagságú, extrudált PVC lemez rugalmassági modulusa



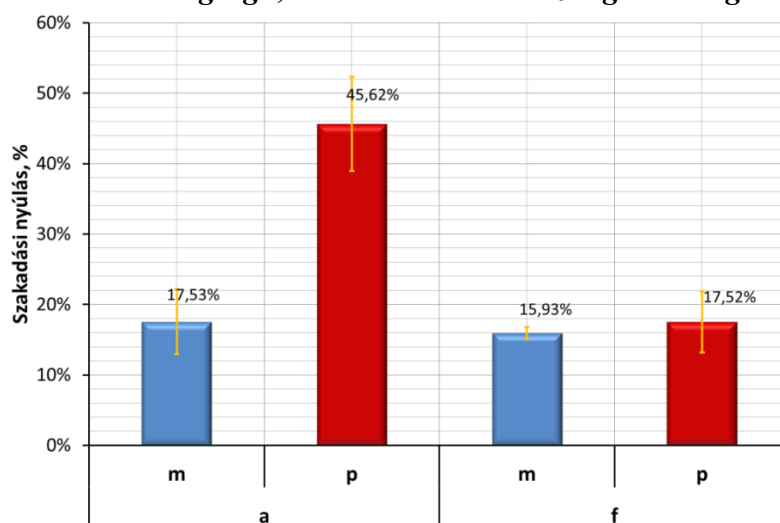
28. ábra. 3 mm vastagságú, extrudált PVC lemez szakadási nyúlása



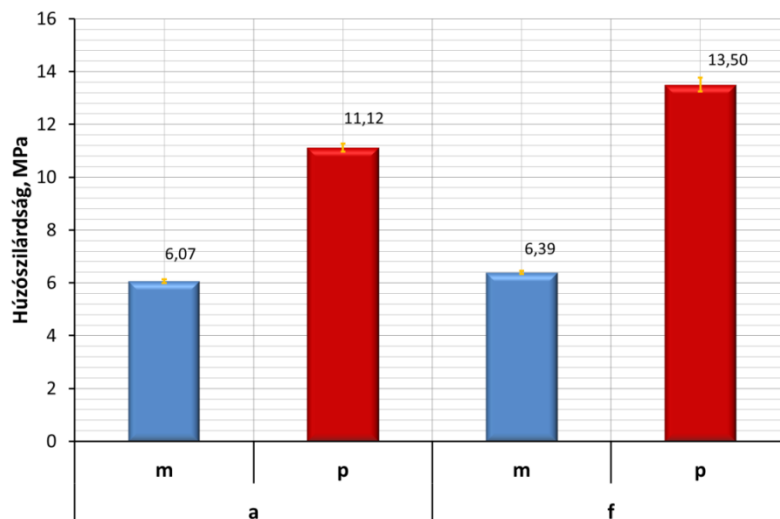
29. ábra. 4 mm vastagságú, extrudált PVC lemez húzószilárdsága



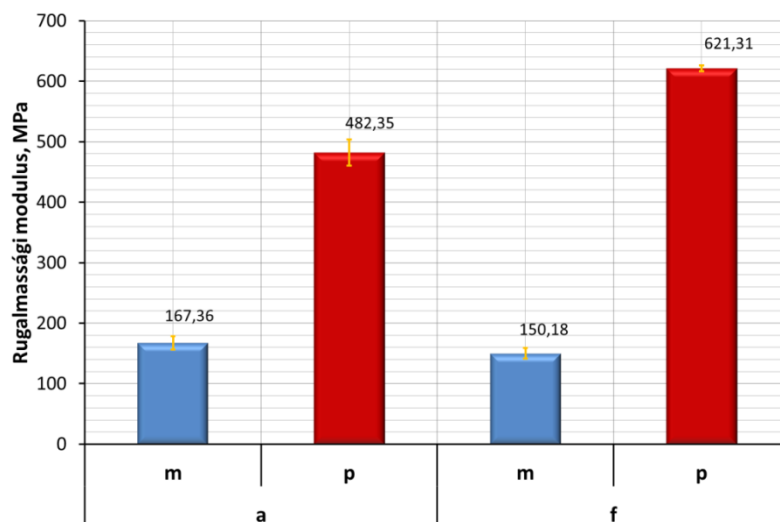
30. ábra. 4 mm vastagságú, extrudált PVC lemez rugalmassági modulusa



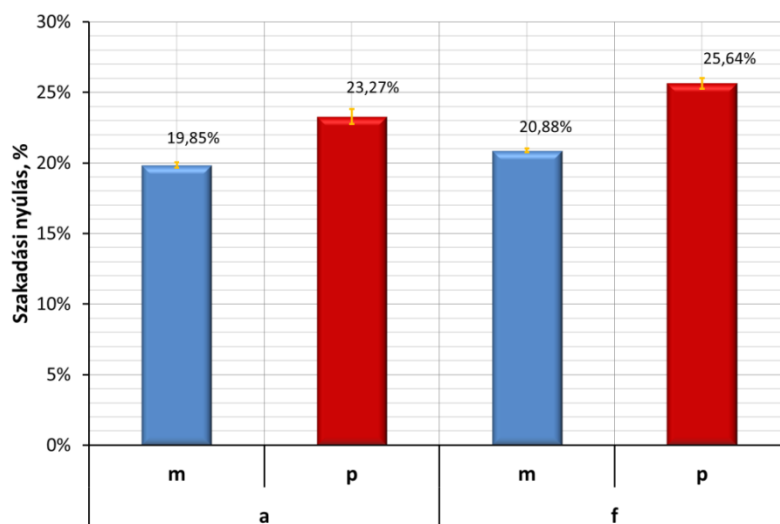
31. ábra. 4 mm vastagságú, extrudált PVC lemez szakadási nyúlása



32. ábra. 5 mm vastagságú, extrudált PVC lemez húzószilárdsága



33. ábra. 5 mm vastagságú, extrudált PVC lemez rugalmassági modulusa



34. ábra. 5 mm vastagságú, extrudált PVC lemez szakadási nyúlása

Összefoglalás

Azonos alapkeverékből különböző habosító tartalommal, tehát különböző sűrűségben, és különböző lemezzvastagsággal extrudált PVC habok húzási tulajdonságait – különös tekintettel a húzószilárdságra, rugalmassági modulusra, és a szakadási nyúlásra – vizsgáltam az extrudálás irányában és rá merőlegesen egyaránt.

Az extrudált termék anizotrópiáját jól mutatja, hogy az extrudálás irányában megállapított valamennyi húzási tulajdonság kedvezőbb, mint a rá merőleges irányban.

3 mm-es lemezzvastagság esetén három különböző sűrűségű anyagot vizsgáltam. Az eredeti, habosítómentes PVC-t, $0,5 \text{ gcm}^{-3}$ feletti (f) és alatti (a) sűrűségű anyagot. Azonos orientáció esetén a mechanikai tulajdonságok nagymértékben növekednek, a szakadási nyúlás viszont csökken a sűrűség növekedésével.

A lemezzvastagság növekedésével – a sűrűséghez hasonlóan a – a szilárdsági jellemzők rendkívül kis mértékben, de javuló tendenciát jeleznek, a szakadási nyúlás értékei viszont kis mértékben javulnak.

A vizsgálati eredmények szórása, az oszlopdiagramokra illesztett hibasávokon jól látható módon rendkívül kicsi, a mérnöki gyakorlatban elfogadott 5% -on belül van minden esetben.

Köszönetnyilvánítás

A bemutatott tudományos diákköri munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

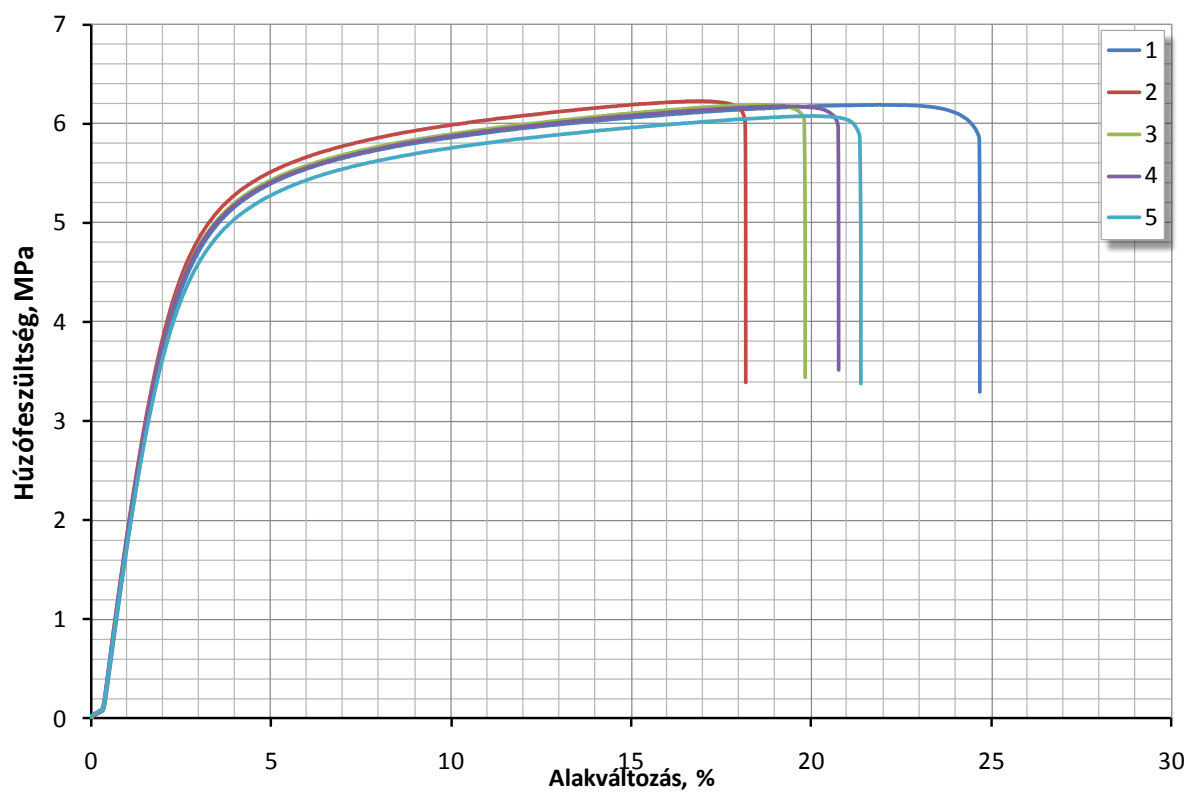
IDÉZETT FORRÁSMUNKÁK

- [1] Czvikovszky - Nagy-Gál; **A polimerteknika alapjai** Műegyetemi Kiadó. Budapest, 2006. ISBN 963 420 621 2
- [2] Jakab Árpád-Thurzó György - Zincz Béla; **A PVC előállítása feldolgozása és alkalmazása** Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1957.
- [3] George Matthews: **PVC: production, properties and uses** Institute of Metals, London 1996. ISBN: 0-901-71659-6
- [4] W. V. Titow: **PvcTechnology** Elsevierappliedsciencepublished, New York, 1894. ISBN: 0-85334-249-0
- [5] Dr. Mondvai Imre; **Polimerek előállítása és feldolgozása Budapesti Műszaki egyetem Vegyészmérnöki kar, Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.**
- [6] George Wypych: **PVC Degradation and Stabilization** ChemTec Publishing, Ontario, Canada 2008. ISBN:978-1-895198-39-3
- [7] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimerteknika Tanszék: **Polimer habok** Budapest, 2012. május 11.
http://www.pt.bme.hu/futotargyak/46_BMEGEMTMMA1_2012tavaszi/hab-kompozit_gumi.pdf
- [8] Pál Károlyné: **Műanyagbabok** 2005.
<http://www.muanyagipariszemle.hu/2006/06/muanyaghabok07.pdf>
- [9] <http://www.ongropack.hu/>
- [10] J. Leadbitter - J. A. Day - J. L. Ryan: **PVC - Compounds, Processing and Applications** Rapha Technology Limited, UK. Rapra review repotrs, volume 7, number 6, 1994.
- [11] Nagy András: **Ongropack Kft., belső anyag** 2010.
- [12] Czel György – Kollár Mariann; **Anyagvizsgálati praktikum** Sunplant Kft, Debrecen, 2008. ISBN: 978 963 06 4216 3
- [13] EN ISO 527 szabvány: Szakítóvizsgálat
- [14] Tóth Péter: **Az Instron nagy kapacitású vizsgálógépei** Atestor Kft. 2005.
http://www.anyagvizsgaloklapja.hu/avl/cikkek/05_1_toth_peter.pdf
- [15] Charles E. Wilkes - James W. Summers - Charles Anthony Daniels: **PVCHandbook** Garl Hanser Verlag, Munich 2005. ISBN: 3-446-22714-8

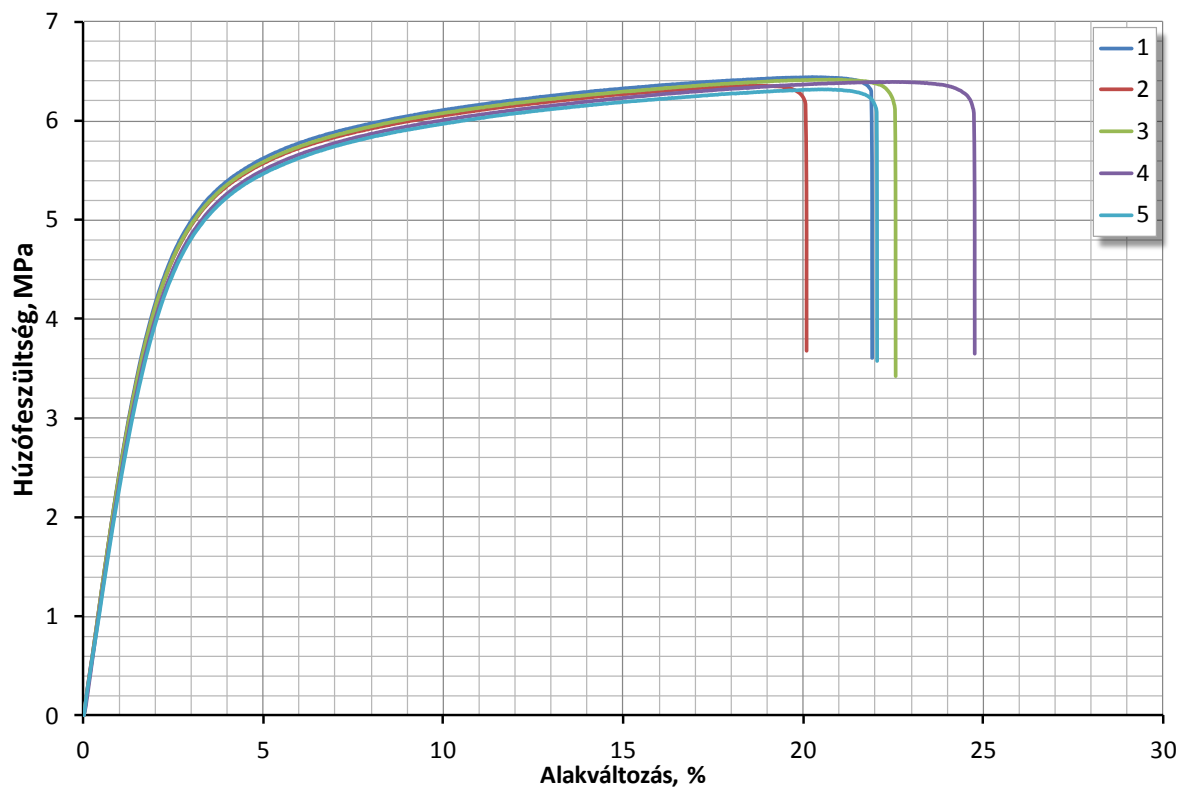
MELLÉKLET 1.

