

Miskolci Egyetem

Műszaki Anyagtudományi Kar



SZAKDOLGOZAT

Kosik Marcell

2020.

Miskolci Egyetem

Műszaki Anyagtudományi Kar

Kerámia és Polimermérnöki Intézet

PVC habosítás
SZAKDOLGOZAT

Készítette: Kosik Marcell

Konzulensek: Dr. Szabó Tamás József
Várfalvi János

2020.

Tartalom

Absztrakt	5
Rövidítések gyűjteménye	6
1.Bevezetés	7
1.1 A műanyag története	7
1.2 Műanyagipari alapfogalmak.....	8
2. Műanyagok csoportosítása	10
2.1 Mesterséges,vagy szintetikus alapú műanyagok:	10
2.2 Az előállítási mód szerint lehetnek:	10
2.3 Vannak hőre lágyuló- és hőre nem lágyuló műanyagok is:.....	10
2.4 A hőre lágyuló- és a hőre keményedő műanyagokról általánosságban	12
2.4.1 Néhány hőre lágyuló műanyag tulajdonsága	12
2.4.2 Néhány hőre keményedő műanyag tulajdonságai.....	15
3. PVC (polivinil-klorid)	16
3.1 A PVC története.....	16
3.2 A PVC lágyítása	19
3.2.1 Általános szempontok:	19
3.2.2 Lágyító növelésével változik:.....	19
3.2.3 A végtermék felhasználásánál a környezeti tényezőket figyelembe kell venni:	20
3.3 A lágy PVC tulajdonságai	20
3.4 A kompaundálás.....	21
3.5 A kompaundálás fejlődése	21
4. Az extrúzió technológiája	23
5. Habos lemez (PVC)	28
5.1 Felhasználási terület.....	28
5.2 Előnyök	28
6. A haboslemez gyártástechnológia leírása	29
6.1 Adagoló berendezés.....	29
6.2 Kétcsigás extruder	29
6.3 Szélesrésű szerszám	30
6.4 Hűtőhengerek.....	31
6.5 Simítómű	31
6.6 Hűtő/szállító sor	32
6.7 Lehúzó hengerpár.....	32

6.8 Daraboló egység.....	32
6.9 Rakatképzés.....	32
7. Mechanikai tulajdonságok vizsgálatának mérései	35
7.1 Keménységmérések:	36
7.2 Hárompontos hajlító vizsgálat:.....	38
7.3 A hárompontos hajlítóvizsgálat célja	38
7.4 Húzószilárdság	40
7.5 Charpy-ütőmunka	43
Összefoglalás	45
Köszönetnyilvánítás.....	46
Felhasznált irodalom	47

Absztrakt

A téma célja, hogy egy adott polimernek, a PVC-nek a habosításával elért késztermékeit különböző mechanikai tulajdonságai alapján jellemezzük, a kémiai habosítással befolyásolt paraméter alapján. A habosítással keletkezett lemez termékekre sík (kemény) lemezzel szemben nagy hatással vannak az eljárás során beállított feldolgozási paraméterek. A habosítással kapott termék sűrűsége a lemez minden tulajdonságára kihat, a minőségre nézve több szempontból is. Az általam vizsgált mechanikai tulajdonságok pl. a keménység, a húzás, hajlítás számos információt szolgáltat a termék alkalmazhatóságával kapcsolatban is. Továbbá látható a különbség az eltérő sűrűségekkel kapcsolatban is. A mérések célját tekintve a mechanikai tulajdonságok vizsgálatán keresztül szeretném a sűrűség és extrudálási irány, valamint a későbbiekben a habosító- szerek és technológiák hatását felmérni a termékekre.

Rövidítések gyűjteménye

PVC	Polivinil-klorid
HIPS	Ütésálló polisztirol
PS	Polisztirol
SAN	Sztirol-akrilnitril
ABS	Akrilnitril-butadién-sztirol
PMMA	Poli(metil-metakrilát)
PSU	Poliszulfon
PPO	Poli(fenilén-oxid)
PC	Polikarbonát
PES	Poliészter
PEI	Poliéter-imid
PI	Poliimid
PPS	Poli(fenilén-szulfid)
LCP	Folyadékkristályos polimer
PEEK	Poliéter-éterketon
PTFE	Politetrafluoretilén
PBT	Poli(butilén – tereftalát)
POM	Polioximetilén
PET	Poli(etilén-tereftalát)
PA	Poliamid (nylon)
PP	polipropilén
UHMWPE	Ultra nagy móltömegű polietilén
LDPE	Kis sűrűségű polietilén
HDPE	Nagy sűrűségű polietilén
TPE	Hőre lágyuló (termoplasztikus) elasztomer
PUR	Poliuretán
PF	Fenol-formaldehid
UF	Karbamid formaldehid gyanta
MF	Melamin-formaldehid gyanta
UP	Telítetlen poliészter
EP	Epoxigyanta, epoxid

1.Bevezetés

A műanyagok harmonikusan illeszkednek a mindennapi életünkbe. Egyre inkább elismerik a fém és a fa mellett, mint ezekkel egyenértékű szerkezeti anyagot. Sajátos megmunkálhatóságuk és széleskörű alkalmazhatóságuk egyre újabb területeket hódít meg. Már a múlt század közepén ismertek olyan anyagokat, amelyeknek igen jó tulajdonságaik voltak, mint pl. szakítószilárdság, szívósság, rugalmasság, kopásállóság. Ilyenek a cellulóz, kaucsuk és a különböző fehérjék. Szerkezetükről jóformán semmit nem tudtak az emberek.

1.1 A műanyag története

Az első „műanyagok” felfedezésének évszámai: PVC 1838, (Victor Regnault laboratórium). Kaucsuk, vagyis gumi 1839 (Goodyear). Ebonit 1851 (ifjabb Goodyear). Linóleum, műbőr 1844. Celluloid, 1865. Első műselymek, 1897. Mesterséges úton nagytömegű *műanyagot* a XIX. század végén, XX. század elején kezdtek előállítani.

A XX. század ipari műanyag termelésének fontos lépései voltak a következők: A PVC gyártásának technikai alapjait 1912-ben Fritz Klatte dolgozta ki, de ipari termelése csak 1938-ban indult meg. Hermann Staudinger német kémikus 1922-ben felfedezi, hogy a szerves anyagok vázát nagyon hosszú molekulaláncok képezik. Ő javasolta először a műanyagokra a "makromolekula" megnevezést. 1953-ban munkájáért Nobel-díjat kapott.

Az 1930-as években meginduló nagyarányú termelés a következő termékeket jelentette: aminoplasztok, különféle alkidok, ftálsavas glicerín, vinilgyanták, présporok stb. Kezdetben hőre keményedő műanyagokat gyártottak. Az 1940-es évektől kezdve (a hőre lágyuló műanyagok terjedésével) fröccsöntéssel különböző műszaki cikket állítottak elő PVC-ből, cellulóz-acetátból és később polisztirolból. Néhány évvel később a hőre lágyuló műanyagokat (PVC, polietilén) kábelszigetelésre kezdték használni, de nagyobb arányban, ezen a téren is csak az 1960-as évek után indult meg a gyártás.

Az műanyag ipar nagyarányú fejlődése azonban az 1960-as években kezdődött el. A műanyagok gyors elterjedését a fogyasztói társadalom mennyiségi igénye eredményezte,

mivel a műanyagok olcsók, esetenként kényelemet szolgálnak, divatosak. Az olcsóságuk, különösen a csomagolóiparban eredményezte azt, hogy egyszeri használat után eldobhatók, ami hatalmas mértékű környezetterhelést, szennyezést jelent. (Csak Magyarországon évente 300 000 tonna műanyag hulladékot „produkálunk”)

A megfelelő tulajdonság elérése céljából a műanyagokhoz a gyártás során adalékanyagokat adnak (stabilizátorok, antioxidánsok). Ezek célja legtöbbször az élettartam növelése (pl. építőipar) azzal, hogy növelik az ellenállását a levegő oxigénje és a napfény ellen. [1]

1.2 Műanyagipari alapfogalmak

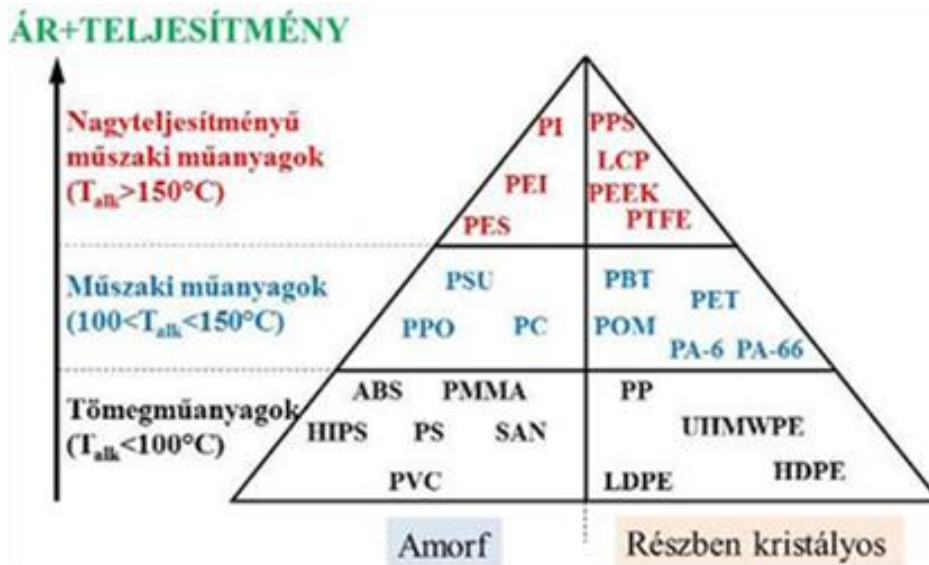
Monomer: A polimerek építőkövei, egyszerű molekulák alkotják.

Polimerizáció: Sokszorozódást jelent. A kémiai reakcióban azonos típusú monomerek molekulái úgy kapcsolódnak össze láncreakcióban, hogy melléktermék nem keletkezik. Illetve lépcsőzetesreakcióban melléktermék kilépésével (polikondenzáció), vagy a nélkül (poliaddíció). Ezeket az építőelemeket elsőrendű kémiai kötések kapcsolják össze. Az így keletkezett termékeket nevezzük: óriásmolekula, makromolekula vagy polimer.

Polimerizációs fok: A monomer hányszor van jelen a polimerben, az ismétlődő egységek számát jelenti.

Polimer: Azok az anyagok, amelyek fizikai tulajdonságai a makromolekulák további növekedésével már csak kismértékben változnak. A polimer általánosított fogalom, nemcsak a polimerizációs eljárással készült nagymolekulájú anyagok megnevezésére szolgál. Minden olyan makromolekulát polimernek tekintünk, amelyet ismétlődő egységek, monomerek építenek fel. A makromolekulájú termékeket általánosítva így nevezik. Nagymolekulájú anyagok az élő és élettelen világ fontos alkotóelemei, melynek egyik jól meghatározott csoportját a műanyagok alkotják. Az olyan szerves vegyületek, amelyeket megfelelő kismolekulájú anyagokból, úgynevezett monomerekből, vagy kész polimerek kémiai átalakításával állítanak elő mesterséges úton szintetikus, azokat, amelyeket természetes forrásból nyerünk ki és fizikai, vagy kémiai átalakítást végzünk rajtuk, természetes alapú polimereknek nevezzük.

