

## 2.1. Tömeg műanyagok

### Tevékenység:

Olvassa el a történeti áttekintést! Gyűjtse ki a polietilén előállításának a történetét!

### Polietilén (PE)

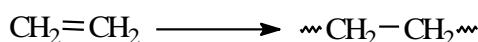
A polietilén talán a legjobban ismert és legnagyobb volumenben előállított polimer, amely fő láncában metilénecsoportot tartalmaz. Az előállítástól függően több típusát ismerjük és alkalmazzuk: nagy-, közép-, kisnyomású polietilén. A gyakorlatban elsősorban a tulajdonságok alapján csoportosítjuk a polietiléneket. Ez alapján megkülönböztetünk kis-, közepes, nagysűrűségű, lineáris, térhálós stb. polietiléneket.

Az első polietilént Fawcett és Gibson (ICI Ltd) állította elő 1933-ban etilén és benzaldehid nagynyomású reakciójával. Az így előállított anyag a kissűrűségű polietilén (LDPE). Az ipari termelés 1939-ben indult meg és 1955-ig csak nagynyomású technológiával állították elő. A Ziegler-katalízis felfedezését (1953) követően a kisnyomású ipari előállítás 1955-ben indult meg (Hoechst AG). Ezzel a módszerrel nagysűrűségű polietilén (HDPE) készül. Amerikában 1957-ben a Phillips-, 1961-ben pedig a Standard Oil-technológiával indult meg a termelés. 1968-ban a Union Carbide üzemében kisnyomású, gázfázisú polimerizációval kezdték előállítani a HDPE-t. 1977-ben szintén a Union Carbide fejlesztése nyomán megindították a kisnyomású technológiával gyártott kissűrűségű polietilén gyártását – lineáris kissűrűségű polietilén (LLDPE). Az LDPE és LLDPE összmenyiségének kb. 70%-át fóliagyártásra, míg a HDPE kb. 75%-át fröccsöntésre és üreges test gyártására használják fel.

### Előállítás

### Tevékenység:

Jegyezze meg a reakciót! Gyűjtse ki a polietilén gyártási eljárásait, jellemzőit, alkalmazási területeit! Jegyezze meg a kis és nagysűrűségű polietilén jelölését!



### Kissűrűségű polietilén (LDPE)

Az LDPE gyártását nagynyomású technológiával végezzük. Az iparilag alkalmazott nyomás 150-350 MPa, a hőmérséklet 80-300 °C.

### Nagysűrűségű polietilén (HDPE)

A nagysűrűségű polietilént kisnyomású technológiával állítjuk elő különböző katalizátorok alkalmazásával. A gyártási technológiák alapvetően a katalizátorban különböznek.

A Ziegler-eljárással 0,2–0,4 MPa nyomáson 50–75 °C-os hőmérsékleten képződik HDPE.

A Ziegler-eljárás módosításával ultra nagy molekulatömegű polietilén (UHMWPE) is előállítható. Ebben az esetben a végterméket nem granuláljuk (az extrudálás csökkenti a molekulatömeget). A keletkezett polimer molekulatömege nagyobb, mint 3 millió.

A Phillips-technológia közepes nyomású (3–4 MPa), 90–160 °C hőmérsékletű eljárás. Katalizátorként króm-trioxidot használnak. Az alkalmazott hőmérséklettől függően homogén (120–160 °C) vagy kicsapásos (90–100 °C) oldatpolimerizáció játszódik le. A keletkezett polimer szabályos szerkezetű, alig tartalmaz elágazásokat (3 metilcsoport 1000 szénatomonként). A technológia folyamatábrája közel azonos a Ziegler-eljárásával.

A Union Carbide-technológia gázfázisú polimerizáció, amelyet 0,7–2 MPa nyomáson, 100 °C-on végeznek metallocén katalizátorral (króm-diciklopentadién). A reakció fluidizált katalizátoron megy végbe, és a reaktor fenékterméke a katalizátort tartalmazó HDPE.