3mm vastag, 0,5 sűrűség alatti merőlegesen kivágott habos próbatestek szakítódíagramjai;

pvc_ha32m

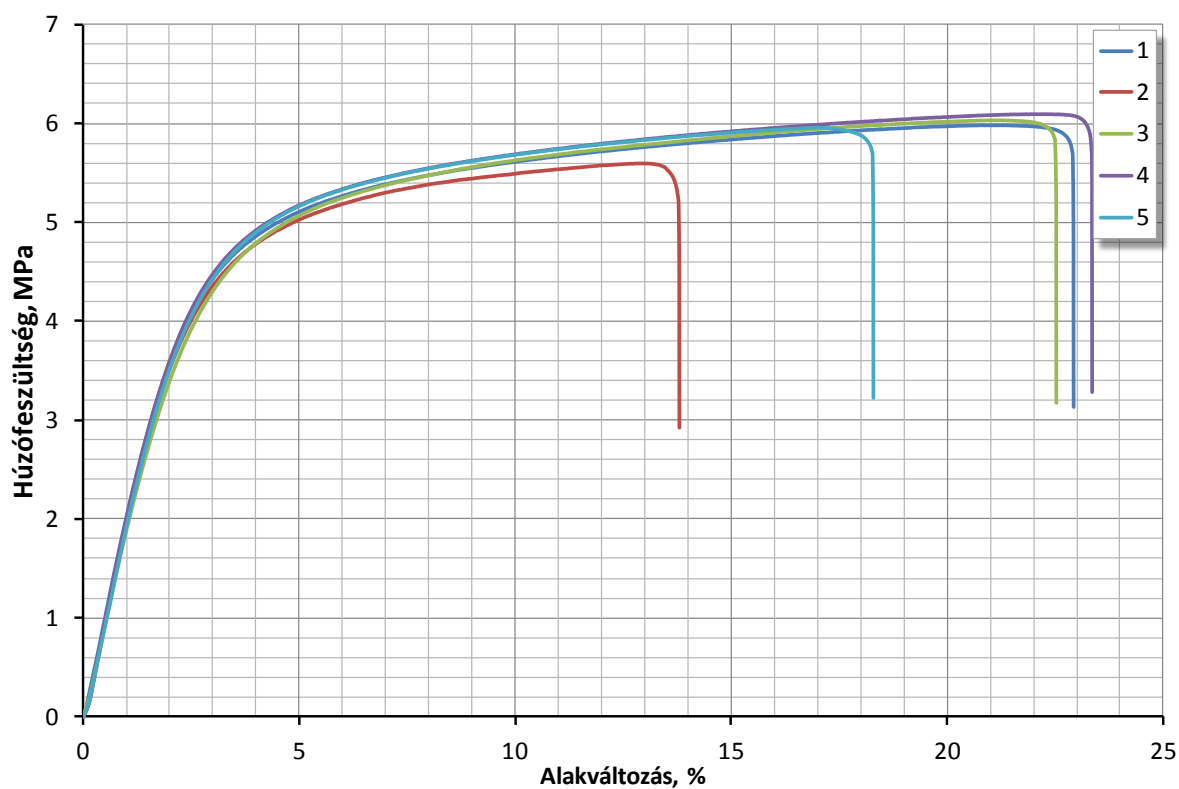


pvc_ha33m

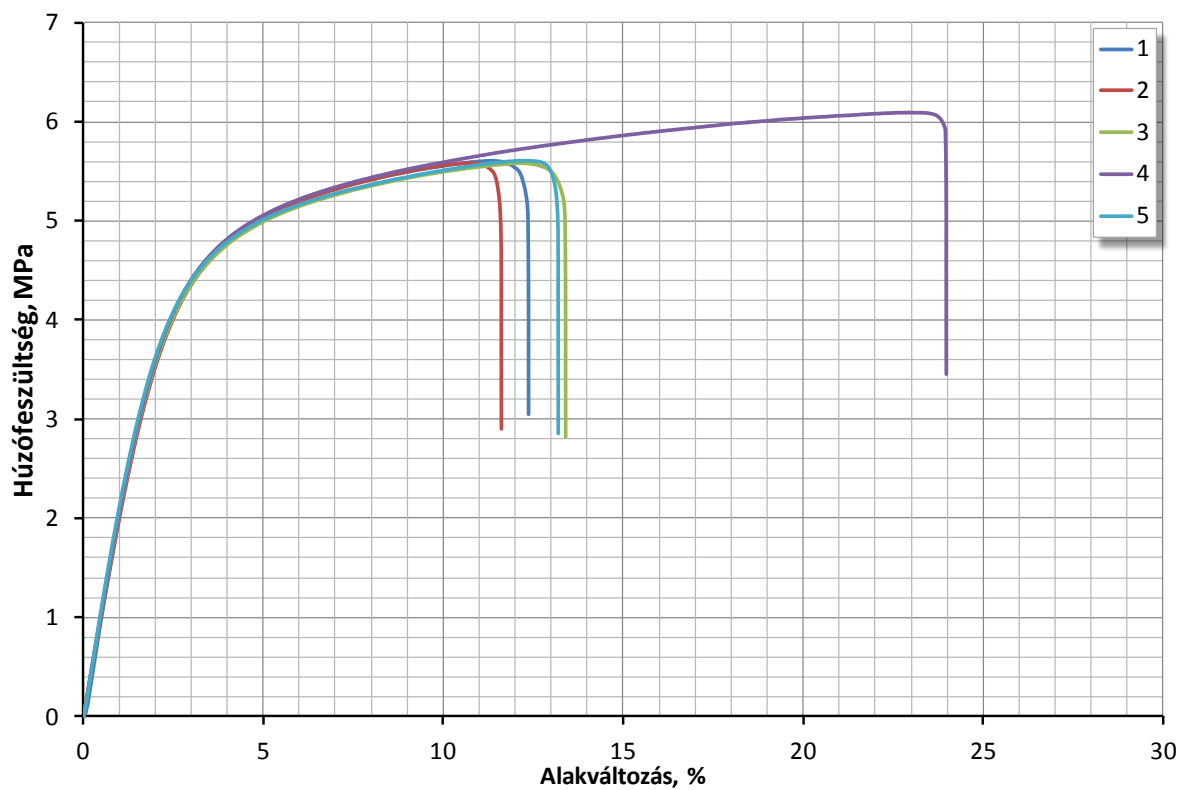


4mm vastag, 0,5 sűrűség alatti merőlegesen kivágott habos próbatestek szakítódíagramjai;

pvc_ha42m

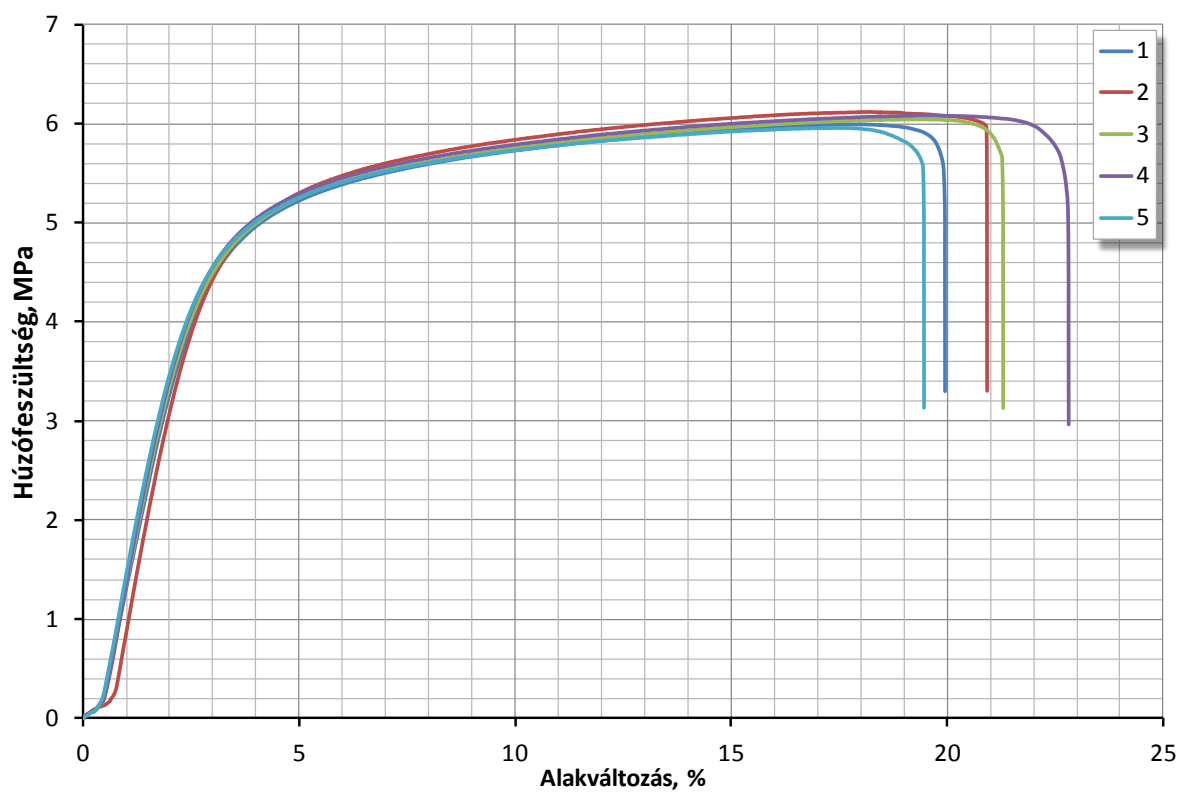


pvc_ha43m

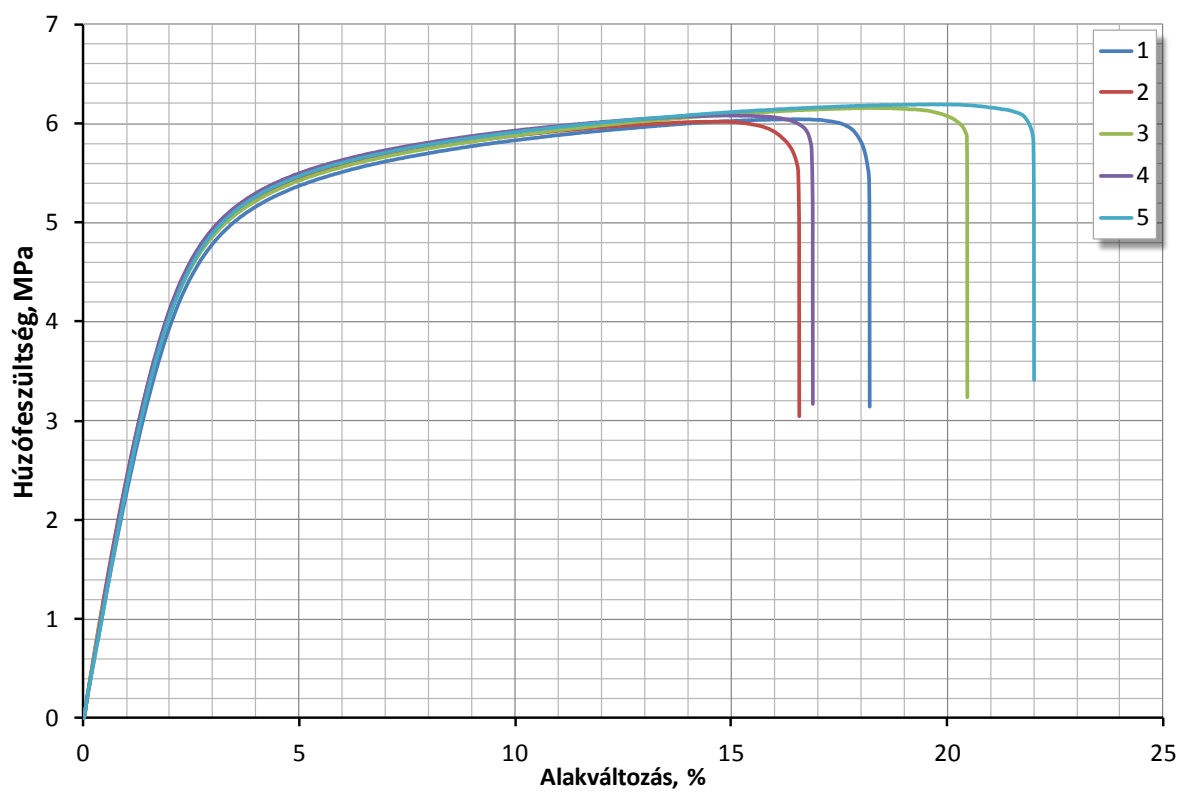


5mm vastag, 0,5 sűrűség alatti merőlegesen kivágott habos próbatestek szakítódíagramjai;