Műanyagok: A műanyagok olyan polimer alapú rendszerek, amelyek tartalmazzák az alkalmazáshoz és/vagy feldolgozáshoz szükséges adalékokat, segédanyagokat. A műanyagok eredete a polimer eredete alapján definiálható.



1.ábra: műanyag piramis [2]

A műanyag piramis rendszerezi a műanyagokat aszerint, hogy amorfok vagy részben kristályosak. Továbbá jellemzi, hogy mely hőmérsékleten alkalmazzuk őket. A piramis által egy olyan képet kapunk, ahol részletesen rendszerezve vannak a műanyagok. Tulajdonképpen ez a piramis a műanyagok tulajdonsága alapján osztályozva vannak a „műanyag piramisban”. Ezáltal csoportosíthatjuk a műanyagokat 3 különböző részre, ezek pedig a nagyteljesítményű műanyagok, a műszaki műanyagok és a tömegműanyagok. Mindhárom típusnak megvan a saját felhasználási környezete.

2. Műanyagok csoportosítása

Különféle szempontok alapján lehetséges a csoportokba sorolás. Leggyakrabban a kémiai szerkezet, a feldolgozhatóság és az alkalmazhatóság szerint történik.

Alapanyag szempontjából:

Természetes alapú műanyagok:

Növényi eredetű: kaucsuk alapú, gumi-cellulóz alapú, viszkóz műselyem, celofán.

Állati eredetű: tejfehérje, „műszarv”, vérfehérje.

2.1 Mesterséges, vagy szintetikus alapú műanyagok:

Ásványi eredetű anyagok megbontásával állítják elő.

Ezek a következők lehetnek: kőszén, kőolaj, földgáz és melléktermékekből.

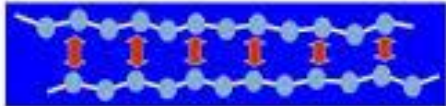
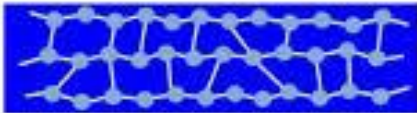
2.2 Az előállítási mód szerint lehetnek:

Polimerizációs műanyagok: PVC, PE, PP, Teflon, PS

Poliaddíciós: PA6, PLA, PUR

Polikondenzációs: PA66, PET, PBT

2.3 Vannak hőre lágyuló- és hőre nem lágyuló műanyagok is:

Hőre lágyuló műanyagok	
<i>Kristályos:</i> LDPE, HDPE, PP, PA, PET	
<i>Amorf:</i> PVC, PS, SAN, ABS, PMMA, PC	
Hőre nem lágyuló (térhálós) polimerek	
<i>Ritka térhálós elastomerek:</i> TPE, PUR	
<i>Sűrű térhálós duromerek:</i> PF, UF, MF, UP, EP	

2.ábra A műanyagok csoportosítása a láncok közötti kölcsönhatások szerint [3]

Ha a feldolgozási technológiát nézzük, akkor ez a két fő csoport igen elkülönül egymástól. Ugyanis míg a hőre lágyulók feldolgozása egyszerű *képlékeny alakítás* (pl. fröccsöntés, extrúzió, kalanderezés, melegen /vákuummal/- formázás stb.) – addig a hőre nem lágyulók feldolgozása *reaktív technológia*, ahol rendszerint magában a szerszámban, a feldolgozás során alakítjuk ki, visszafordíthatatlan kémiai reakcióban a kívánt sűrűségű térhálót.

A hőre lágyulók kiemelése amiatt is indokolt, hogy ez a csoport képezi a szintetikus polimerek legsikeresebb és legnagyobb volumenben gyártott részét, a 20. század második felének forradalmian új anyagait. Fontos azt is megjegyezni, hogy a mostani időkben gyártott polimerek 85–90 %-a hőre lágyuló. A hőre nem lágyuló, térhálós polimerek között viszont ott vannak a legsikeresebbek, a fejlett technikát szolgáló ún. „high-tech” alkalmazásokban, (lényegében modernebb eszközök állnak a rendelkezésre)

- kiváló szilárdságuk
- kiemelt hőállóságuk, ill.
- a kúszás- és feszültségrelexáció lecsökkentésében mutatott műszaki előnyeik miatt. Hiszen ez nem véletlen mert, itt találjuk a legjobb mátrix anyagokat a nagyszilárdságú kompozitokhoz is. [4]



3.ábra: Szintetikus műanyagok csoportosítása[5]

2.4 A hőre lágyuló- és a hőre keményedő műanyagokról általánosságban

- A hőre lágyuló műanyagokban nem alakulnak ki keresztkötések (lineáris polimerek), ennek következtében könnyen formálhatók és rugalmasak. Lehetnek részben kristályos szerkezetűek vagy amorfak. Szobahőmérsékleten szilárd anyagok, de magasabb hőmérsékleten meglágyulnak és megolvadnak. Ha a hőmérsékletet csökkentjük, akkor újra megszilárdulnak, így a feldolgozásuk olcsóbb és egyszerűbb is.
- A hőre keményedő műanyagok a termoplasztokkal ellentétben sok térhálósodási hellyel rendelkeznek, és sok keresztkötés alakul ki a polimeren belül, emiatt olyan nagy stabilitásúak. Továbbá minél több a keresztkötés a molekulában, annál ridegebb lesz a műanyag. Nagy hőállóságuk miatt nem lehet újraolvasztani az elhasznált vagy selejtes termékeket, ezért legtöbbször elégetik őket. A leggyakrabban epoxi, poliészter, vinilészter és fenol/formaldehid típusú gyantákat alkalmaznak a kompozitokban. [5]

2.4.1 Néhány hőre lágyuló műanyag tulajdonsága

1.táblázat Néhány lineáris polimer jellemző tulajdonsága [5]

műanyag		sűrűség	szakítószilárdság	húzómodulus	tartós hőállóság	hidegállóság	Tg	Tm
		(g/cm ³)	(MPa)	(GPa)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
tömegműanyagok	PE	0,90-1,00	20-35	0,1-1,5	50-80	-60÷-110	- 133÷ -100	105 - 140
	PP	0,90-0,92	19-41	1,0-1,8	50-125	-	-23÷- 10	160 - 176

műanyag		sűrűség	szakítószilárdság	húzómodulusz	tartós hőállóság	hidegállóság	Tg	Tm
		(g/cm ³)	(MPa)	(GPa)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
	PS	1,04-1,13	19-69	1,5-3,5	60-80	-50	100-105	240
	kemény PVC	1,38-1,55	5-7,5	2,3-4,0	65-85	-	80-82	-
	lágy PVC	1,16-1,35	1-2,5	1,5-2,5	50-55	-	-10÷30	-
	PUR	1,13-1,25	25-55	1,7	75-80	-40	-70÷-130	-
műszaki műanyagok	ABS	1,04-1,20	43-79	1,5-2,5	80-110	-40	105-109	-
	PA	1,04-1,17	55-90	1,1-3,5	75-135	-60	40-53	225-269
	PBT	1,29-1,31	50-65	2,3-3,2	120-140	-40÷-50	20-60	224-240
	PC	1,19-1,24	53-72	2,1-3,5	100-135	-40	140-150	-

műanyag		sűrűség	szakítószilárdság	húzómodulusz	tartóshőállóság	hidegállóság	Tg	Tm
		(g/cm ³)	(MPa)	(GPa)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
	PET	1,30-1,40	50-70	2,1-4,0	120-150	-60	69-110	246-265
	PMMA	1,18	65-80	2,0-4,0	80-100	-50	100-122	130-157
	POM	1,40-1,42	60-80	2,0-3,0	80-150	-30÷-50	-82	181-184
	PPE	1,05-1,07	40-70	1,2-2,5	80-130	-20÷-50	209	288
nagyteljesítményű műanyagok	PEEK	1,26-1,35	70-104	3,1-4,4	120-250	-200	139-153	334-343
	PEI	1,27-1,28	104-105	3,0	150-170	-200÷-240	216-220	215-250
	PES	1,37	84	2,4-2,5	150-180	-90÷-100	158-225	230
	PI	1,37-1,43	52-138	3,1-4,8	280-350	-270	-	256

műanyag		sűrűség	szakítószilárdság	húzó modulusz	tartós hőállóság	hidegállóság	Tg	Tm
		(g/cm ³)	(MPa)	(GPa)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
	PPS	1,30-1,40	66-90	2,6-3,9	200-260	-200	185	275 - 290
	PTFE	2,10-2,30	10-35	0,5-1,0	200-260	-250÷-270	123	327

2.4.2 Néhány hőre keményedő műanyag tulajdonságai

2. táblázat Néhány térhálós polimer jellemző tulajdonsága [5]

műanyag	epoxi	fenoplaszt	poliészter	vinilészter
sűrűség, g/cm ³	1,2-1,3	1,2-1,4	1,1-1,4	1,1-1,2
szakítószilárdság, MPa	50-130	35-60	40-90	70-90
húzó modulusz, GPa	2,5-5,0	2,7-4,1	1,6-4,1	3,0-4,0
szakadási nyúlás, %	<9	-	<5	<6
hajlítószilárdság, MPa	110-215	-	60-160	120-140
nyomószilárdság, MPa	110-210	-	90-200	-
folyamatosan alkalmazható üzemi hőmérséklet, °C	80-215	70-250	60-150	-

3. PVC (polivinil-klorid)

3.1 A PVC története

A régebbi időkben az emberek megpróbálták egyre ellenállóbb anyagokat használni, amelyek kiemelkedő biztonságú kész termékeket nyújtanak majd számukra.

Az alkimisták századokon át kísérleteztek és tanulmányoztak annak érdekében, hogy olyan új, szintetikus anyagokat állítsanak elő, amelyek a természetes anyagokból hiányzó előnyökkel rendelkeznek.

A PVC az ipari termelésben a leghosszabb történelemmel rendelkező és legrégebbi szintetikus anyagok egyike. Korai történetének alapjául a Földgolyó különböző pontján, a fejlődésének különböző szakaszaiban, sorra kerülő többszörös és véletlen felfedezések, valamint az iparban szükséges kereskedelmi alkalmazások sikertelen kutatásai szolgálnak.