Lineáris kissűrűségű polietilén (LLDPE)

Az LLDPE etilén és 1-butén, 1-hexén vagy 1-oktén ( $\alpha$ -olefin) kopolimerje. Oldat- vagy gázfázisú polimerizációt használnak. Az oldatpolimerizációt 2,5–10 MPa nyomáson, 25–300 °C-on végezzük szénhidrogénes közegben. A gázfázisú technológia gyakorlatilag megegyezik a Union Carbide módszerével. A komonomer mennyisége 5-12%. Nagyobb komonomer mennyiséggel ún. nagyon kis sűrűségű polietilén képződik (VLDPE,  $\rho=0,89-0,915 \text{ g/cm}^3$ ).

#### *A polietilének tulajdonságai*

A különböző szerkezetű polietilének más és más tulajdonságokkal rendelkeznek. Az eltérések alapvető oka a molekuláris szerkezetben keresendő. Az elágazások gátolják a makromolekulák szoros, hosszú távú rendezettségének kialakulását. Ebből következik, hogy a kristályossági fok és természetesen az ezzel összefüggő tulajdonságok (olvadáspont, sűrűség, gázáteresztő képesség stb.) eltérőek. Néhány jellegzetes tulajdonságot a 2.1 táblázatban foglaltunk össze.

#### **Tevékenység:**

Tanulmányozza a táblázatot! Hasonlítsa össze a különféle polietilének tulajdonságait! Jegyezze meg a polietilének főbb kémiai jellemzőit! Keressen az interneten és környezetében polietilénből készült tárgyakat!

Tulajdonság	LDPE	HDPE	LLDPE
Sűrűség ( $\text{g/cm}^3$ )	0,92	0,96	0,94
Olvadáspont (°C)	108	133	123
Szakítószilárdság (MPa)	10	28	10
Szakadási nyúlás (%)	450	500	700
Keménység (Shore D)	45	65	55

2.1. táblázat. Polietilének jellemző tulajdonságai.

A polietilének kémiailag nagy molekulatömegű paraffinok; savaknak, lúgoknak és alacsony hőmérsékleten szerves oldószereknek ellenállnak. Magasabb hőmérsékleten ( $> 80 \text{ °C}$ ) szénhidrogénekben feloldhatók. Felületaktív anyagok feszültségkorróziót okoznak. Erős oxidálószer (koncentrált salétromsav, tömény hidrogén-peroxid stb.) oxidálják. Hasonlóképpen oxidálódnak a levegő oxigénjének hatására. A folyamatot UV-fény vagy magasabb hőmérséklet gyorsítja. A reakció peroxidképződés, amely a lánc hibahelyein keletkezett szabad gyök és a levegő oxigénje között játszódik le. A peroxidok bomlását a változó vegyértékű fémek elősegítik (redox iniciálás). Ezért fontos, hogy a katalizátorokat minél jobban eltávolítsuk a polimerből.

A degradáció során tehát a molekulatömeg egyrészt csökkenhet, másrészt növekedhet is (makrogyökök rekombinációja). A reakció kezdeti szakaszában a tulajdonságok romlanak (lánc-tördelődés), majd egyre ridegebbé, oldhatatlanná válik a polimer (térhálósodás). A térhálósodási reakciót kiválthatjuk akaratlagosan is – térhálós polietilén (XPE). A reakciót röntgen-,  $\gamma$ -sugárzás, gyorsított elektronokkal vagy peroxidok alkalmazásával váltják ki. Az XPE jobb hőállósággal rendelkezik, és mechanikai tulajdonságait magasabb hőmérsékleten is megtartja.

A következő felvételek néhány tipikus (polietilén) alkalmazást mutatnak be:





### Tevékenység:

Olvassa el a történeti áttekintést! Gyűjtse ki a polipropilén előállításának a történetét!