pvc_ha52m

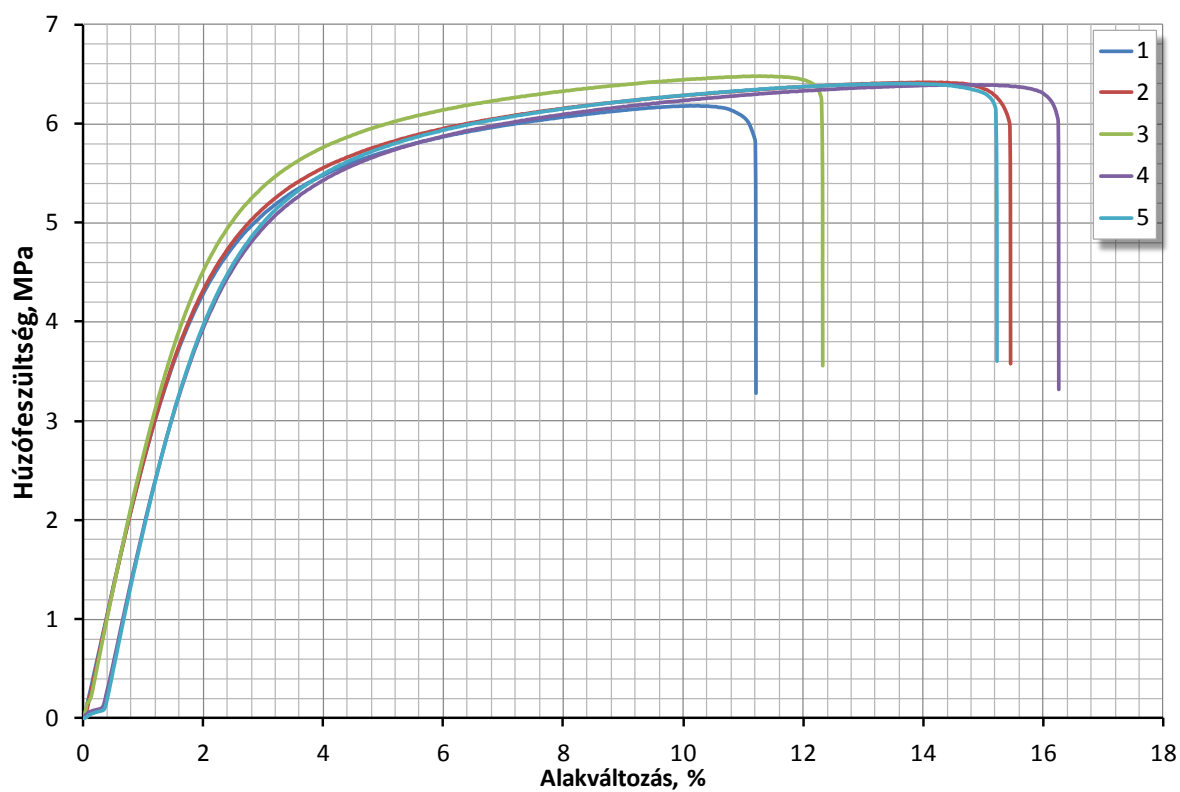


pvc_ha53m

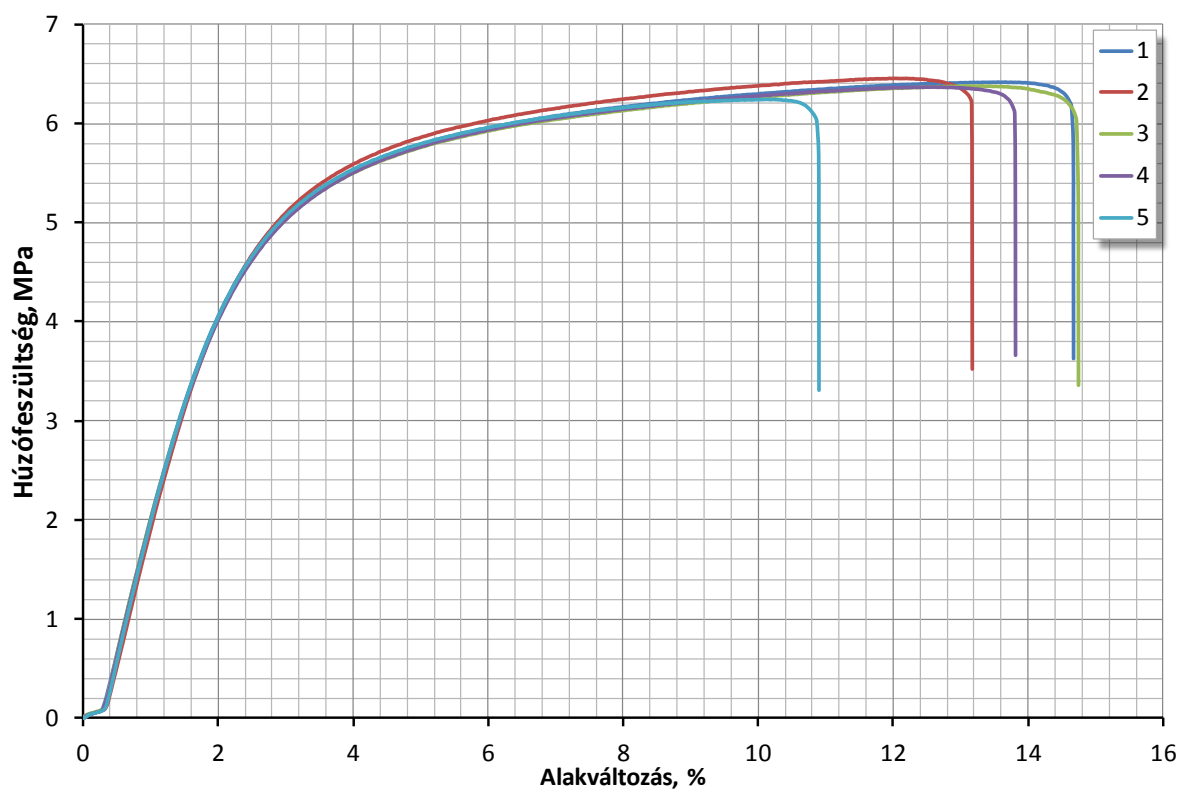


3mm vastag, 0,5 sűrűség feletti merőlegesen kivágott habos próbatetek szakítódíagramjai;

pvc_hf32m

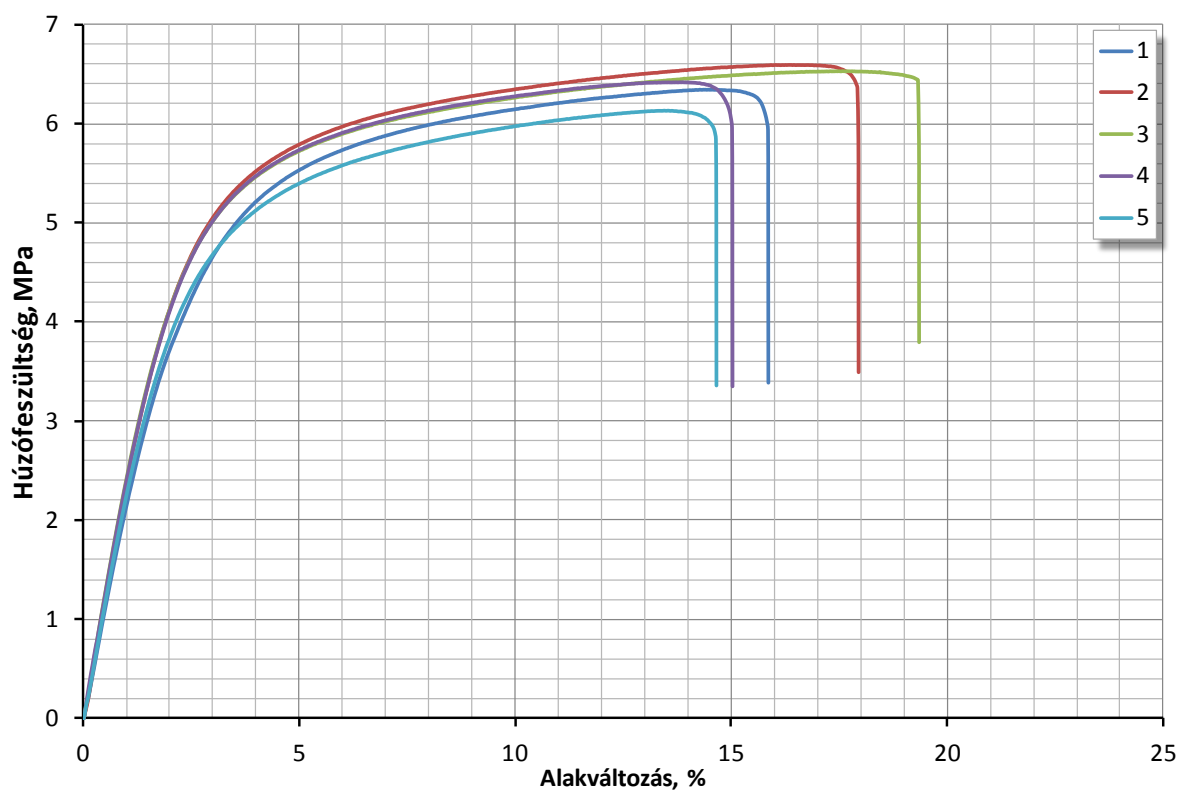


pvc_hf33m

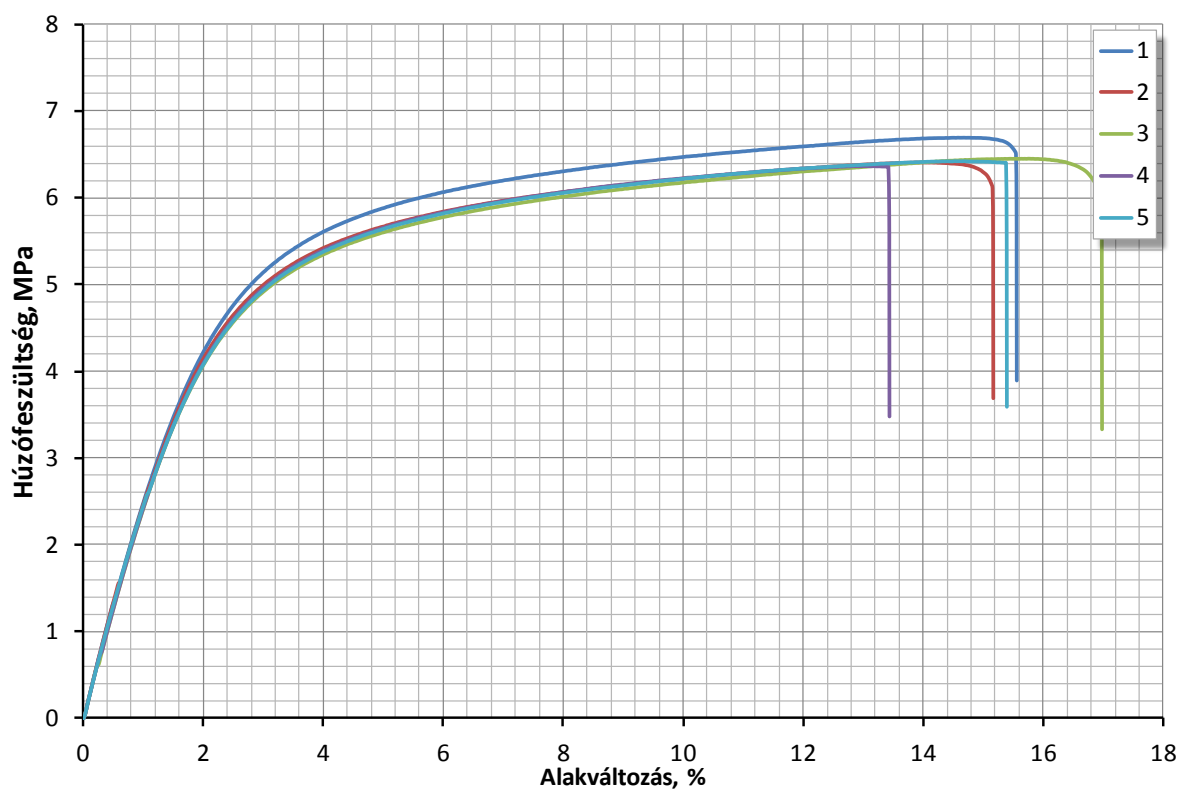


4mm vastag, 0,5 sűrűség feletti merőlegesen kivágott habos próbatestek szakítódíagramjai;