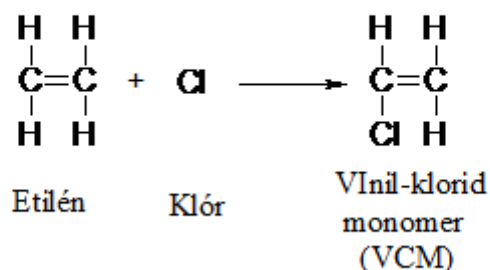
Érdekesség, hogy a PVC-t véletlenül fedezték fel a XIX. században, először 1838-ban Henri Victor Regnault francia fizikus és kémikus által. Majd másodjára Eugen Baumann német kémikus által. Mindkét esetben a polimer a napfény hatására egy fehér szilárd anyag formájában jelent meg az újonnan felfedezett vinil-klorid gáz flakonjában. Az anyagot nehezen tudták feldolgozni, annál is inkább, mivel senki sem ismerte kereskedelmi alkalmazását. [6]



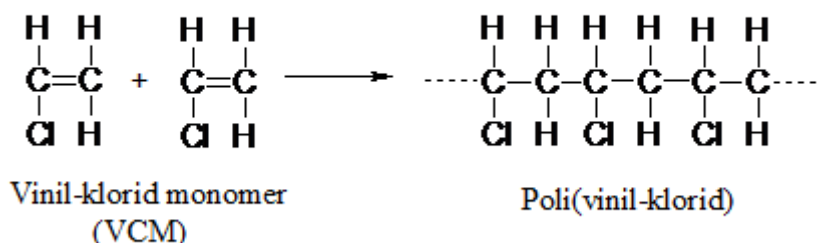
4. ábra: Vinil-klorid (klóretén) (C_2H_3Cl) 3d-modellje [7]

Az ipart tekintve láthatjuk, hogy többféle eltérő tulajdonságú polivinil-klorid típust használnak, ezek közül a legjelentősebbeket kiemelném: kemény polivinil-klorid, lágy polivinil-klorid, utánklorozott polivinil-klorid, ütésálló polivinil-klorid, polivinil-klorid kopolimerek. A monomer vinil-klorid előállítása vagy etilénből, vagy acetilénből történik. A két módszert kombinálva szokták alkalmazni általában, mivel az etilén alapú eljárásban keletkező HCl az acetilén eljárásban előnyösen hasznosítható, viszont az acetilén alapú eljárás az etilénbázisú eljárás kisebb költségvonzata miatt egyre inkább háttérbe szorul. Ma a vinil-kloridot kb. 90%-ban etilén alapon állítják elő. Az **5. ábra** a polivinil-klorid előállítási reakcióit mutatja.

A monomer előállítása



A polimer előállítása



5. ábra: A vinil-klorid előállításának módszerei [8]

A polivinil-kloridot a vinil-klorid gyökös polimerizációjával állítják elő, szuszpenziós, emulziós vagy tömbpolimerizációs módszerrel. A polivinil-klorid közel 2/3 részét szakaszos szuszpenziós eljárással állítják elő. Az eljárásnál a vizes vinil-klorid rendszerben diszpergensként metil-cellulózt alkalmaznak, iniciátorként pedig szerves peroxidokat. A polivinil-klorid igen hőérzékeny műanyag, termikus hatásra változik a színe, mely annak a következménye, hogy a belőle sósav szakad le és ezáltal a láncon konjugált kettős kötések jönnek létre. Emiatt a polivinil-kloridhoz a feldolgozás előtt stabilizátorokat kell adagolni.

A kemény polivinil-klorid (mely nem tartalmaz lágyítókat a lágyított polivinil-kloriddal ellentétben) jellemzője, hogy amorf, egy hőre lágyuló műanyagról van szó, üvegesedési hőmérséklete magas (85°C). Hőállósága az alkalmazási igénybevételtől függően 60-80°C. Mechanikai szilárdsága közepes, merevsége viszonylag nagy. Meglehetősen rideg műanyag ütőhajlító szilárdsága alacsony. Folyóképessége kicsi nehezen feldolgozható polimer. Éghetőségi tulajdonságai nagyon jók, a tömegműanyagok közül a legjobbak. Ez azt jelenti, hogy nehezen ég, az égést nem táplálja. Gázzáró képessége jó- közepesnek mondható, vegyszerállósága kitűnő, a polivinil-kloridot a legtöbb szerves oldószer nem támadja meg. Ismert oldószerei: ciklohexanon, dioxán, tetrahidrofurán, dimetil-formamid, és egyes klórozott szénhidrogének. Időjárás állósága jó.

A lágyított polivinil-klorid lágyító (szulfonsav-észter, epoxidált zsírsav-észter, foszforsav, dibutil-ftalát) tartalma igen jelentős lehet. A termék tulajdonsága a lágyítók összetételének és koncentrációjának függvényében jelentősen változik, példának okáért a lágyítók miatt az üvegesedési hőmérséklet akár -20 - -40°C-ra is változhat. Fontos megjegyezni, hogy a lágyító tartalom növelésével nő az alakíthatóság, de nő az éghetőség is. Ezeket a polimereket főleg kábelek szigetelésére, fóliák előállítására, lágy habok, padlóburkolók vagy vékony falú használati tárgyak előállítására használják. [8]

3. táblázat: A PVC a poliolefinek (PE és PP) után a világon a legnagyobb mennyiségben termelt és felhasznált műanyag. [9]

A világ műanyag-felhasználásának alakulása
1995 és 2015 között

Műanyagfajta	1995	2000	2005	2010	2015
	millió tonna				
PP	20	30	41	53	68
PE-HD	16	22	28	36	45
PE-LLD	8	14	18	24	32
PE-LD	14	16	17	19	21
PVC	21	26	32	40	47
PS	15	19	22	27	31
PET	3	8	12	20	28
PMMA, PA, PC	3	5	7	10	13
Egyéb műanyag	6	7	8	9	11
Összesen	106	147	186	238	296

A VC polimerizációjával állítják elő szuszpenziós eljárással. A szuszpenzió részecskék tapadásának megakadályozására stabilizálószereket alkalmaznak.

A polimerizáció kezdetben fűtés, majd hűtés és állandó keverés közben játszódik le autóklávban.

A PVC tulajdonságai megfelelő adalékanyagokkal a ridegtől, a gumi lágyságig változtathatók.

A PVC adalékanyagok és segédanyagok nélkül nem dolgozható fel. Ezért a PVC termék nem tisztán PVC polimer, hanem adalékokkal képzett komplex rendszer. Ezért tulajdonságait az alkotók mennyisége és a kölcsönhatása határozza meg.

3.2 A PVC lágyítása

A lágyítókat kezdetben általában a PVC lágyuláspontja, azaz feldolgozási hőmérséklete csökkentése céljából alkalmazták, a polimer termikus érzékenysége miatt. Az első időkben csak lágy PVC termékeket készítettek. 1912-ben német vegyészeknek sikerült először vinil-kloridból PVC-t készíteniük. Ma már csak kivételesen fordul elő ez a fajta „lágyítás” pl, bizonyos kemény PVC termékek fröccsöntésénél, a lágyítókat általában rugalmassá tétel céljából alkalmazzák.

A lágyító minőségét, és pontos koncentrációját receptúrában előírják, attól függően, hogy milyen tulajdonságú – rugalmasságú- végterméket kívánnak előállítani. A követelményeket szabvány írja elő.

3.2.1 Általános szempontok:

A lágyítónak a tulajdonságokra gyakorolt hatása az elsődleges szempont, amely meghatározza alkalmazásukat egykonkrét termék gyártásában. A rugalmasság befolyásoláson kívül, gyakorlatilag a PVC összes tulajdonsága változik a lágyító bevitelével.

3.2.2 Lágyító növelésével változik:

Rugalmassági modulus, szakítószilárdság, keménység, sűrűség, lágyulási hőmérséklet és térfogati elektromos ellenállása csökken, Míg nő a szakadási nyúlás, szívósság, lágyság, dielektromos állandó, veszteségi tényező.

A lágyítóknak be kell hatolniuk, és épülniük a polimer láncok közé. A lágyítás tulajdonképpen fizikai értelemben egy szemcséből és molekulák közé való diffúziós folyamatokból tevődik össze.

3.2.3 A végtermék felhasználásánál a környezeti tényezőket figyelembe kell venni:

A lágyítótípustól, és környezeti körülményektől függő lágyító elillanás- felületi migráció, diffúzió, illetve környezet és egészségkárosító hatása van.

A folyadék extrakció általi lágyító veszteség ugyanilyen káros lehet. PVC szennyvízcsövek esetén lehet problémás a kioldódás.

Csomagolásban, illetve esővezetékként való felhasználásánál.

Oldott polimer és lágyító rendszer esetében, a kölcsönhatás gyorsabb lesz a polimer moltömeg csökkenésével, és vinilacetát komonomer polimerláncba való bevitelével.

3.3 A lágy PVC tulajdonságai

A lágyító és a PVC közti kölcsönhatás is fontos lehet, de az elsődleges rendszerint a feldolgozott késztermék tulajdonsága, illetve költsége.

Összeférhetőség:

Az alkalmazás körülményei közötti folytonos összeférhetőség természetesen lényeges. Durva közelítéssel azt mondhatjuk, hogy a lágyító minél inkább hajlamos megtámadni és beépülni a polimer molekulák közé, annál inkább bennmarad a polimerben. Ekkor összeférhető. Ez a jó.

Ha egy lágyító nem teljesen összeférhető, lehet belőle látszólag homogén terméket készíteni, de normál körülmények között ki fog migrálni a felületre, és egy külön folyadéktér fogat fog képződni.

3.4 A kompaundálás

Amikor a reaktorból kikerül a polimer, az nem alkalmas sem a feldolgozásra, sem az alkalmazásra. Ezért különféle adalékokat – stabilizátort, csúsztatót, színezéket, töltőanyagot stb.– kevernek hozzá. Ezekkel az adalékokkal alapvetően befolyásolják a felhasznált műanyagok tulajdonságait a majdani alkalmazásuk igényei szerint. Maga az alapanyaggyártó is kompaundálja polimerjeit, és ezek ebben a formában is sokféle célra alkalmazhatók. Az ilyen típusok azonban nagyon gyakran nem elégítik ki a felhasználó követelményeit, ilyenkor újabb kompaundálással és újabb adalékokkal hoznak létre speciális összetételű és tulajdonságú keverékeket. Ennek az eljárásnak köszönhető a műanyagok szinte végtelen számú változata. Az alapanyag módosító kompaundálását néha a feldolgozó végzi el, de számos kisebb-nagyobb kompaundáló üzemben is gyártanak saját márkás keverékeket vagy a megrendelő által kívánt összetételű keverékeket. A kompaundálás speciális hozzáértést és tapasztalatot igényel. A kompaundálás sikere a jó összetétel (receptúra, formulázás) mellett nagymértékben függ azoktól az eszközöktől, amelyekkel a keverést végzik. Ezek legtöbbször egyirányba forgó kétcsigás extruderek. A feldolgozó-gyártók szorosan együttműködnek a kompaundálókkal, és ma már egészen speciális igényeket is ki tudnak elégíteni. [10]

3.5 A kompaundálás fejlődése

A kompaundálás (ami mechanikai erővel, gyúrással végzett keverést, összedolgozást jelent) a 19. és 20. század fordulóján a németországi Werner & Pfleiderer (W&P) és az angliai Banbury cégnél gumikeverékek gyártásával kezdődött. A hőre lágyuló műanyagok kompaundálását a II. világháború alatt elsőként a Union Carbide alkalmazta szintetikus gumik gyártására, a természetes gumi pótlására. A modern kompaundáló technológia az 1950-es években a Bayer cégnél a háromszárnyú együtt forgó ikercsigás keverő feltalálásával született meg. Ennek a keverőnek az elemei tökéletesen öntisztulók. Ilyen típusú keverőket elsőként a W&P cég kezdett gyártani. (A W&P 2001-ben beolvadt a Coperion csoportba, és a cég ma csak az utóbbi nevet használja.) A korábbi egycsigás, ill. Banbury típusú extruderek és a kétcsigás extruderek között a fő különbség az, hogy az utóbbiak csigái különböző csigaelemekből tetszés szerint

(„lego”-ként) rakhatók össze, ami nagyon rugalmassá teszi a berendezést. A csiga célnak legjobban megfelelő felépítéséhez szaktudás és tapasztalat kell. [10]



6. ábra: A KraussMaffei Berstorff cég kétszigás ZE Blue Power kompaundáló extrudere [10]