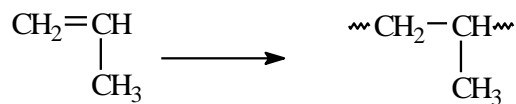
### Polipropilén (PP)

A polipropilént először Natta állította elő 1954-ben speciális katalizátor alkalmazásával. A kereskedelmi termék 1957-ben jelent meg (Montecatini), és azóta az egyik legfontosabb műanyaggá vált. Az izotaktikus polipropilént (iPP) a csomagolástechnikában, szálgyártásban, műszaki cikkek előállításában használjuk.

### Tevékenység:

Jegyezze meg a reakciót! Gyűjtse ki/tanulja meg a polipropilén jellemzőit, alkalmazási területeit!

#### A polipropilén előállítása



#### A polipropilén tulajdonságai

A polipropilén tulajdonságai hasonlóak a nagysűrűségű polietilénéhez. Magasabb az olvadáspontja, és ennek megfelelően magasabb a hőalaktartóság (HDT) hőmérséklete is. Ütésállósága, különösen alacsony hőmérsékleten rosszabb, mint a polietiléné. A harmadrendű szénatomok miatt az iPP oxidációra érzékeny, ezért antioxidáns adalékokat kell használni. Ellentétben a polietilénnel a bomlási folyamat elsősorban lánc-tördelődés, nem pedig térhálósodás. Szénhidrogénekben és halogénezett oldószerekben csak magasabb hőmérsékleten (80 °C felett) oldódik.

Tulajdonság	iPP
Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	0,9
Olvadáspont (°C)	172
Szakítószilárdság (MPa)	28
Szakadási nyúlás (%)	200
Keménység (Shore D)	75

2.2. táblázat. Az iPP jellemző tulajdonságai.

#### Propilén kopolimerek

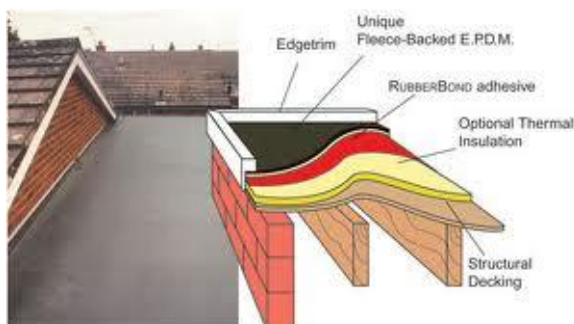
Két alapvető fajtája van a propilén kopolimereknek: blokk és random.

A kis etiléntartalmú random kopolimerek olvadáspontja és üvegesedési hőmérséklete alacsonyabb, mint a homopolimeré. A kristályossági fok kisebb, és ezért átlátszó termékek is készíthetők belőle.

Nagyobb etiléntartalmú kopolimerek gumyszerű anyagok (EPR), amelyeket oldható Ziegler-katalizátorokkal készítenek. A termék amorf szerkezetű. A térhálósítást peroxidokkal végezzük. Fontos propilén kopolimer az EPDM, amelyben az etilén mellett egy harmadik, nem konjugált kettős kötést tartalmazó komonomert is használunk a reakcióban (terpolimer).

Ezek a terpolimerek (EPDM) hagyományos módszerrel (kén) térhálósíthatók. Mind az EPR, mind pedig az EPDM nagyon jó időjárás-állósággal rendelkezik, azonban a tapadóképessége nagyon gyenge. Elsősorban a gépjárműiparban használják (pl. ablaktörlő gumi). Az EPR és iPP keverékei termoplasztikus elasztomerek, amelyekben a polipropilén kristályos fázisa adja a merev szegmenst.

Néhány tipikus polipropilén és EPDM alkalmazást a következő felvételek mutatnak be.



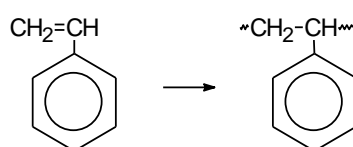
### Tevékenység:

Olvassa el a történeti áttekintést! Gyűjtse ki a polisztirol előállításának a történetét! Jegyezze meg a reakciót!