pvc_hf42m

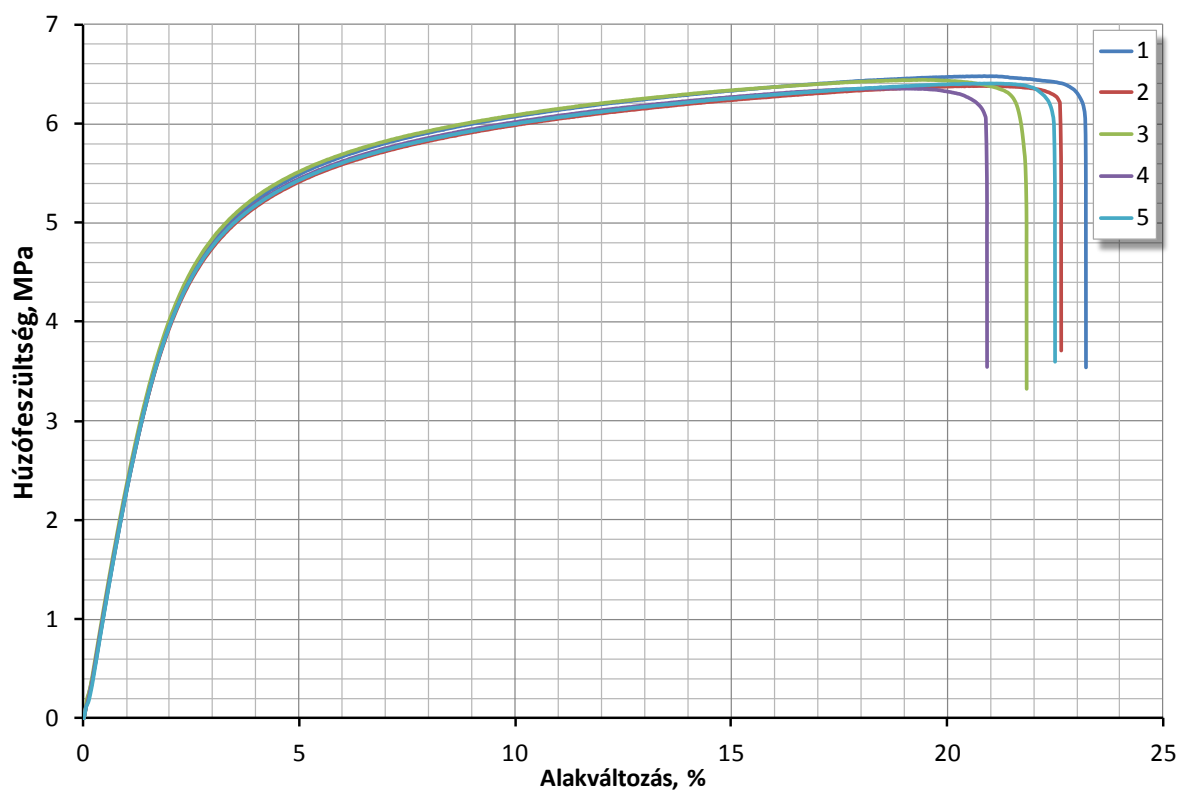


pvc_hf43m

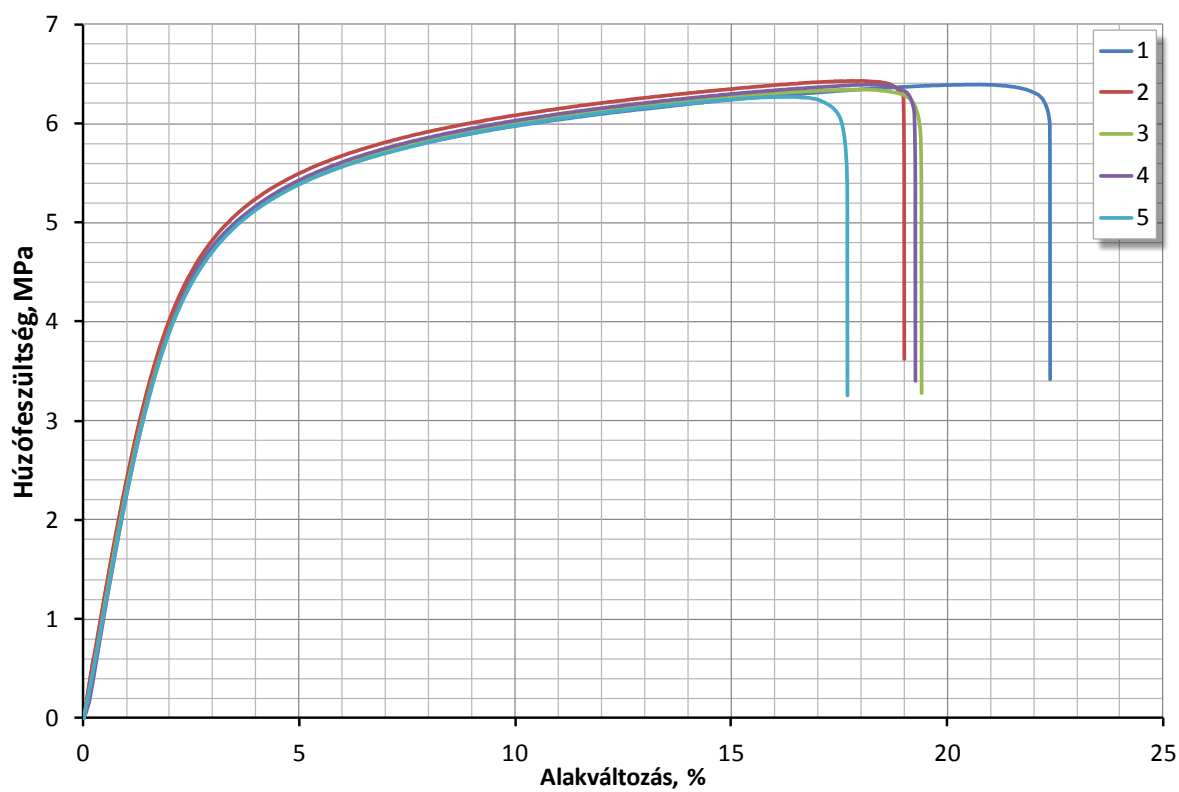


5mm vastag, 0,5 sűrűség feletti merőlegesen kivágott habos próbatestek szakítódíagramjai;

pvc_hf52m

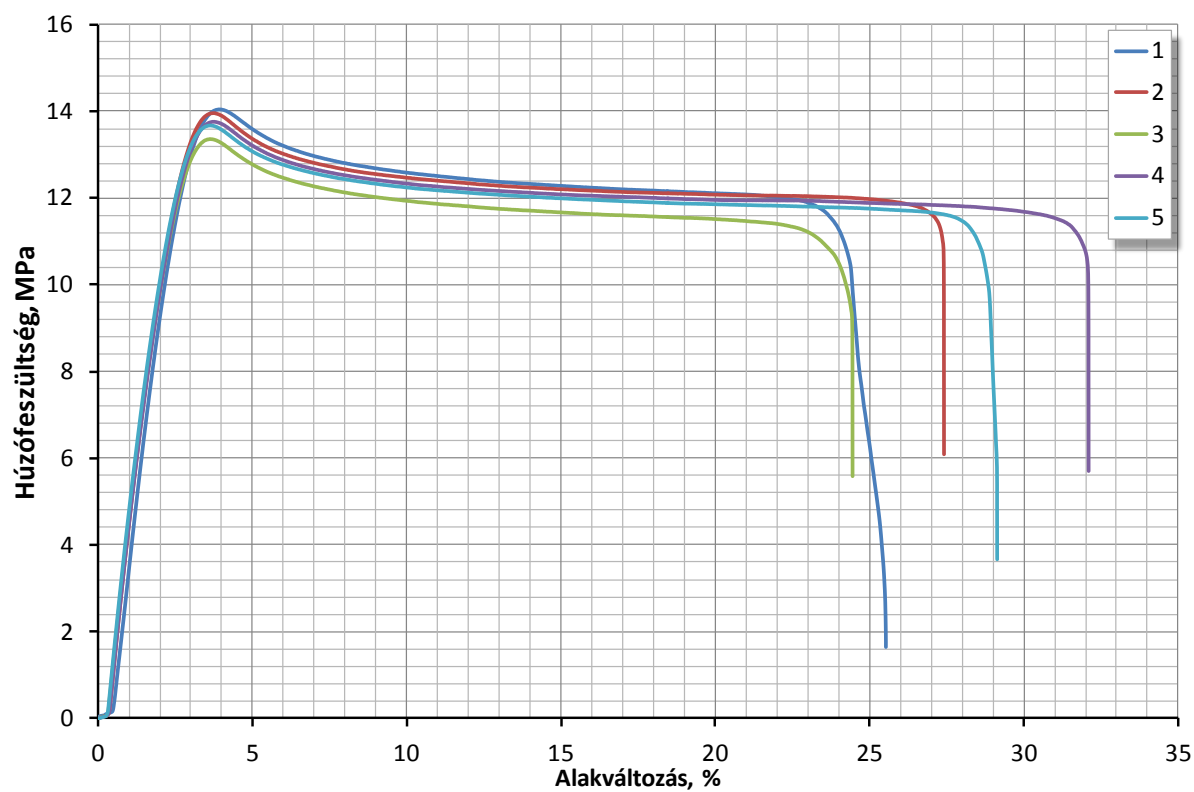


pvc_hf53m

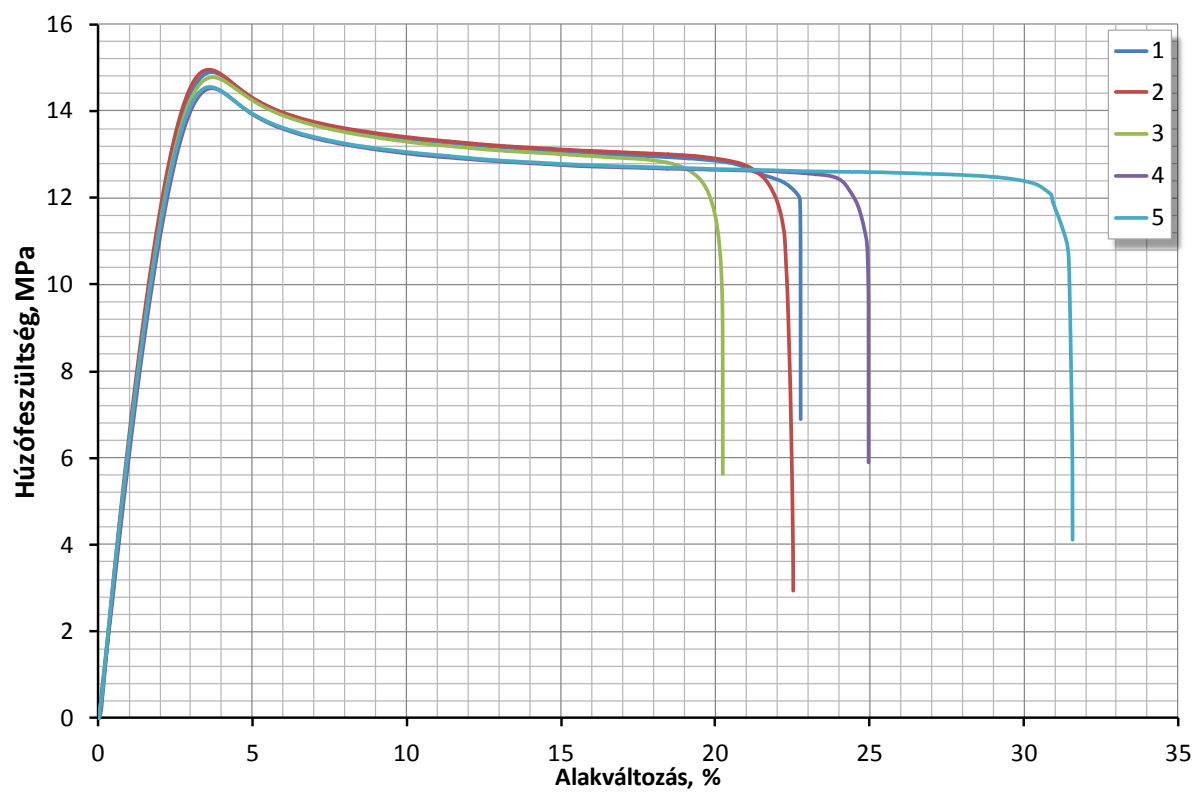


3mm vastag, 0,5 sűrűség alatti párhuzamosan kivágott habos próbatestek szakítódíagramjai;