7. ábra: A KraussMaffei Berstorff cég extruderébe építhető kopásgátló persely [10]

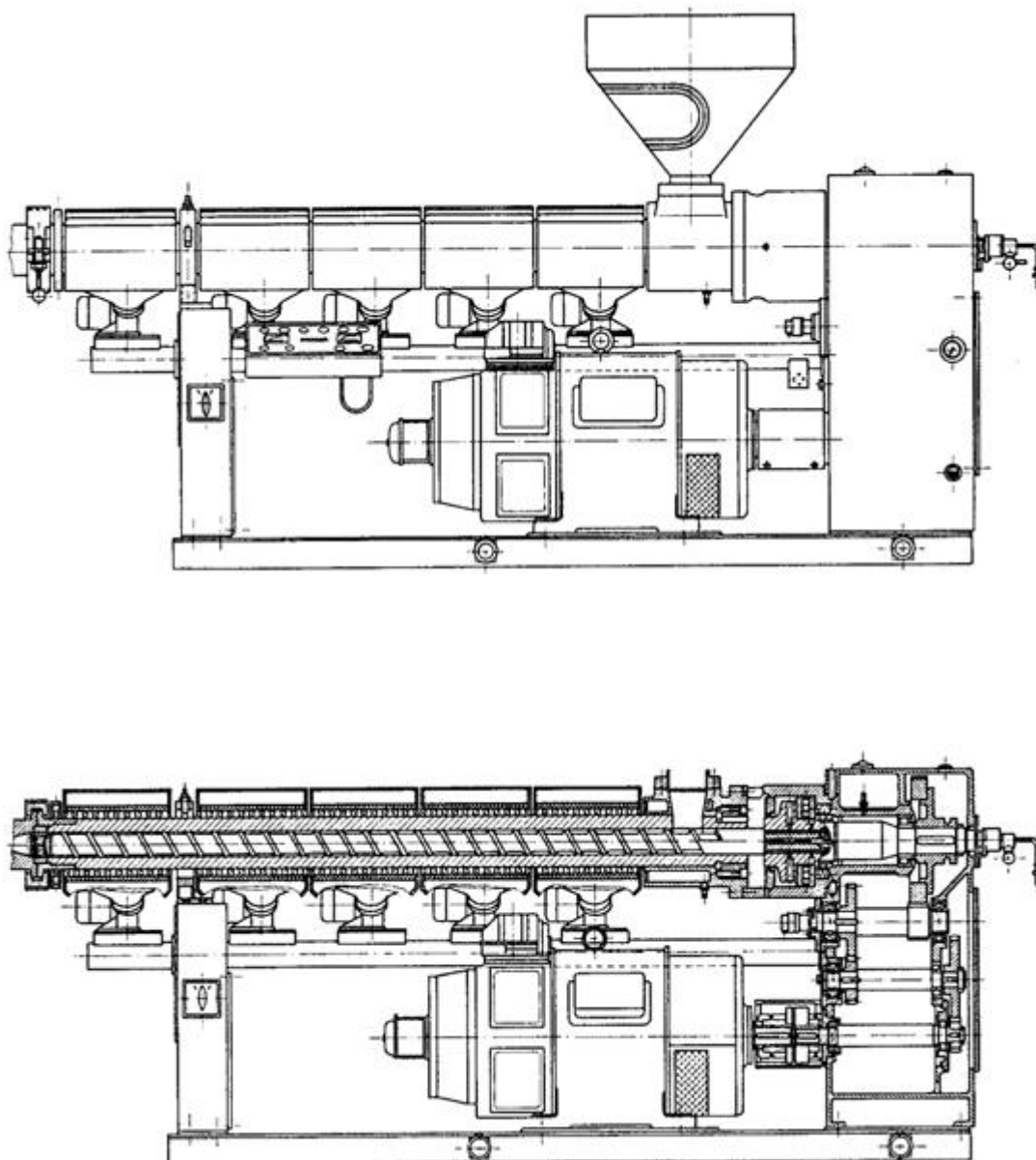
4. Az extrúzió technológiája

Az *extrúzió* a polimerfeldolgozás egyik leghatékonyabb, legjelentősebb technológiája, folyamatos üzem, amelynek során a (tipikusan hőre lágyuló) polimert az extruder

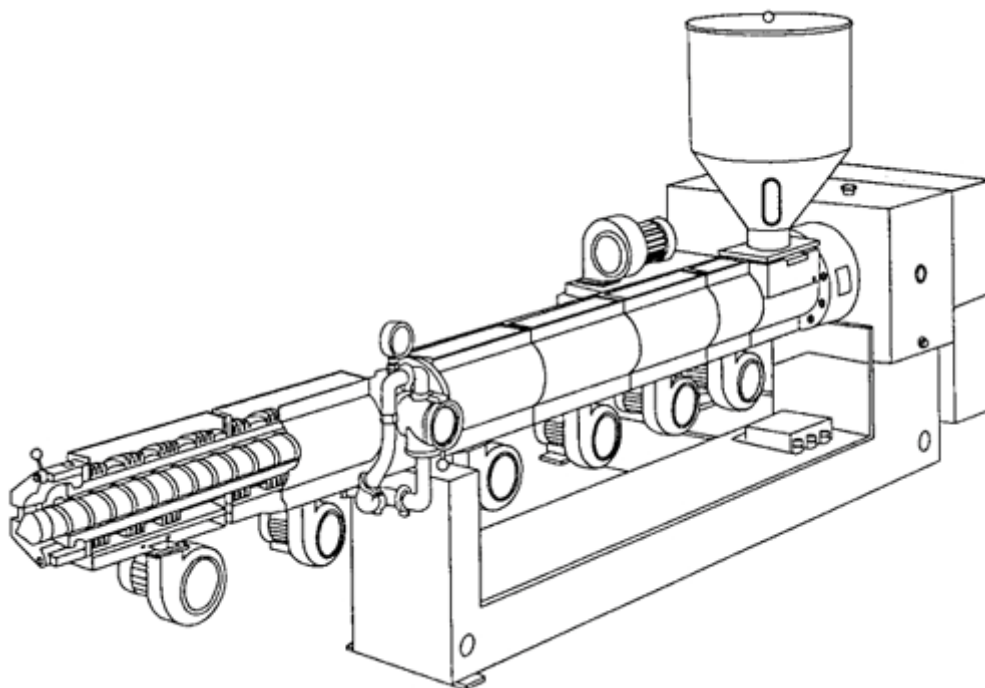
- *képlékeny* állapotba hozza, majd a viszkózus ömledéket
- *homogenizálja*, s ha kell, gáztalanítja, ezután
- *nyomás* alá helyezi (komprimálja),
- adott, változatlan keresztmetszetű, nyitott *szerszámon keresztül* *sajtolja*, a továbbiakban a követő-berendezésekkel
- méretállandóságot biztosítva *lehűti*, s így
- állandó keresztmetszetű polimerterméket gyárt tetszőleges hosszúságban, *folytonos üzemben*.

Az extrúzió *terméke* lehet lemez, fólia, cső, szál vagy többszörösen összetett üreges termék, amilyen pl. egy többszekrényes, hőszigetelő PVC ablakprofil.

A korai *elektrotechnika* megjelenése a 19. század közepén hozta magával a polimer extrúzió technikáját: dugattyús extruderrel készítettek gumibevonatot rézhuzalra már 1849-ben. Az első *csigás* extruder is elektromos vezetékek bevonására volt hivatott. A hőre lágyuló polimerek extrúziójának technológiája a PVC megjelenéséhez kötődik az 1930-as évek közepén. Ekkortájt bontakozott ki az extrudercsiga szerepe a folyamatos üzemű, ömledékállapotú *keverésben*, ekkortájt kezdték megismerni és leírni a viszkoelasztikus polimer ömledék áramlási jellegzetességeit, folyadék-mechanikáját, és innentől kezdve lépett mindez gyümölcsöző kölcsönhatásba az extruder gépkonstruktőrök munkájával. Az extruder szerkezetét a **8. ábra**, távlati képét a **9. ábra** mutatja be. Figyeljük meg a **8. ábrán** az alul beépített meghajtómotort, a jobboldalon helyet foglaló hajtóművet és a tipikusan jobbról bal felé szállító csigát.[11]



8. ábra: Az egycsigás extruder felépítése fent: külső megjelenés; lent: belső szerkezet Alul a gépalapban: meghajtómotor, jobboldalt: hajtómű, a tölcser alatt: garat (vízzel hűtve), az öt fűtőzóna fűtése: elektromos, hűtése: légbefúvással [11]



9. ábra: Tipikus egycsigás extruder „3D” képe [11]

Az extrudálás technikájának alapfogalmai:

Az extruder tehát nem egyszerűen olvasztó-ömlesztő és az ömledéket szállító szivattyú, ill. kompresszor szerepű gép. A folyamatos üzemben – mégpedig akár hetekig – hónapokig megállás nélkül – működő *extrudercsiga* (*extruder screw*, *Extruder-Schnecke*) egymás utáni szakaszai (*zónái*) valósítják meg az extruder legfontosabb *funkcióit*.

Ahogy az a 3 ábrán láthatjuk, a legegyszerűbb extrudercsigán három zónát figyelhetünk meg (ismét az anyagszállítás irányában, jobbról balra):

4. táblázat: Extrudercsigák zónái és funkciói [11]

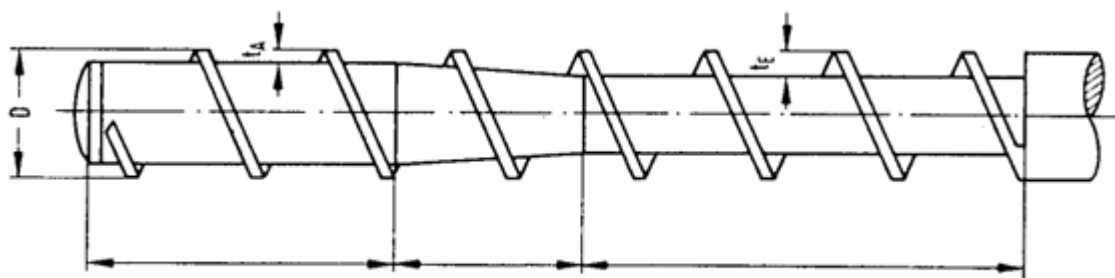
Csiga zónák	Funkciók
etető vagy „behúzó” zóna	a polimer granulátum betáplálása, az ömlesztés kezdete,
sűrítő (kompressziós) zóna	az ömlesztés folytatása, befejezése, sűrítés (komprimálás), gáztalanítás, homogenizálás,
homogenizáló, kiszállító zóna	a homogenizálás befejezése, kiszajtolás megemelt nyomáson

Az *extrudercsiga* tehát lényegében egy menetes orsó, (többnyire jobbmenetű), „ritka vágású”, nagy menetemelkedéssel, a menetemelkedés egy fordulatra általában megegyezik a csiga külső átmérőjével. Ez a csiga laza illesztéssel forog az extruder *hengerben* (a rés mérete tipikusan $0,005 D$) amelyet több szakaszra osztva villamos fűtéssel fűtenek, és amelynek temperálásához szükséges hűtést rendszerint levegőhűtés adja (ezek a hűtő-befúvó csönkök láthatók a 8. ábrán is). Az extruder henger etetőnyílásának (garatjának) környékét vízhűtéssel hűtik a csapágyazás túlmelegedésének elkerülése céljából.