pvc_ha32p

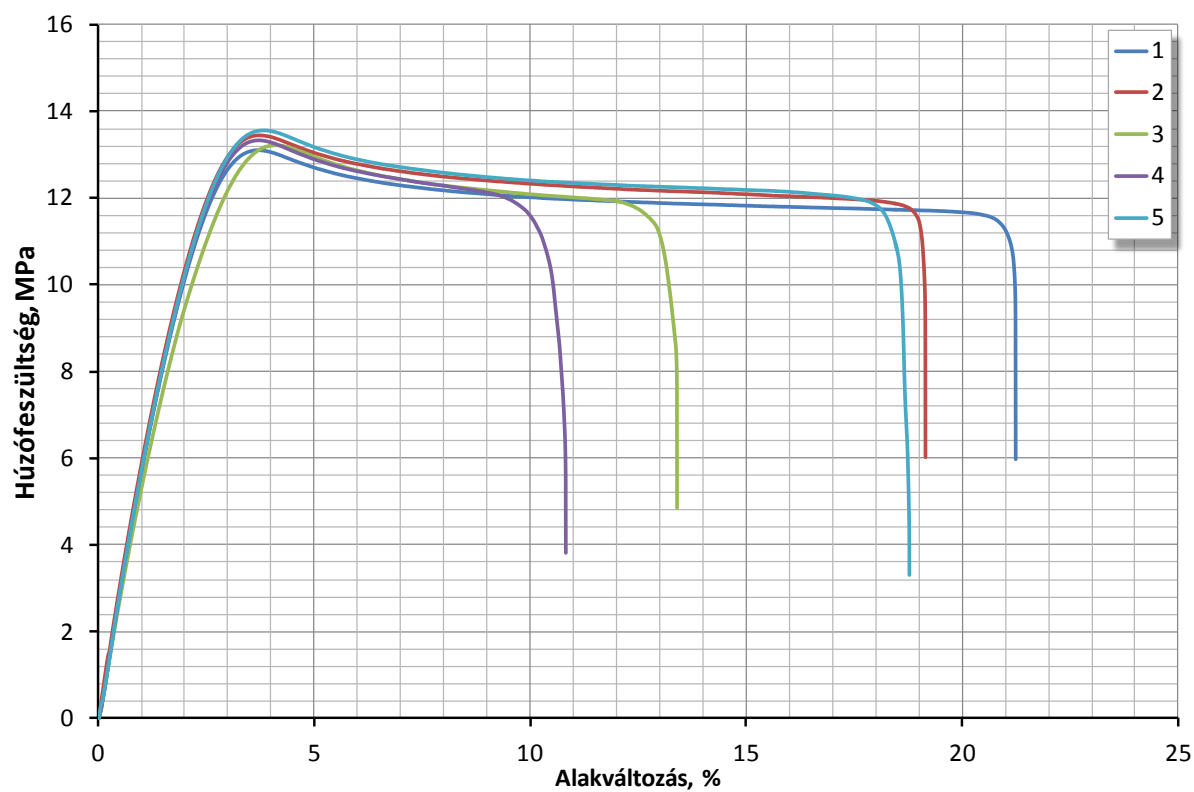


pvc_ha33p

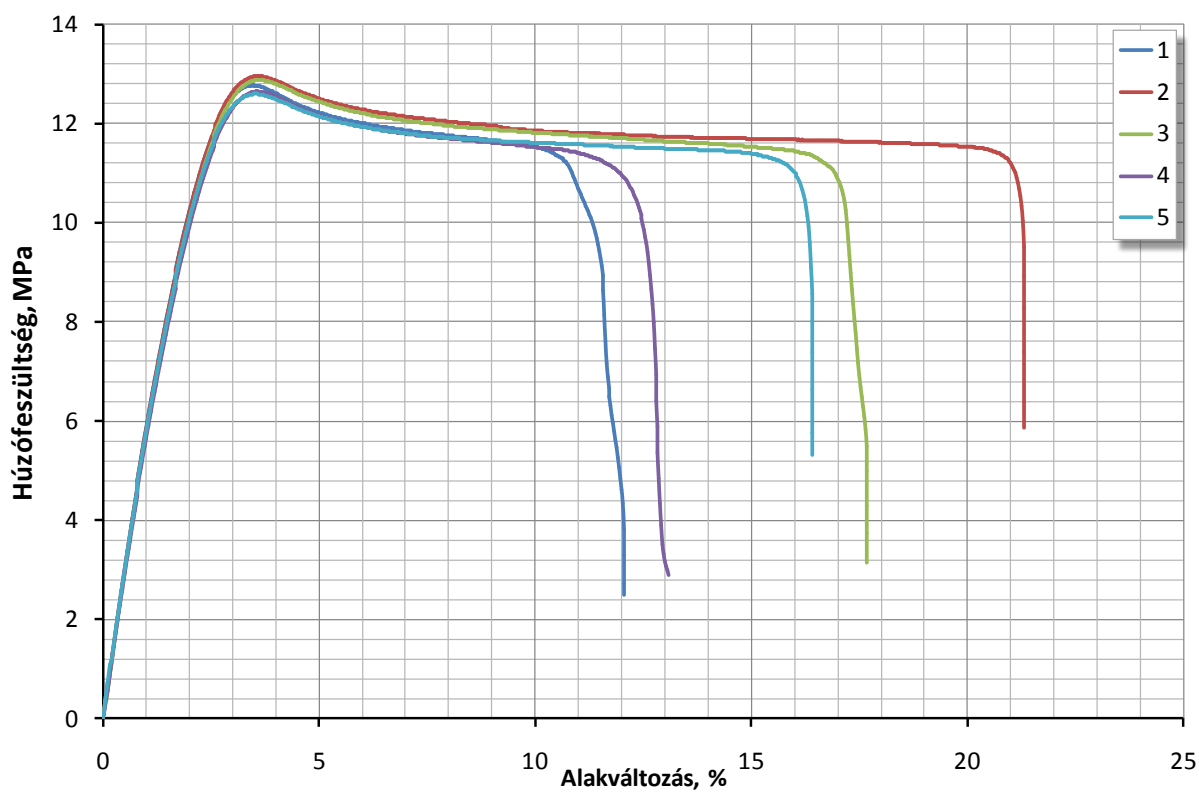


4mm vastag, 0,5 sűrűség alatti párhuzamosan kivágott habos próbatestek szakítódíagramjai;

pvc_ha42p

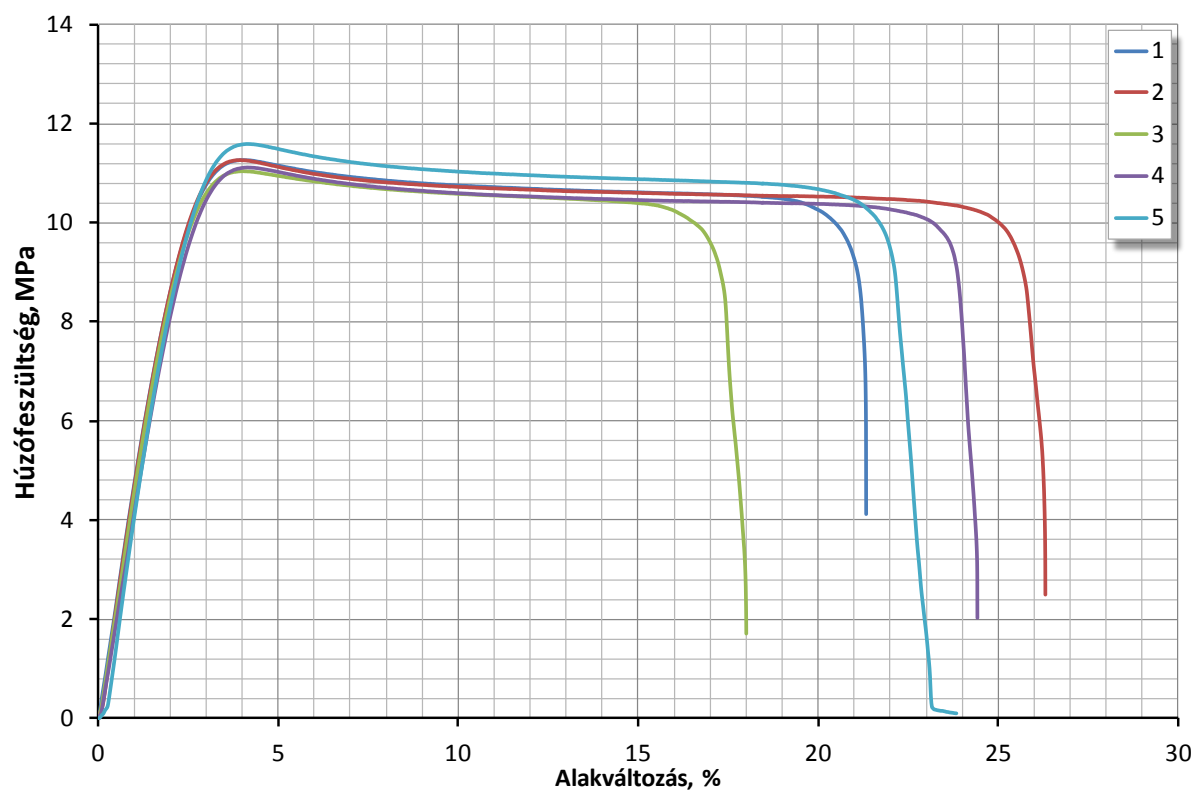


pvc_ha43p

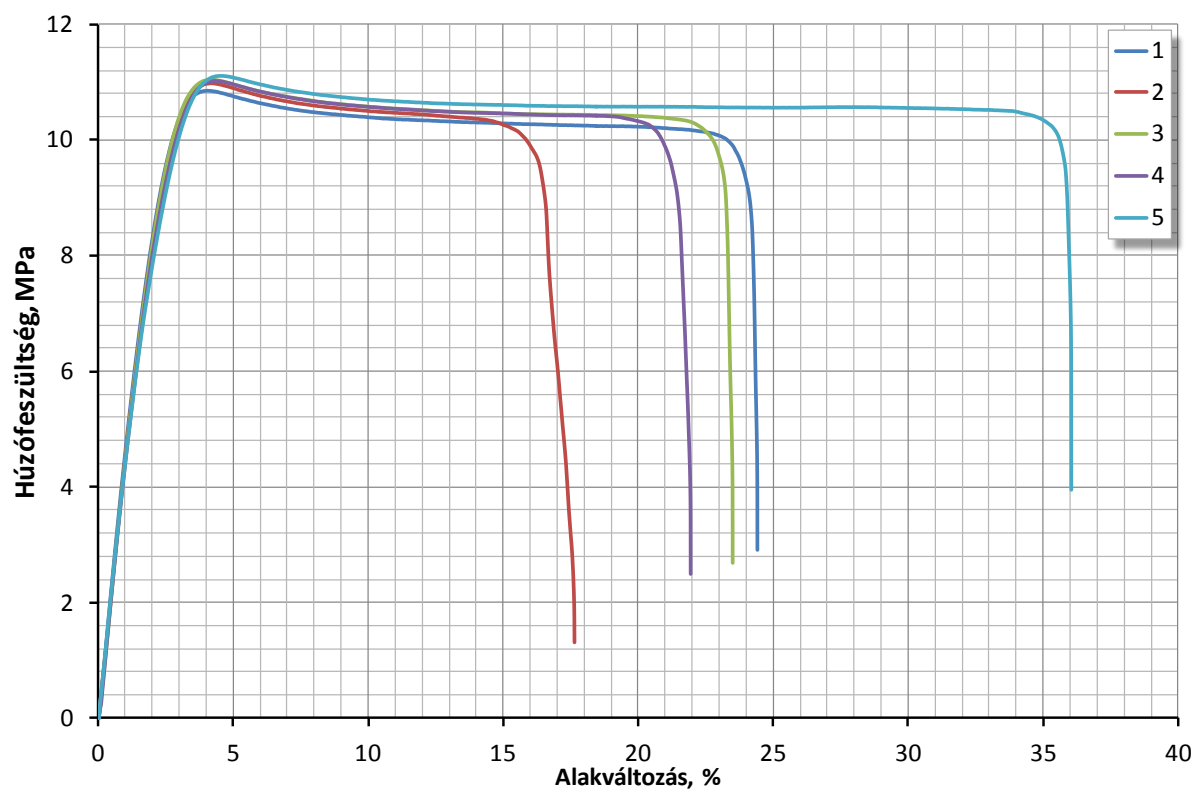


5mm vastag, 0,5 sűrűség alatti párhuzamosan kivágott habos próbatestek szakítódíagramjai;