A **10. ábrán** látható sematikus extrudercsiga a három zóna három fő funkcióját úgy valósítja meg, hogy a csavarorsó magátmérője a középső zónában határozottan megnövekszik. A *kompresszió funkciója* természetesen nemcsak

- *mag-progresszív*, hanem
- *szög-degresszív* csigával is, sőt
- a menetszárny *szélességének* megváltoztatásával

is megvalósítható. A második esetben a menetemelkedés szögét csökkentjük, a harmadik esetben a menetárok „térfogatát” a vállszélesség növelésével csökkentjük.

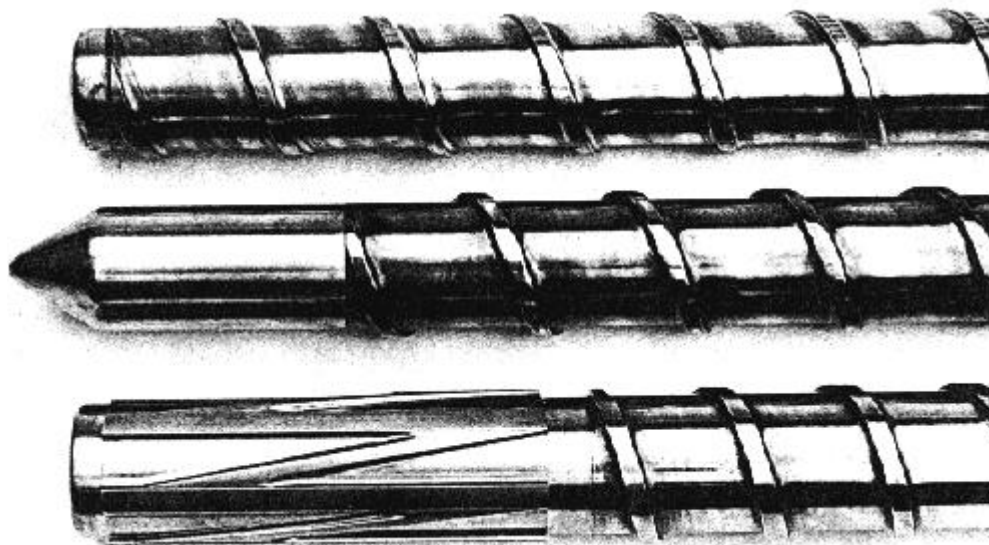


10. ábra: Az extrudercsiga zónái. (Jobbról balra: behúzó zóna; kompressziós zóna; kiszállító zóna) [11]

A **11. ábra** fotóján tipikus kiszállító zónák, különféle csiga-végződés láthatók. Feltűnő, hogy ebben a zónában a menetárok mélysége csak egy tizede a menetszélességnek. A kiszállító zóna hossza tipikusan $5-7 D$, a teljes csigahosszat pedig $L/D = 20-30$ arány jellemzi. A $D=25$ mm-es átmérőjű extrudercsiga laboratóriumi extrudert jellemez. Az ipari extrudercsiga átmérője akár

250 mm-t is elérheti. A laborextruder ömlesztőtéljesítménye néhány kg/h, míg a legnagyobb extruderek gyártókapacitása az 1500 kg/h-t is meghaladhatja.

A **11. ábra** fotója nemcsak eltérő csigavégződéseket, hanem keverőelemeket is bemutat, amelyekből sokféle konstrukció változatot láttunk az ömledék keverő extruderek esetében is. Mivel vizsgálataim során PVC alapú habos lemez mintákat vizsgáltam itt külön érdemes kiemelni a fokozatos kompresszió növelés fontosságát a PVC hőérzékeny volta miatt!



11. ábra: Extrudercsigák tipikus végződése: (felülről) lekerekített csiga, csúcsos csigavégződés, nyíróelemekkel végződő csiga (keverést, homogenizálást javító elem) [11]

Az átmeneti, kompressziós zóna hossza, aránya a behúzó- és kiszállító zónához mérten, összefügg az extrudált polimer megömlesztésének időbeli lefutásával. Amint tudjuk, az *amorf* hőre lágyuló polimer széles hőmérséklet-tartományban lágyul és olvad meg, míg a *kristályos* hőre lágyulóknál ez a hőmérséklettartomány szűkebb. Ennélfogva az amorf hőre lágyuló polimert extrudáló csiga hosszabb kompressziós zónát tartalmaz, mint a kristályos hőre lágyuló polimerhez használt csigáé. Az extrudercsiga geometriája tehát a felhasználandó polimerhez illeszkedik, ilyen értelemben akár beszélhetünk PVC-hez való csigáról, ahol a polimer hőérzékenysége miatt kifejezetten hosszú, fokozatos kompressziós zónát használnak és PP- csigáról is. Egy extruderhez természetesen több csigát vásárolhatunk, ha termékpalettánk széles.

Terjedőben vannak az ún. moduláris csigák is, amelyeket változtatható hosszúságú szakaszokból állítanak össze.

5. Habos lemez (PVC)

Az Ongropack Kft. ONGROFOAM EASY USE márkaneven forgalmazza saját gyártású szuperkönnyű szabadon habosított lemezeit. Nagyon alacsony sűrűség egyenletes cellaszerkezet, homogén, matt felület jellemzi. Súlyának köszönhetően a leggazdaságosabb nyomdaipari megoldás. Felületük könnyen nyomtatható és festhető.

Az ONGROFOAM EASY USE lemezek önkiloztóak, minden a fém- és faiparban használt általános szerszámmal könnyen megmunkálhatóak. Jó tulajdonságaiknak köszönhetően a felhasználási területük köre rendkívül gazdaságos. Lemezek felületvédelmét védőfóliázással biztosítják.

A PVC alapú habos lemezek gyártásánál a habosítás kémiai habosító szerrel és/vagy szén-dioxid bevezetésével is törtéhet. Ha ez a két anyag egyszerre és egy időben megy a rendszerbe. (A kémiai+ szén-dioxid habosítást vegyes habosító rendszernek nevezzük.) A kémiai habosításnál magas hőmérséklet hatására bomlik a habosító szer, amelyből gáz képződik.

5.1 Felhasználási terület

- UV nyomtatás
- betűkivágás
- szitázás
- digitális nyomtatás

5.2 Előnyök

- finom cellastruktúra
- homogén matt felület
- könnyen kezelhető és megmunkálható
- könnyű súly

[12]

6. A haboslemez gyártástechnológia leírása

6.1 Adagoló berendezés

Az extruder sor legelső fázisában az adagolóberendezés segítségével az előre lekevert porkeverék és feldolgozáshoz szükséges egyéb anyagok (darálék, habosítószer) az extruder garatjába jutnak az előírt százalékos összetétel szerint keveredve. A rendszer négy különálló adagolóból áll, melyek a garat feletti etetőtartályban találkoznak. A felhasználandó anyagok adagolási mennyisége és aránya egy az extruder mellett található vezérlőegység segítségével szabályozható. A berendezés összeköttetésben áll az extruder vezérlésével. Az adagolók legfelső tartályába automata szivornya (anyagfelszívó berendezés) juttatja fel az anyagokat, ahonnan az alatta lévő mérlegtartályba a gravitáció révén jut az anyag. A garatba a mérlegek végén található vízszintes villamos motorral hajtott adagoló spirál szállítja az anyagokat, az előírt arálynak és mennyiségeknek megfelelően.

6.2 Kétcsigás extruder

A kétcsigás extruder fő egységei a két csiga és a csigaház. A rendelkezésre álló alapanyagból a fűtött speciális geometriájú ikercsigás extruder megfelelő ömledéket állít elő. Az extruder folyamatainak szabályozása a régi vagy az újabb vezérlőegység segítségével történik. Az extruder felépítése a következő:

- A csigákat egy villanymotor hajtja meg fogaskerekeken keresztül az osztómű segítségével, ami a két csigás kialakítás miatt szükséges.
- Etető zóna, ide csatlakozik az adagolóberendezés, itt zajlik a betáplálás.
- Kompressziós sűrítő zóna, ahol a megömlesztés és a homogenizálás folyik.
- Kiszállító zóna, kiszorítás megengedett nyomáson történik.

A két csiga között kevés anyag áramlik a tökéletes feldolgozás megvalósításának érdekében. Az anyag tehetetlenségénél fogva kénytelen a kiszállító zóna felé áramolni. A csigán gyúrotárcsák helyezkednek el, a folytonos menet megszakításával, elősegítve a keverési

mechanizmust és a kívánt minőség elérését. A csigák hőmérséklete és sebessége szabályozható, a megfelelő hőmérséklet egy külső olajtemperáló biztosítja. A csigák forgatását a hajtómű biztosítja

A csigaház az egyes szakaszain villamos fűtés és hűtés található, amely hat hőmérsékleti fűtő zónára tagozódik. A szükséges zónahőfokokat elektronikus szabályozók tartják állandó értéken, melyet egy vezérlőpanel segítségével vezérelhetünk.

A zónák között találunk egy vákuumképző egységet is. Ez az egység arra szolgál, hogy a csigák gyúrásából adódóan keletkezett gőzöket, illetve gázokat, valamint szennyeződések elszívják. Az elszívás egy szűrővel ellátott vízgűrűs vákuumszivattyút használatával történik.

A gyúrócsigák az ömledéket a csigavégig szállítják az extruder végére csatlakoztatott szűkítő adapterbe, melynek szerepe a szerszám és az extruder összekapcsolása. Az adapter hőmérséklete szintén szabályozható.

6.3 Szélesrésű szerszám

Tovább haladva a gyártósoron az adagolók, az extruder, és az adapter után következik a szélesrésű szerszám. Az alakadó szerszám feladata az egyenletes felület és vastagság beállítása. A szerszámból kilépő ömledék egyenletes sebességét és vastagságát a szerszámban lévő gát, a két szerszámajak közötti rés és a szerszámhőmérséklet beállításával lehet szabályozni. A szerszám széles résének a pontosságot a felső szerszámajak beállításával tudjuk szabályozni. Vastagság növeléséhez akár 90db csavart is be kell állítanunk, ez azonban szerszám méret függő.

Két oldalról a szerszám nyílásánál található ajakrések külön fűtést is igényelnek, melynek megvalósítása egy bevezetett csövön keresztül történik a szerszám két végén, amiben fűtőolaj cirkulál. 14 hő érzékelőt csatlakoztatnak a szerszámokra alul-felül, amik vezérlését és adatait a gyártást irányító már említett panelon, az extruder egyéb adatai mellett, külön funkció jelenít meg. A szerszám közepétől a széle felé haladva egyre magasabb hőfokok szükségesek az egyenletes sebesség és anyagáram miatt. Egy ilyen extruder szerszám összeszerelt állapotban rajta az említett állítócsavarokkal, ajaktemperálókkal, hőérzékelőkkel.

Az extruder szerszám daruval ketté vehető konstrukciójú. Felbontható alsó, és felső részre. Mindkét részében megtalálható az elosztócsatorna. Egymásra helyezve a két rész alakadó felülete között halad az anyag.

Habosított PVC lemezeknél az ajak kialakítását olyan, hogy torlódást idézzenek elő az anyagban, ezért a szerszám öblös kialakítású, valamint a vasaló szakasza rövid.

Kemény PVC síklemezeknél a felső és alsó ajak vasaló szakasza hosszú.