pvc_ha52p

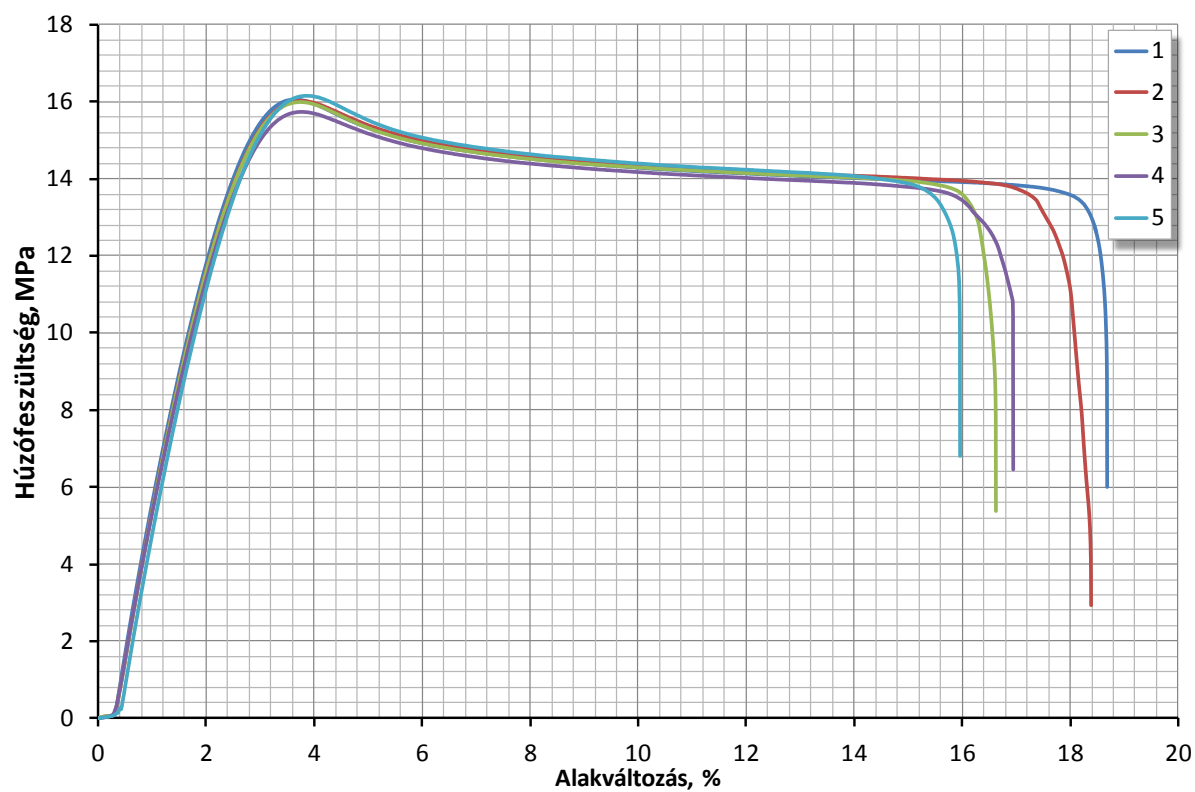


pvc_ha53p

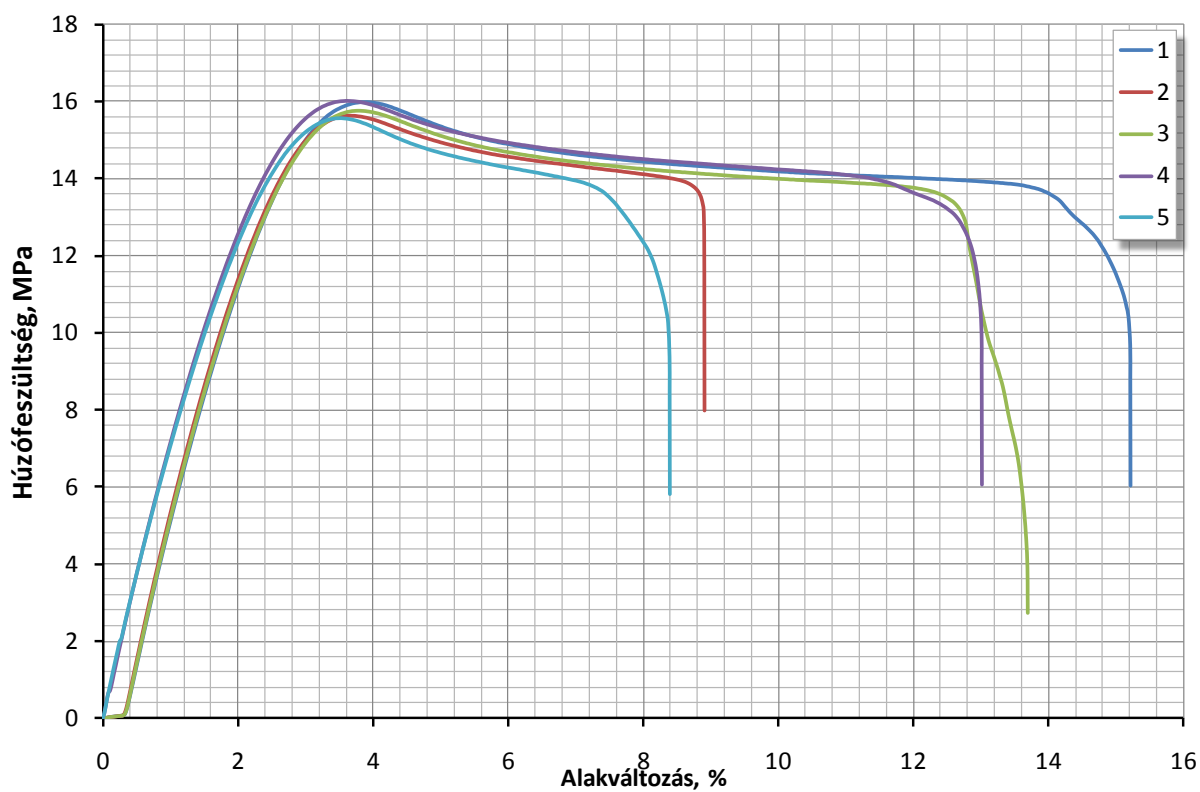


3mm vastag, 0,5 sűrűség feletti párhuzamosan kivágott habos próbatestek szakítódíagramjai;

pvc_hf32p

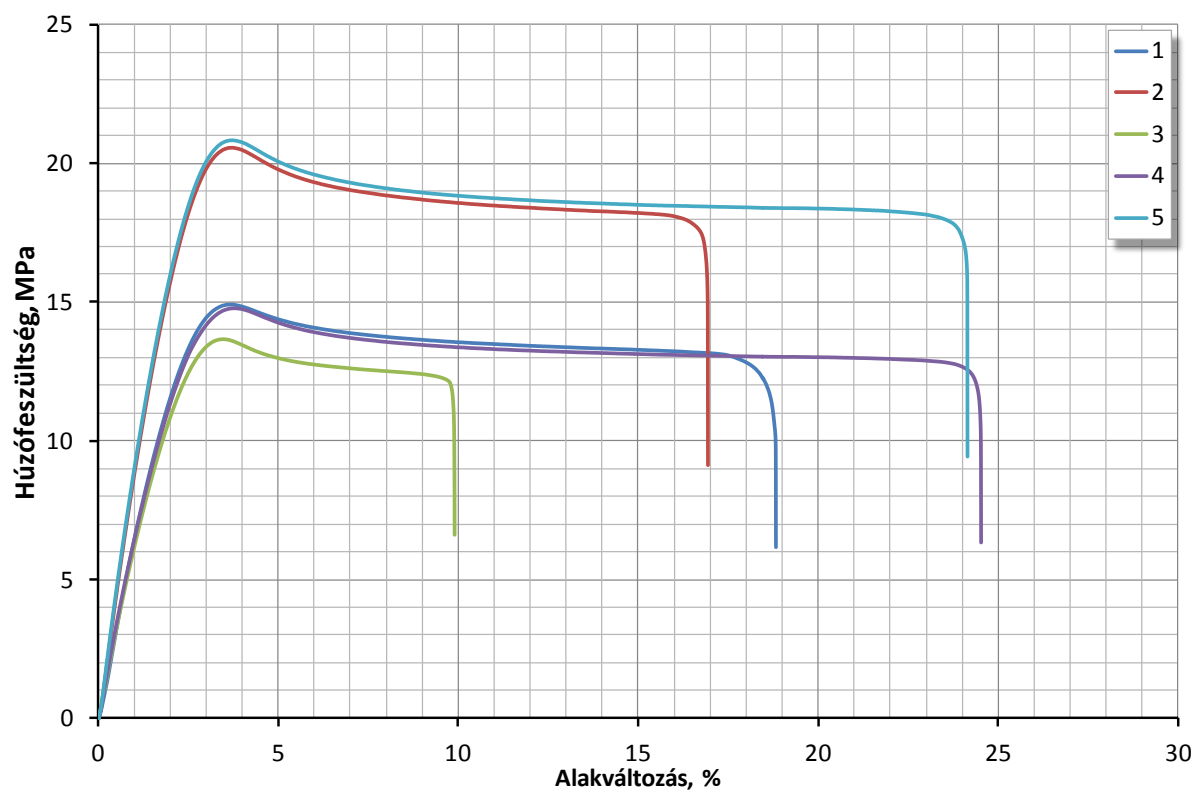


pvc_hf33p

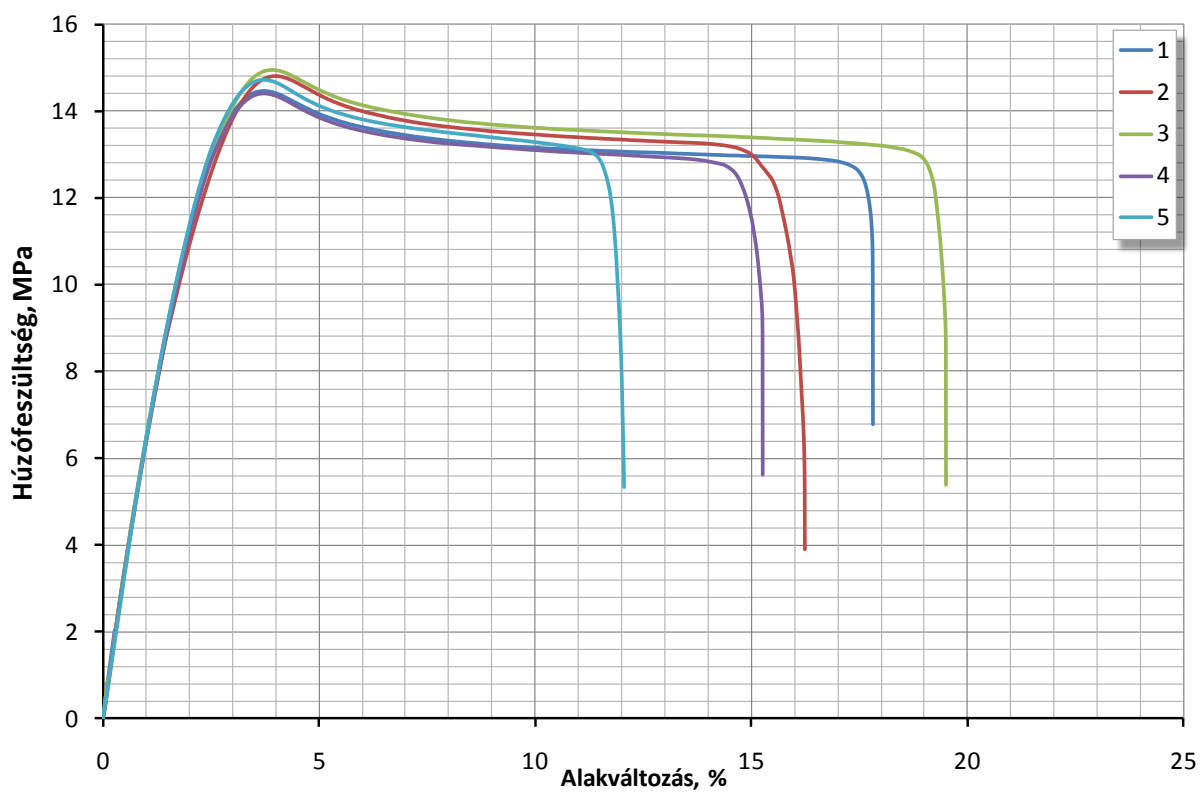


4mm vastag, 0,5 sűrűség feletti párhuzamosan kivágott habos próbatestek szakítódíagramjai;