6.4 Hűtőhengerek

Habosított PVC lemezeknél az anyag a szerszámból kilépve rögtön hat darab hűtőhenger közé van vezetve. A hűtő egység alul-felül három hengerből áll. Bennük 10-11°C-os folyamatosan temperált hűtővíz cirkulál. A hűtőegység feladata, hogy a habosodó lemezen alul, illetve felül két szilárdabb réteg képződjön, köztük pedig a habosodó anyagszerkezet megmaradjon. A hengerek villamos motorral hajtottak, a hengerek közötti rés állításával és forgási sebességük szabályzásával, lehet a lemezek vastagságát állítani.

6.5 Simítómű

A lemezek vastagsági méretének pontos beállításához és felületének kialakításához három krómozott simítóhenger alkalmazása szükséges, melyek közvetlenül a szerszám után (habos lemez esetében a hűtőhenger) találhatóak. A szerszámból kilépő még képlékeny ömledék a hengerek közé érve megszilárdul. A három fűthető-hűthető henger egymáshoz képest függőlegesen helyezkednek el. Temperálásuk víz segítségével történik. Az alsó-középső és középső-felső hengerek közötti rés állítása a lemezvastagságot szabályozza, egy a hengerek melletti vezérlő segítségével. A hengerek sebessége szintén szabályozható. Ez utóbbit, illetve a henger hőmérsékleteket szintén az extruderen található vezérlőpanelen keresztül lehet állítani.

6.6 Hűtő/szállító sor

A simítómű után a lemez a hűtő/szállító soron szobahőmérsékletre hűl. A soron található görgők szabadon futnak.

6.7 Lehúzó hengerpár

A lemez sebességének szabályozása és egyenletes szállítása a gyártósor közepén található két pár lehúzó gumihenger segítségével történik. A hengerek sebességét villamos motor szabályozza melyet az extruderen található vezérlőpanelen keresztül lehet állítani, még a nyomást a hengerek mellett található két-két reduktor szabályozza.

6.8 Daraboló egység

A lemezek méretre vágása a daraboló egység segítségével történik. Felépítésében két széllevágó körfűrészből, egy középvágó körfűrészből, egy keresztvágó körfűrészből, és egy lemezvágó ollóból áll. A kívánt szélességi, hosszúsági méreteket az egység mellett található vezérlőszekrény panelján lehet beállítani. A vastagsági méretek függvényében a fűrész, vagy olló is használható keresztvágásra. A lemezek keresztirányú méretének levágása habos lemezeknél 10 mm-es vastagságig pengével, sík lemezeknél 2,5 mm-ig körkéssel történik. A vágás során keletkező fűrészpor eltávolítása egy elszívó és tároló egységgel történik. A nagyerejű szívóerő kiszívja a fűrészek köré erősített burokból a port azokat a porzsákba juttatva. Ezeket a porzsákokat megrezegteti egy rezgető gép és a por a gravitáció hatására leperreg a részegység aljára erősített zsákokba.

6.9 Rakatképzés

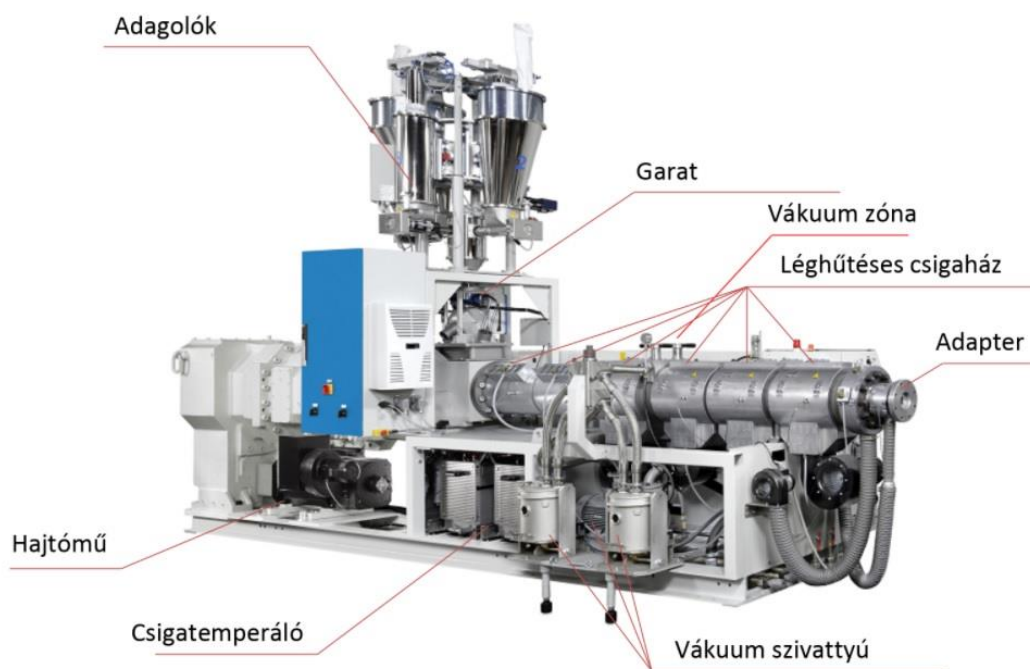
A gyártósor végén a feldarabolt lemezeket az egységeket képző rendező egységbe. Ez egy görgős asztal, melyen kézi potméterekkel lehet a görgők ezzel együtt a lemezek sebességét változtatni. Erre az asztalra érkezik terelőkön át a termék mellett a szélhulladék is. Az asztal

végén egy ütköző található. Pneumatikus kapcsolókkal ellátott egység a szélhulladékot felemeli és eltolja alatta a terméket a raklapra. A rakatképzés a következő lépésekből áll:

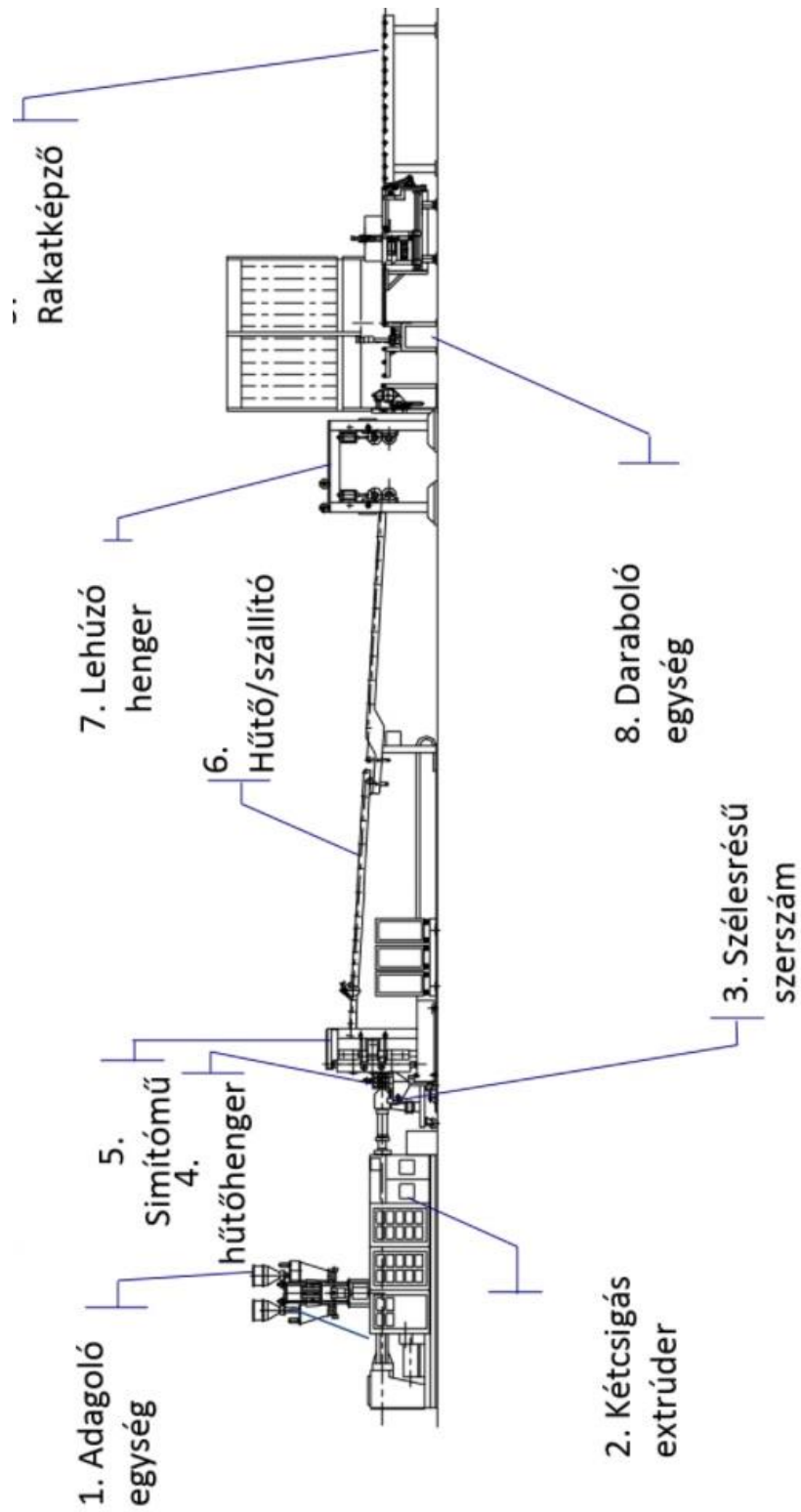
1. lemez és szélhulladék az asztal végére ér.
2. a bal oldali szél felemelésre kerül.
3. a lemezt a raklapra tolja.
4. bal oldali szél visszaereszkedik az asztalra.
5. a két szél letolásra kerül egy hulladéktárolóba.

Az egység mellett található egy raklaptartó asztal, mely fokozatosan úgy helyezkedik a súlyt és a lemezvastagságot érzékelvén, hogy egymásra csússzanak a lemezek.

A legrégebbi gyártósoron a raklapra egy szállítószalag szállítja a feldarabolt lemezt. Ennek a sebessége is kézi potméter segítségével szabályozható. A hulladékot és lemezt egy kezelő helyezi a raklapra, illetve a hulladéktárolóba.