pvc_hf42p

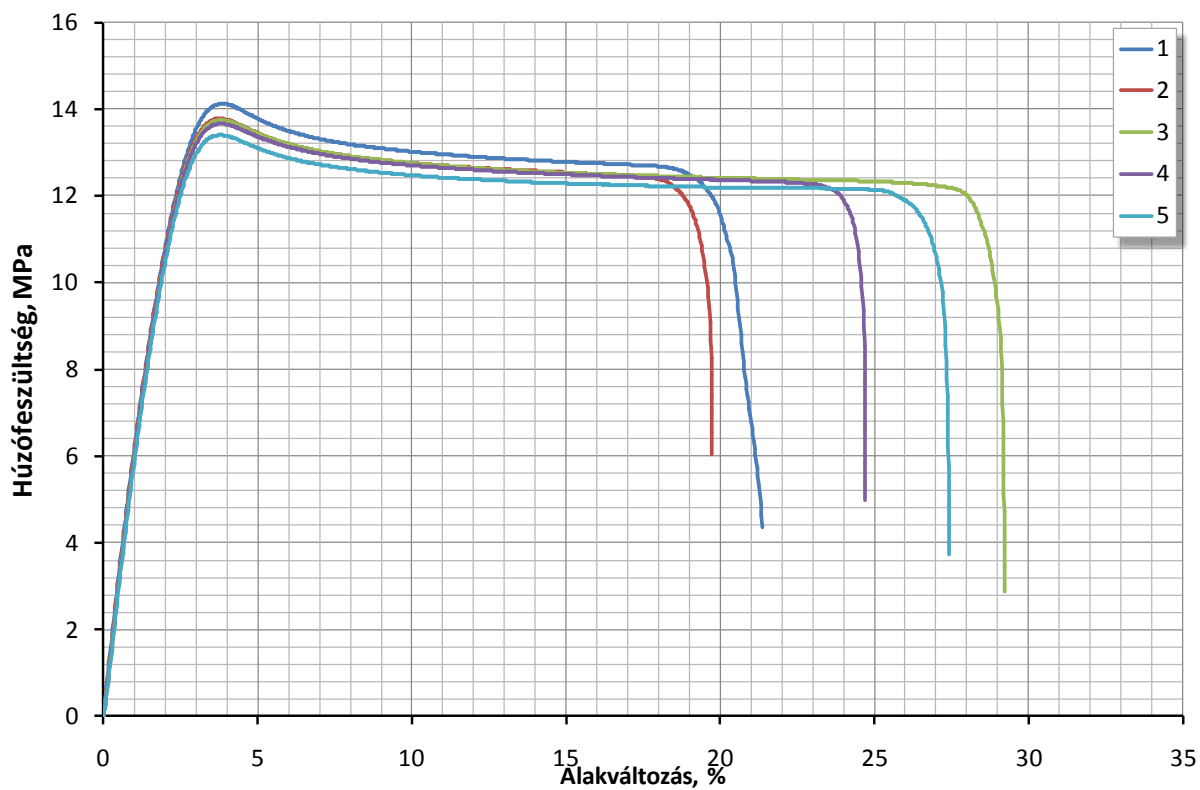


pvc_hf43p

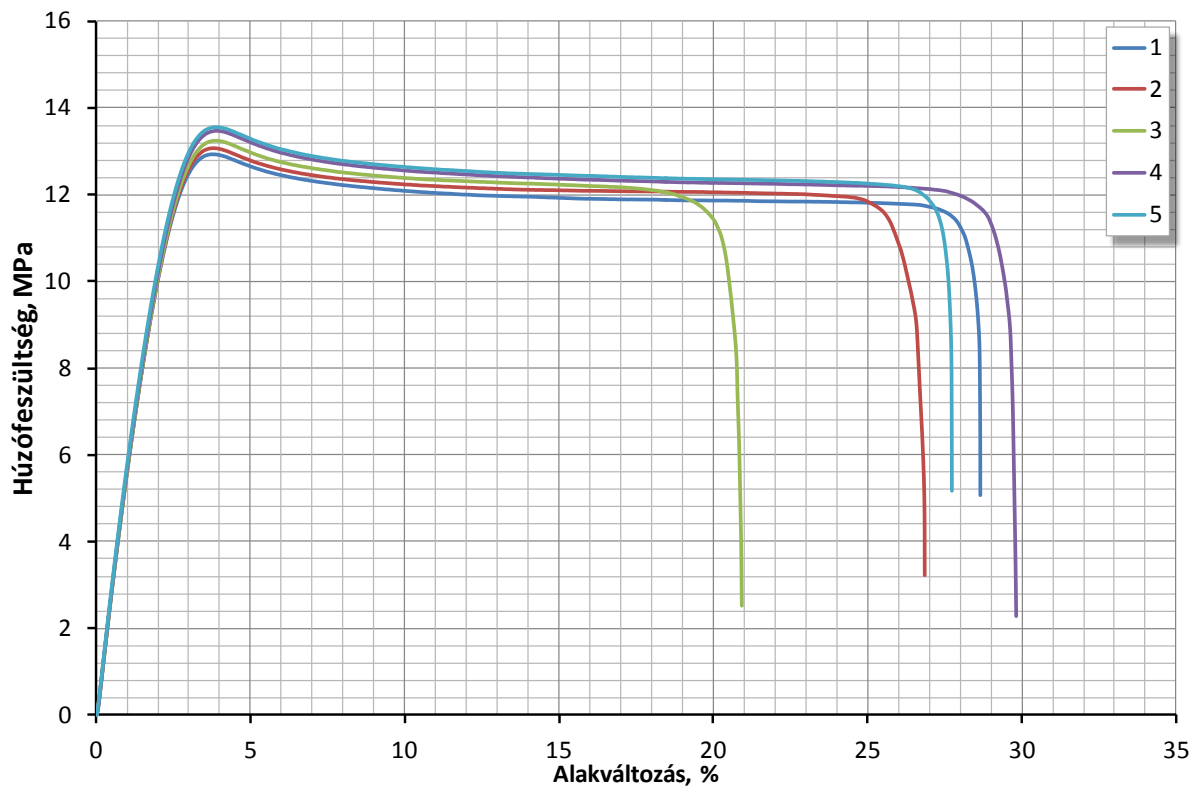


5mm vastag, 0,5 sűrűség feletti párhuzamosan kivágott habos próbatetek szakítódíagramjai;

pvc_hf52p

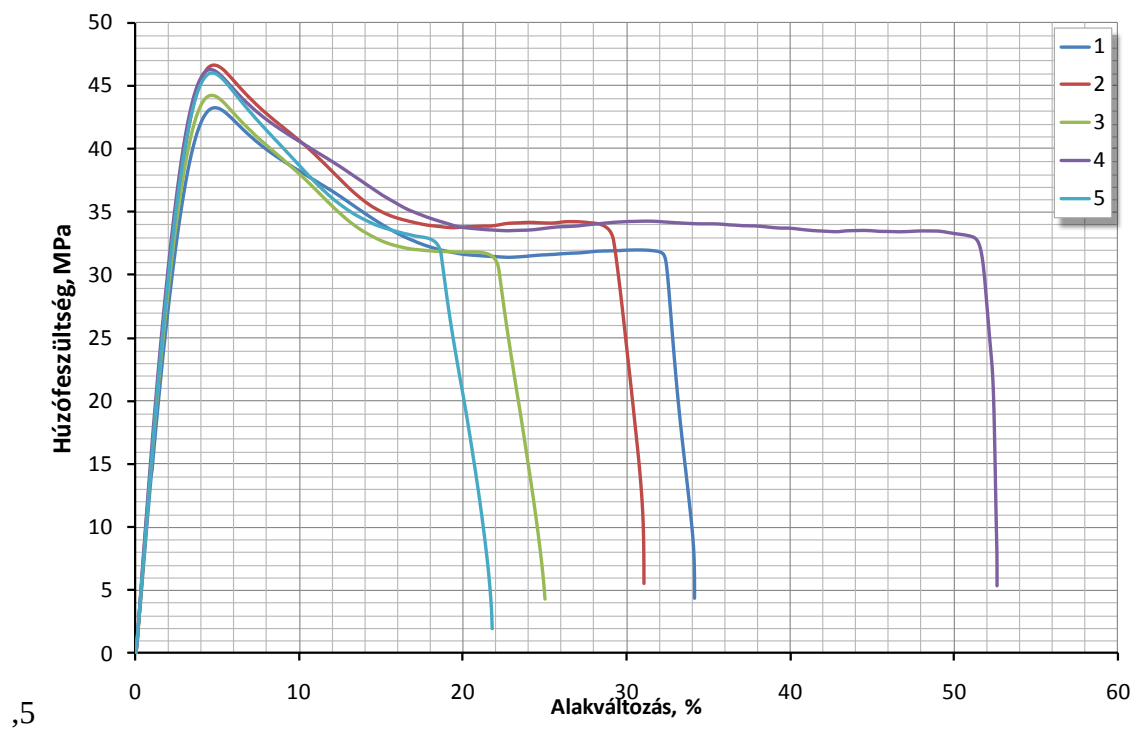


pvc_hf53p



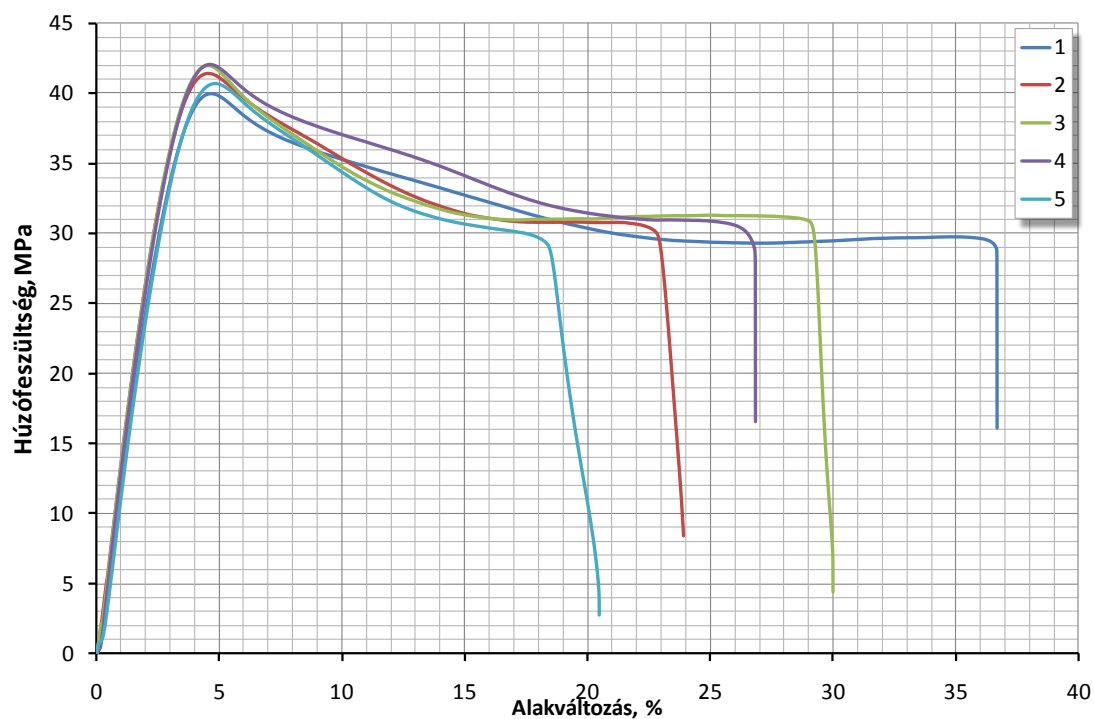
2mm vastag merőlegesen kivágott kemény próbatestek szakítódiaagramja;

pvc_2_k_m



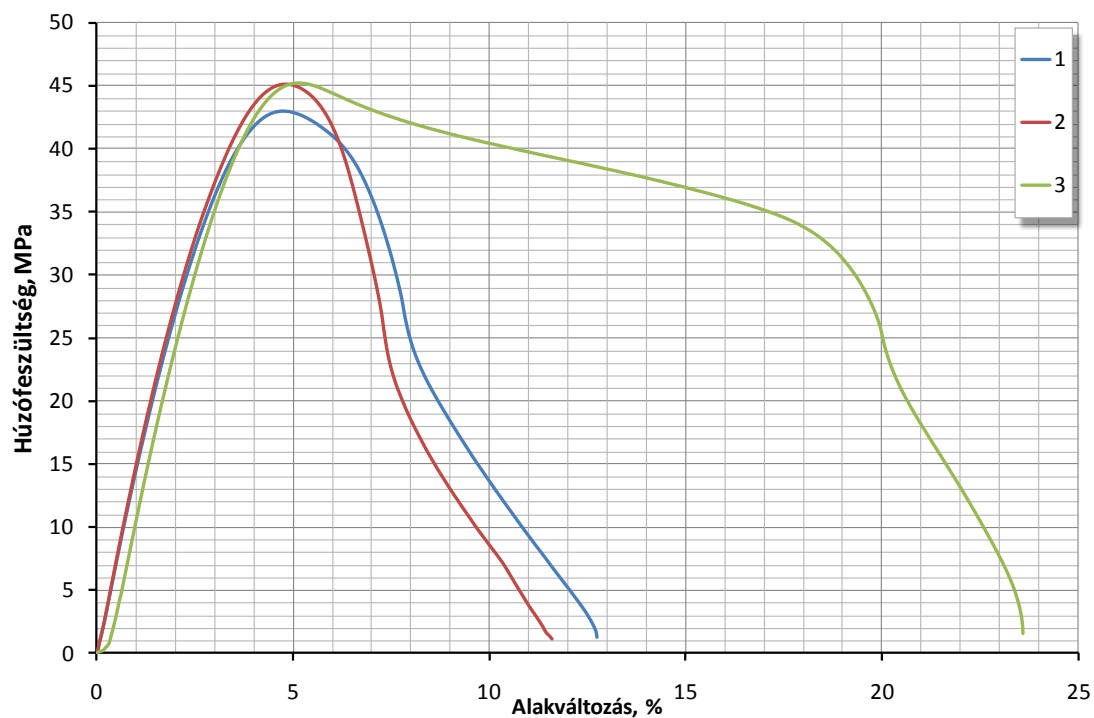
3mm vastag merőlegesen kivágott kemény próbatestek szakítódiaagramja;

pvc_3_k_m



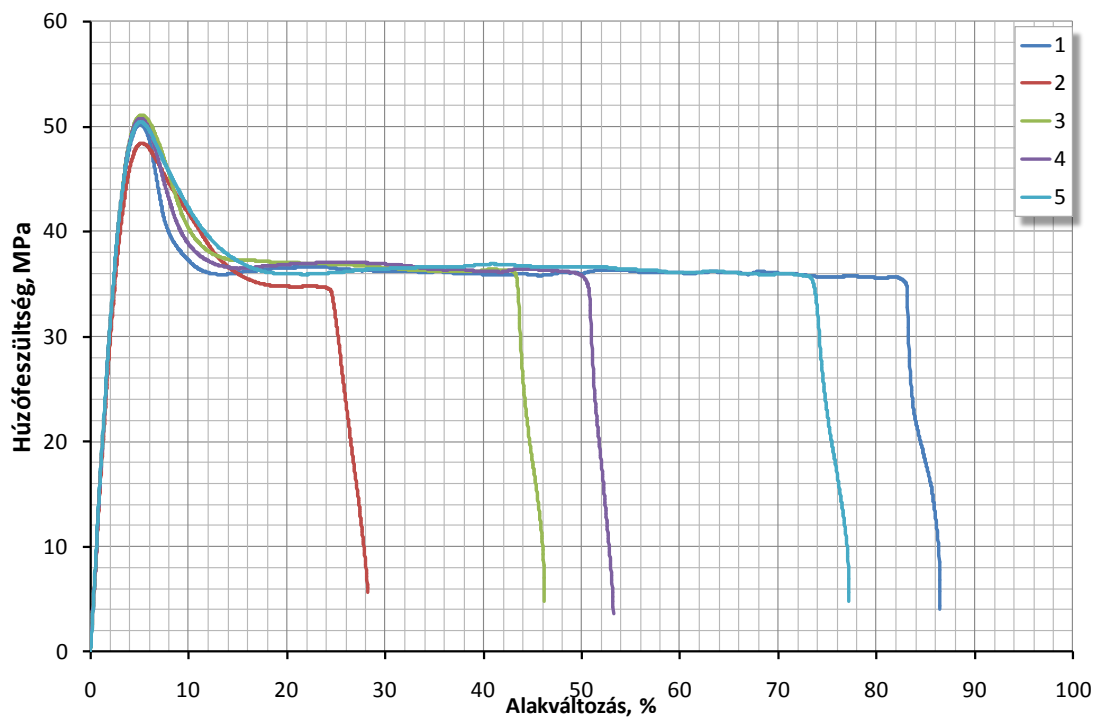
4,5mm vastag merőlegesen kivágott kemény próbatestek szakítódiaagramja;