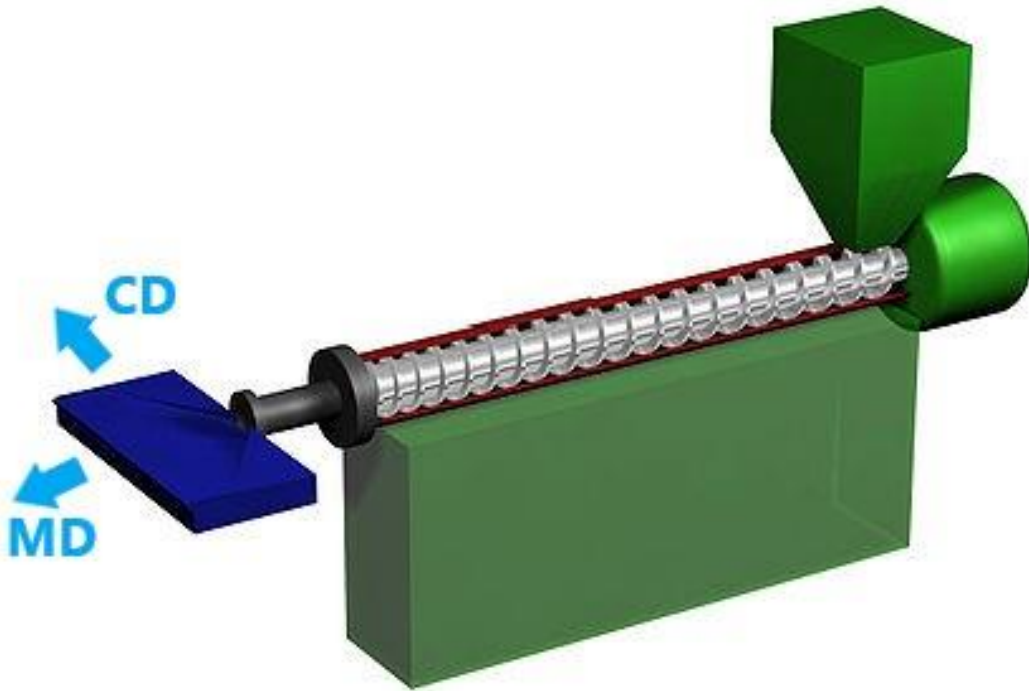
12. ábra: Lemez gyártósor kezdeti szakasza



13. ábra: Lemez gyártósor

7. Mechanikai tulajdonságok vizsgálatának mérései

A PVC habos lemez mintákat az Ongropack Kft. biztosította számomra. A „Kis” sűrűségű anyag $0,45\text{g/cm}^3$ a „Nagy” sűrűségű anyag $0,47\text{g/cm}^3$ volt. Az irányfüggés vizsgálatánál az MD (angol: Machine Direction) extrudálási irány, a CD (angol: Cross Direction) a kereszt vagy az extrudálási irányra merőleges irányt jelenti.



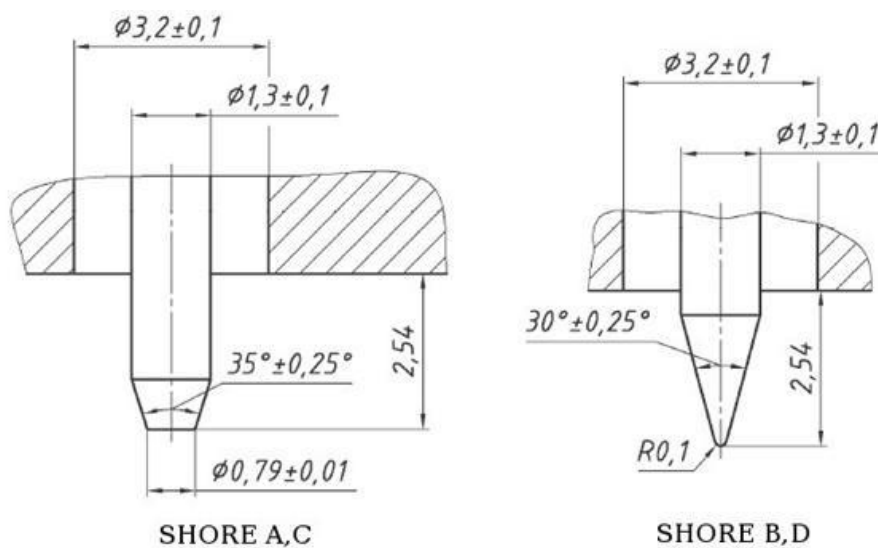
14. ábra: (Forrás: Wikipédia)

7.1 Keménységmérések:



15. ábra: Zwick/Roell keménységmérő [13]

A polimerek keménységén a szilárd anyag alakváltozással szemben kifejtett ellenállását értik. Esetükben a leggyakrabban használt keménységmérési módszer a **Shore keménység**.



16. ábra. A Shore keménységmérés szűrőtestjei [14]

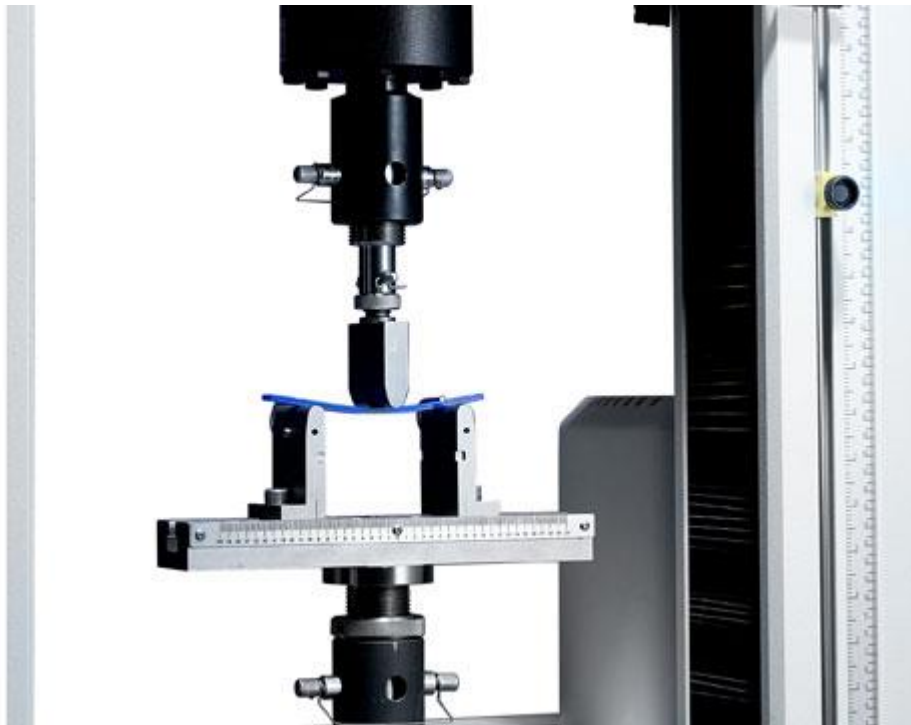
Shore D keménységmérés esetében a behatoló tű a Shore A fejtől eltérően nem csonkakúp, hanem olyan ép kúpfelület, aminek hegyét 0,1 mm méretű csúcsrádiusszal látták el. A vizsgálatok összehasonlíthatósága miatt a tű átmérőjét és kinyúlási hosszát szabvány rögzíti. Mivel a polimerek keménysége jóval elmarad a fémekétől, így a behatoló szerszámot nem kell gyémánt betéttel ellátni. A behatoló szerszám minden esetben edzett acél.

Mindkét típusú habos lemeznél Shore D keménységet mértem Zwick típusú digitális keménységmérő segítségével a behatolási időt 3 másodpercre állítottam. A kapott eredményeket a következő táblázatban foglaltam össze: [14]

5. táblázat. A Shore D keménységmérés eredményei

Mérés	Kisebb sűrűségű	Nagyobb sűrűségű
1	33,2	32,3
2	33,8	36,1
3	33,7	34,9
4	33,1	33,7
5	32,7	34,3
6	33,7	33,1
7	33,4	32,9
8	34	32,4
9	32,5	33,5
10	32,8	33,1
11	33,3	32,9
12	32,9	31,3
13	32,3	34,1
14	32,2	31,9
15	33	32,8
16	33,5	32,9
17	32,4	33,1
18	32,6	34,1
19	32,7	32,5
20	32,5	33,1
Átlag	33,02	33,25
Szórás	0,54	1,08

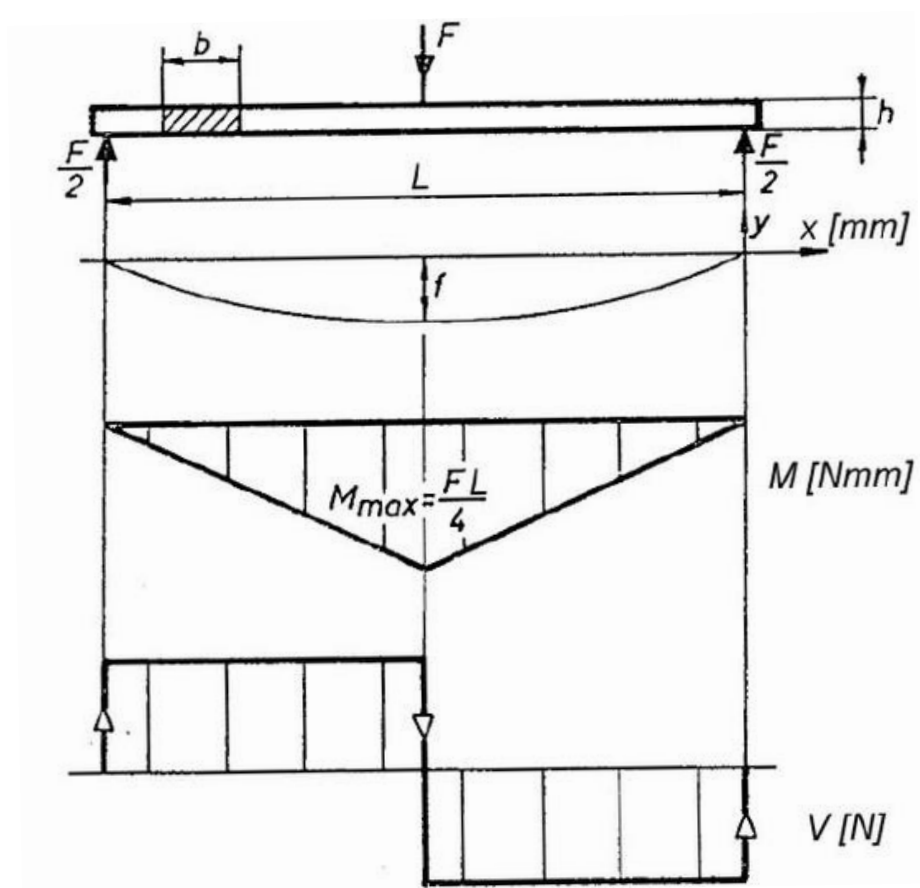
7.2 Hárompontos hajlító vizsgálat:



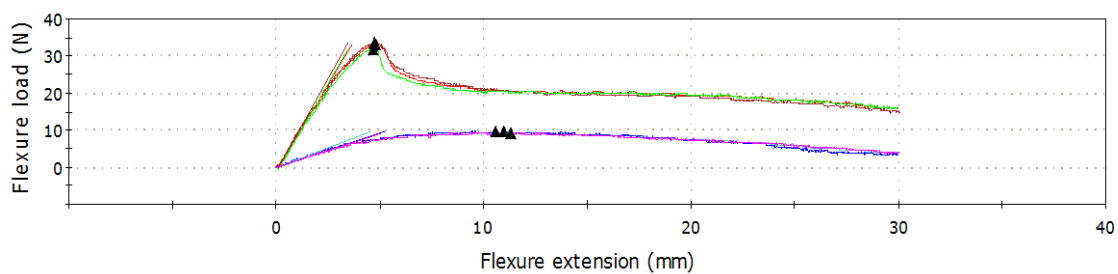
17. ábra: Instron anyagvizsgáló berendezés hárompontos hajlítóvizsgálatra beállítva [15]

7.3 A hárompontos hajlítóvizsgálat célja

Az ipari gyártmányok igen nagy részénél találhatók olyan lemezből készült alkatrészek, amelyeknek alakját egyszerű vagy összetett hajlítási műveletek során lehet kialakítani. A lemezhajlítás szilárdságtanilag bonyolult feladat, mert a hajlított alkatrész egy része képlékenyen alakul, maradó alakváltozást szenved, de ha a hajlítás folyamatát végigkísérjük, jól látható, hogy a hajlított keresztmetszet feszültségeloszlása feltárja az ún. rugalmas alakváltozás tényét. [16]



18. ábra. A hárompontos hajlítás feszültségviszonyai [16]



19. ábra: Tipikus hárompontos hajlítási diagramok

A mérést Instron 5566 szakító géppel végeztem 60 mm alátámasztással és 10mm/min keresztfej elmozdulási sebességgel. Tapasztalati úton lettek meghatározva a paraméterek.