pvc_4.5_k_m



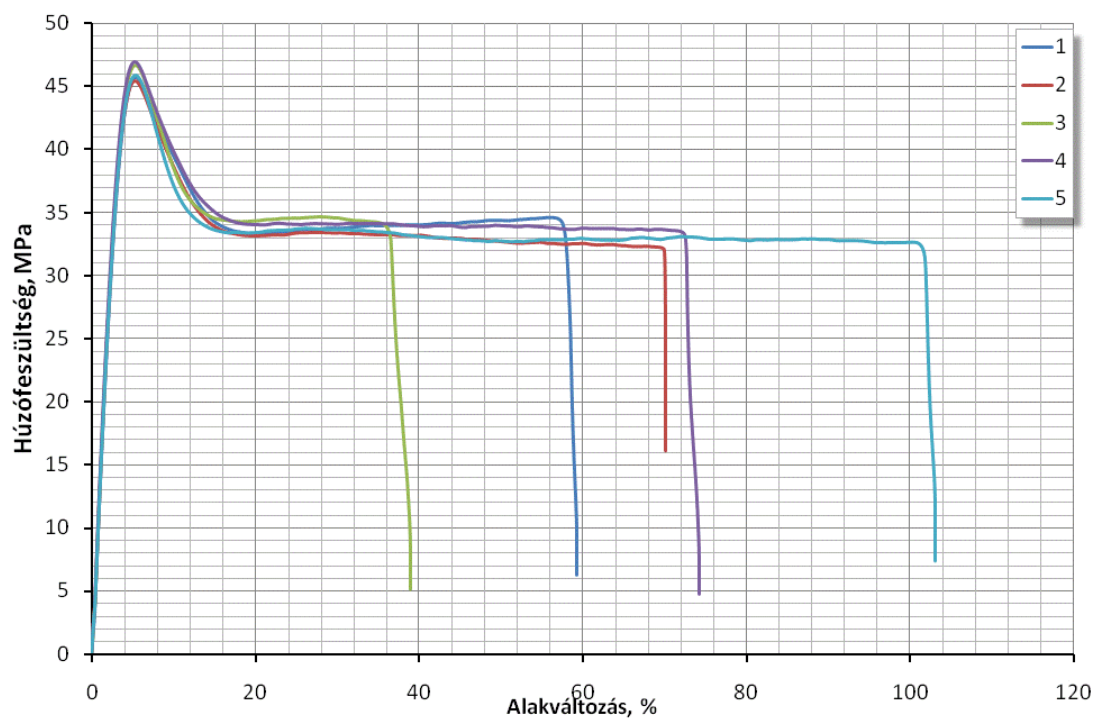
2mm vastag párhuzamosan kivágott kemény próbatestek szakítódiaagramja;

pvc_2_k_p



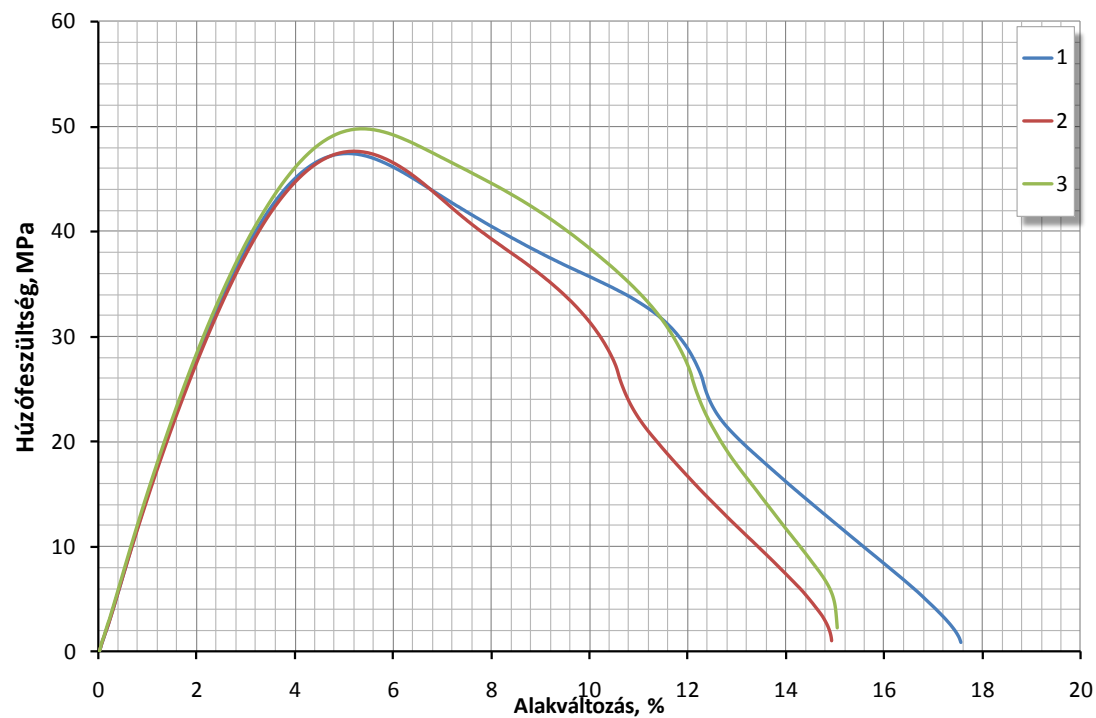
3mm vastag párhuzamosan kivágott kemény próbatestek szakítódíagramja;

pvc_3_k_p



4,5mm vastag párhuzamosan kivágott kemény próbatestek szakítódíagramja;

pvc_4.5_k_p



MELLÉKLET 2.

3mm vastag merőlegesen, ill. párhuzamosan kivágott habos próbatestek sűrűsége 0,5 alatt ill. felett;

	súly (g)	átlagvastagság (mm)	terület (mm ²)	sűrűség (g/cm ³)		Átlagsűrűség (g/cm ³)
ha32m	4,26	2,96	2913,32	0,49	Átlag	0,49
	4,28	2,96	2913,32	0,50	Min	0,48
	4,27	2,96	2913,32	0,50	Max	0,50
	4,28	2,96	2913,32	0,50	Szórás	0,0067
	4,32	2,96	2913,32	0,50		
ha32p	4,2	2,98	2913,32	0,48		
	4,2	2,98	2913,32	0,48		
	4,24	2,98	2913,32	0,49		
	4,32	2,98	2913,32	0,50		
	4,37	2,98	2913,32	0,50		
hf32m	4,29	2,76	2913,32	0,53	Átlag	0,53
	4,29	2,76	2913,32	0,53	Min	0,52
	4,26	2,76	2913,32	0,53	Max	0,53
	4,21	2,76	2913,32	0,52	Szórás	0,0056
	4,16	2,76	2913,32	0,52		
hf32p	4,3	2,76	2913,32	0,53		
	4,28	2,76	2913,32	0,53		
	4,29	2,76	2913,32	0,53		
	4,29	2,76	2913,32	0,53		
	4,24	2,76	2913,32	0,53		
ha33m	4,23	2,88	2913,32	0,50	Átlag	0,50
	4,25	2,88	2913,32	0,51	Min	0,49
	4,17	2,88	2913,32	0,50	Max	0,51
	4,14	2,88	2913,32	0,49	Szórás	0,0070
	4,08	2,88	2913,32	0,49		
ha33p	4,23	2,86	2913,32	0,51		
	4,21	2,86	2913,32	0,51		
	4,15	2,86	2913,32	0,50		
	4,12	2,86	2913,32	0,49		
	4,12	2,86	2913,32	0,49		
hf33m	4,18	2,66	2913,32	0,54	Átlag	0,51
	4,11	2,66	2913,32	0,53	Min	0,48
	4,11	2,66	2913,32	0,53	Max	0,54
	4,11	2,66	2913,32	0,53	Szórás	0,0252
	4,12	2,66	2913,32	0,53		
hf33p	3,94	2,81	2913,32	0,48		
	3,95	2,81	2913,32	0,48		
	3,96	2,81	2913,32	0,48		
	4,01	2,81	2913,32	0,49		
	4	2,81	2913,32	0,49		

4mm vastag merőlegesen, ill. párhuzamosan kivágotthabos próbatestek sűrűsége 0,5 alatt, ill. felett;

	súly (g)	átlagvastagság (mm)	terület (mm ²)	sűrűség (g/cm ³)		Átlagsűrűség (g/cm ³)
ha42m	5,95	3,93	2913,32	0,52	Átlag	0,50
	5,95	3,93	2913,32	0,52	Min	0,49
	5,62	3,93	2913,32	0,49	Max	0,52
	5,58	3,93	2913,32	0,49	Szórás	0,0120
	5,6	3,93	2913,32	0,49		
ha42p	5,63	3,88	2913,32	0,50		
	5,57	3,88	2913,32	0,49		
	5,59	3,88	2913,32	0,49		
	5,56	3,88	2913,32	0,49		
	5,55	3,88	2913,32	0,49		
hf42m	5,75	3,84	2913,32	0,51	Átlag	0,55
	5,83	3,84	2913,32	0,52	Min	0,51
	5,83	3,84	2913,32	0,52	Max	0,59
	5,75	3,84	2913,32	0,51	Szórás	0,0327
	5,75	3,84	2913,32	0,51		
hf42p	5,86	3,42	2913,32	0,59		
	5,75	3,42	2913,32	0,58		
	5,71	3,42	2913,32	0,57		
	5,75	3,42	2913,32	0,58		
	5,74	3,42	2913,32	0,58		
ha43m	5,42	3,84	2913,32	0,48	Átlag	0,47
	5,44	3,84	2913,32	0,49	Min	0,45
	5,45	3,84	2913,32	0,49	Max	0,49
	5,37	3,84	2913,32	0,48	Szórás	0,0139
	5,31	3,84	2913,32	0,47		
ha43p	5,22	3,83	2913,32	0,47		
	5,11	3,83	2913,32	0,46		
	5,11	3,83	2913,32	0,46		
	5,06	3,83	2913,32	0,45		
	5,06	3,83	2913,32	0,45		
hf43m	6,01	3,89	2913,32	0,53	Átlag	0,52
	6,01	3,89	2913,32	0,53	Min	0,50
	5,95	3,89	2913,32	0,53	Max	0,53
	5,9	3,89	2913,32	0,52	Szórás	0,0082
	5,86	3,89	2913,32	0,52		
hf43p	5,95	3,95	2913,32	0,52		
	5,78	3,95	2913,32	0,50		
	5,91	3,95	2913,32	0,51		
	5,99	3,95	2913,32	0,52		
	5,98	3,95	2913,32	0,52		

5mm vastag merőlegesen, ill. párhuzamosan kivágott habos próbatestek sűrűsége 0,5 alatt, ill. felett;

	súly (g)	átlagvastagság (mm)	terület (mm ²)	sűrűség (g/cm ³)		Átlagsűrűség (g/cm ³)
ha52m	7,05	4,71	2913,32	0,51	Átlag	0,49
	6,97	4,71	2913,32	0,51	Min	0,46
	6,9	4,71	2913,32	0,50	Max	0,51
	6,91	4,71	2913,32	0,50	Szórás	0,0211
	6,86	4,71	2913,32	0,50		
ha52p	6,53	4,83	2913,32	0,46		
	6,5	4,83	2913,32	0,46		
	6,47	4,83	2913,32	0,46		
	6,68	4,83	2913,32	0,47		
	6,71	4,83	2913,32	0,48		
hf52m	7,82	5,05	2913,32	0,53	Átlag	0,53
	7,83	5,05	2913,32	0,53	Min	0,52
	7,86	5,05	2913,32	0,53	Max	0,54
	7,85	5,05	2913,32	0,53	Szórás	0,0047
	7,87	5,05	2913,32	0,53		
hf52p	7,45	4,9	2913,32	0,52		
	7,49	4,9	2913,32	0,52		
	7,55	4,9	2913,32	0,53		
	7,55	4,9	2913,32	0,53		
	7,66	4,9	2913,32	0,54		
ha53m	6,72	4,61	2913,32	0,50	Átlag	0,50
	6,73	4,61	2913,32	0,50	Min	0,49
	6,66	4,61	2913,32	0,50	Max	0,51
	6,67	4,61	2913,32	0,50	Szórás	0,0051
	6,8	4,61	2913,32	0,51		
ha53p	6,78	4,7	2913,32	0,50		
	6,68	4,7	2913,32	0,49		
	6,75	4,7	2913,32	0,49		
	6,81	4,7	2913,32	0,50		
	6,86	4,7	2913,32	0,50		
hf53m	7,68	4,99	2913,32	0,53	Átlag	0,54
	7,69	4,99	2913,32	0,53	Min	0,53
	7,78	4,99	2913,32	0,54	Max	0,56
	7,82	4,99	2913,32	0,54	Szórás	0,0119
	7,76	4,99	2913,32	0,53		
hf53p	7,74	4,8	2913,32	0,55		
	7,49	4,8	2913,32	0,54		
	7,77	4,8	2913,32	0,56		
	7,74	4,8	2913,32	0,55		
	7,82	4,8	2913,32	0,56		

2, 3, és 4,5 mm vastag merőlegesen, ill. párhuzamosan kivágott kemény próbatetek sűrűsége;

	súly (g)	átlagvastagság g (mm)	terület (mm ²)	sűrűség (g/cm ³)		Átlagsűrűség (g/cm ³)
pvc_k_2_m	7,87	1,92	2913,32	1,41	Átlag	1,42
	7,88	1,92	2913,32	1,41	Min	1,41
	7,87	1,92	2913,32	1,41	Max	1,43
	7,87	1,92	2913,32	1,41	Szórás	0,0131
	7,88	1,92	2913,32	1,41		
pvc_k_2_p	7,92	1,90	2913,32	1,43		
	7,82	1,90	2913,32	1,41		
	7,94	1,90	2913,32	1,43		
	7,94	1,90	2913,32	1,43		
	7,94	1,90	2913,32	1,43		
pvc_k_3_m	11,94	3,04	2913,32	1,35	Átlag	1,35
	11,95	3,04	2913,32	1,35	Min	1,34
	11,92	3,04	2913,32	1,35	Max	1,36
	11,87	3,04	2913,32	1,34	Szórás	0,0072
	11,95	3,04	2913,32	1,35		
pvc_k_3_p	11,88	3,02	2913,32	1,35		
	11,88	3,02	2913,32	1,35		
	11,97	3,02	2913,32	1,36		
	11,98	3,02	2913,32	1,36		
	11,98	3,02	2913,32	1,36		
pvc_k_4,5_m	17,53	2,88	2913,32	2,09	Átlag	2,15
	17,72	2,88	2913,32	2,11	Min	2,09
	17,7	2,88	2913,32	2,11	Max	2,20
					Szórás	0,0488
pvc_k_4,5_p	18,24	2,86	2913,32	2,19		
	18,29	2,86	2913,32	2,20		
	18,25	2,86	2913,32	2,19		