6. táblázat. A hajlítási tulajdonságok sűrűség függése MD

Sűrűség	Modulusz [MPa]	Szilárdság [MPa]
Kis	227,53±15,85	6,82±0,10
Nagy	243,64±27,61	7,22±0,21

A vizsgált kis és nagy sűrűségű habos lemez minták hárompontos hajlítása során azt tapasztaltam, hogy a modulusz és szilárdság értékek arányosan változnak a sűrűséggel.

7. táblázat. A hajlítási tulajdonságok irányfüggése „Kis” sűrűségű mintán

Irányok	Modulusz [MPa]	Szilárdság [MPa]
MD	227,53±15,84	6,81±0,09
CD	1087,53±27,79	22,81±0,46

A „Kis” sűrűségű habos lemez minta 7. táblázatát tekintve megállapítható, hogy a modulusz és szilárdság értékek nem várt eredményeket mutatnak, mert keresztirányban nagyobbak a mért értékek a hosszirányhoz képest ez az anomália a habszerkezettel lehet összefüggésben.

7.4 Húzószilárdság

A húzószilárdság az anyagnak a húzóerővel szembeni ellenállását jellemzi. A szakítóvizsgálat során a próbatestet a hosszirányú főtengelye mentén állandó sebességgel addig húzzuk, amíg a próbatest szétszakad, vagy a feszültség (terhelés), illetve a hosszváltozás (nyúlás) elér egy előre meghatározott értéket. Ezen eljárás során a próbatestre ható erőt és a nyúlást mérik. A szakítószilárdság mértékegysége N/mm². A húzófeszültség a mérőhosszon belüli, az eredeti keresztmetszetre vonatkoztatott húzóerő, amelyet a próbatest bármely adott pillanatban elvisel. A húzófeszültség megfolyáskor értelmezett értéke a folyáshatár, amely az első feszültség, ahol a nyúlás a feszültség növekedése nélkül növekszik. Ez kisebb lehet, mint az elérhető legnagyobb feszültség. A szakítószilárdság, az a húzófeszültség, amelynél a próbatest elszakad. A húzószilárdság, a legnagyobb húzófeszültség, amelyet a próbatest még elvisel a húzóvizsgálat során. [17]

A mérés Instron 5566 szakító géppel lett végezve piskóta alakú próbatesteken, pneumatikus befogófejjel 20mm/min keresztfej elmozdulási sebességgel.

8. táblázat. A húzási tulajdonságok sűrűségfüggése MD irányban

Sűrűség	Modulusz [MPa]	Szilárdság [MPa]	Nyúlás [%]
Kis	182,16±10,65	6,05±0,19	18,70±0,57
Nagy	137,47±0,95	5,54±0,07	21,85±0,89

9. táblázat. A húzási tulajdonságok sűrűségfüggése CD irányban

Sűrűség	Modulusz [MPa]	Szilárdság [MPa]	Nyúlás [%]
Kis	472,28±34,59	17,68±0,20	18,32±0,34
Nagy	506,30±16,20	15,01±0,27	21,35±1,66

A szakító szilárdsági mérés során CD irányban itt is arra a következtetésre jutottam, mint a hárompontos hajlításnál összehasonlított kis és nagy sűrűségű habos lemez mintákkal kapcsolatban, hogy a modulus és nyúlás arányosak, a habsűrűséget igazolják. Ellenben a szilárdság értékek és az MD irányban a modulus is, pont fordítottja az elvártaknak.

10. táblázat. A húzási tulajdonságok irányfüggése, „Kis” sűrűségű lemez

Irányok	Modulusz [MPa]	Szilárdság [MPa]	Nyúlás [%]
MD	182,16±10,65	6,05±0,19	18,70±0,57
CD	472,28±34,59	17,68±0,20	18,32±0,34

11. táblázat. A húzási tulajdonságok irányfüggése, „Nagy” sűrűségű lemez

Irányok	Modulusz [MPa]	Szilárdság [MPa]	Nyúlás [%]
MD	137,47±0,95	5,54±0,07	21,85±0,89
CD	506,30±16,20	15,01±0,27	21,35±1,66

Nem várt eredmények, hasonlóan a hárompontos hajlításhoz, itt is a keresztirányban bizonyult erősebbnek a termék.

7.5 Charpy-ütőmunka

Dinamikus anyagvizsgáló eljárás, mert a terhelés ütésszerűen éri a próbatestet. A vizsgálat segítségével a szerkezeti anyag ütőmunkája állapítható meg. A szívós anyagoknak nagy az ütőmunkájuk, a rideg anyagoknak kicsi, de ez a hőmérséklettől, a feszültségi állapottól és egyéb tényezőktől is függ. Főleg alacsony hőmérsékleten üzemelő berendezéseknél fontos, hogy az anyag ne váljon rideggé. [20]

Instron Ceast 9050 géppel végeztem a mérést szobahőmérsékleten, 50%-os relatív páratartalom.



22.ábra: Instron Ceast 9050 berendezés [21]

12. táblázat. A minták Charpy eredményei „V” bemetszéses próbatesteken

Sűrűség	Relatív ütőmunka [KJ/m ²]
Kis	28,45±0,97
Nagy	12,57±4,92

13. táblázat. A minták Charpy eredményei bemetszetlen próbatesteken

Sűrűség	Relatív ütőmunka [KJ/m ²]
Kis	115,53±4,98
Nagy	57,12±7,18

Összefoglalás

A mechanikai tulajdonságok vizsgálata során a következtetéseket levonva arra jutottam, hogy mind a hajlítószilárdság mérésénél, és mind a szakító szilárdság mérésénél nem várt eredményeket kaptam. A kereszt irányban a habosított lemez minták erősebbek, mint az extrudálási irányban. Ez számomra egyértelműen jelzi, hogy a kapott minták jelölése hibás volt, az irányok fel lettek cserélve. A kisebb és nagyobb sűrűségű minta keménysége csak kisebb mértékben tér el egymástól. A Charpy-ütőmunka jól látható eredménnyel zárult, mert elkülöníthető a habszerkezet fajsúlya a habos lemez mintákra nézve. A továbbiakban szeretném több méréssel is alátámasztani, hogy a habosítás technológiája és a habosító szer milyen hatással van a PVC alapú extrudálási technológiával készített habos lemezre. Továbbá szeretném fő szempontként kutatni a keresztirány és az extrudálási irány jelentőségét a habos lemezeknél.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretném megköszönni Dr. Szabó Tamás József szellemi segítségét, továbbá a mérések kivitelezését és az eredmények kiértékelését. Szeretném megköszönni a külső konzulensemnek, Várfalvi Jánosnak, hogy minden időpontban lehet rá számítani. Köszönettel tartozom a Polimermérnöki Tanszék valamennyi dolgozójának, kiemelve Tamási Kingát a sok jó tanácsért, és mindenkinek, aki a segítségemre volt a szakdolgozatom elkészítése során.

Felhasznált irodalom

[1]https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011_0025_kor_3/ch08.html

(utolsó letöltés dátuma: 2020.11.26)

[2][https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0006_polimertechnika/page21.html)

[0006_polimertechnika/page21.html](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0006_polimertechnika/page21.html) (utolsó letöltés dátuma: 2020.11.26.)

[3]http://www.sze.hu/~zsoldos/valogatott_fejezetek_az_anyagtudomanybol_MSc_leckek/kompozit_1_lecke.pdf (utolsó letöltés dátuma: 2020.11.29.)

[4] <https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/ch03.html> (utolsó letöltés dátuma: 2020.12.03.)

[5][https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_muanyag_kompozitok_2/ch03.html)

[0012_muanyag_kompozitok_2/ch03.html](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_muanyag_kompozitok_2/ch03.html) (utolsó letöltés dátuma: 2020.11.30.)

[6] <http://www.pmtechnic.com/hu/hirek/history-of-pvc> (utolsó letöltés dátuma: 2020.12.03.)

[7] https://www.mozaweb.hu/Extra-3D_modell-Vinil_klorid_kloreten_C_H_Cl-3947 (utolsó letöltés dátuma: 2020.12.01.)

[8][https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_muanyagok_kemiaja/ch10s07.html)

[0012_muanyagok_kemiaja/ch10s07.html](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_muanyagok_kemiaja/ch10s07.html) (utolsó letöltés dátuma: 2020.12.01)

[9]<https://quattroplast.hu/muanyagipariszemle/2009/05/a-muanyagok-vilagpiaci-helyzete-03.pdf> (utolsó letöltés dátuma: 2020.04.12.)

[10][https://quattroplast.hu/muanyagipariszemle/2016/05/a-kompaundalas-es-a-](https://quattroplast.hu/muanyagipariszemle/2016/05/a-kompaundalas-es-a-kompaundalas-eszkozeinek-fejlolese-07.pdf)
[kompaundalas-eszkozeinek-fejlolese-07.pdf](https://quattroplast.hu/muanyagipariszemle/2016/05/a-kompaundalas-eszkozeinek-fejlolese-07.pdf) (utolsó letöltés dátuma: 2020.12.02.)

[11]<https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/ch08.html> (utolsó letöltés dátuma: 2020.04.12.)

[12]<http://www.ongropack.com/hu/termek/habos-lemez/ongrofoam-easy-use/> (utolsó letöltés dátuma: 2020.12.03.)

[13]<https://docplayer.hu/108879649-Miskolci-egyetem-muszaki-anyagtudomanyi-kar-keramia-es-polimermernoki-intezet-szakedolgozat.html> (utolsó letöltés dátuma: 2020.12.03.)

[14][https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_polimerek_merestechnikaja_labor/ch02.html)
[0012_polimerek_merestechnikaja_labor/ch02.html](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_polimerek_merestechnikaja_labor/ch02.html) (utolsó letöltés dátuma: 2020.04.12.)

- [15] <https://www.instron.us/testing-solutions/by-standard/iso/iso-14125> (utolsó letöltés dátuma: 2020.12.03.)
- [16] <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/gepeszet/gepeszeti-szakismeretek-3/hajlitovizsgalat/a-harompontos-hajlitovizsgalat-technologiaja> (utolsó letöltés dátuma: 2020.12.03.)
- [17] https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_muanyagok_kemiaja/ch04s02.html#id559391 (utolsó letöltés dátuma: 2020.04.12.)
- [18] https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_szerkezeti_anyagok/ch04s02.html (utolsó letöltés dátuma: 2020.04.12.)
- [19] <http://www.mua.bme.hu/muszerek.html> (utolsó letöltés dátuma: 2020.12.03.)
- [20] https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_gepelemek_es_abrazolas/ch05s03.html (utolsó letöltés dátuma: 2020.12.03.)
- [21] <https://www.directindustry.com/prod/instron/product-18463-428493.html> (utolsó letöltés dátuma: 2020.12.03.)