### Polisztirol (PS)

A polisztirol (PS) az 1930-as években jelent meg a kereskedelmi forgalomban (I. G. Farben, Németország és Dow, USA). A második világháborút követően egyre nagyobb szerepet kapott, és napjainkban is az egyik legnagyobb mennyiségben előállított és felhasznált műanyag. Fő felhasználási területe a szigetelőhab, háztartási eszközök, készülékházak stb.

A polisztirol előállítása



A polimerizáció négy különböző technológiával történhet: tömb, oldószeres, szuszpenziós és emulziós. A tiszta (kristály) PS amorf, átlátszó anyag. A lágyulási hőmérséklete (üvegesedési hőmérséklet) 100° C körül van. Szobahőmérsékleten rideg, és belső feszültség hatására rövid idő alatt mikrorepedezés jelenik

meg benne. Kémiai ellenálló képessége nem túl jó, mert a legtöbb szerves oldószerben jól oldódik. Rövid idejű mechanikai tulajdonságai jók, de feszültségkorrózióra érzékeny. A mechanikai tulajdonságok kopolimerizációval javíthatók. A legfontosabb komonomerek: butadién (IPS, HIPS), akrilnitril (SAN), illetve a kettő együtt (ABS). Néhány jellemző tulajdonságot az 2.3. táblázatban foglaltunk össze.

### Tevékenység:

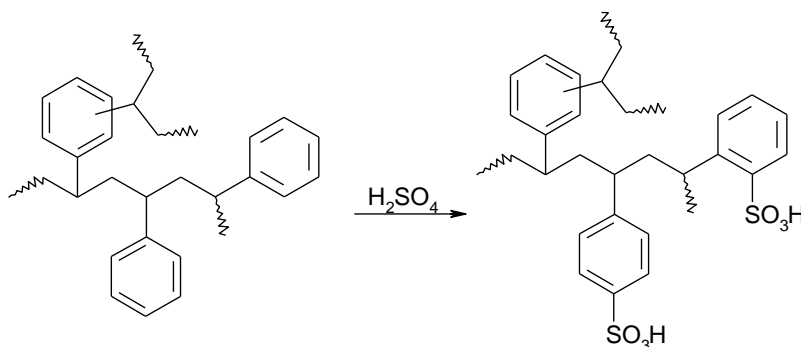
Tanulmányozza a táblázatot! Hasonlítsa össze a polisztirol és kopolimerjeinek jellemzőit! Keressen az interneten és környezetében polisztrirolból készült tárgyakat!

Tulajdonság	PS	IPS	HIPS	SAN	ABS
Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	1,04	1,04	1,05	1,08	1,04
Vicat lágyuláspont (°C)	100	100	100	110	105
Folyáshatár (MPa)	42	31	18	69	40
Szakadási nyúlás (%)	2	25	60	2,5	25
Izod ütésállóság (J/m)	19	64	110	27	270

2.3. táblázat. A polisztirol és kopolimerjeinek néhány jellemzője

A PS UV-fény hatására elszíneződik. A sárgulás alapvető oka az, hogy a fényenergia hatására a molekula könnyen reagál oxigénnel, és különböző kémiai csoportok keletkeznek. Az elszíneződés ellen UV-stabilizátorok adagolásával védekezhetünk.

A térhálós polisztirol (kopolimerizáció divinil-benzollal) fontos alapanyaga az ioncserélő gyantáknak. A térhálós gyöngyöt koncentrált kénsavval kezelve kation-, klórmetilézést követő aminolízissel pedig anioncserélő gyantát kapunk.



A kopolimerek közül a SAN és az ABS a legfontosabb. A SAN 20-30% akrilnitrilt tartalmaz. Az előállítás a homopolimerhez hasonlóan tömb- vagy szuszpenziós polimerizációval történik. A polimer amorf, átlátszó anyag. A PS-hez képest magasabb az üvegesedési hőmérséklete, és jobbak a mechanikai jellemzői. Az akrilnitril poláris jellege miatt jobban ellenáll szerves oldószereknek. Hűtőgépek elemeit, kazettatartókat állítanak elő belőle.

Az ABS nem valódi terpolimer; sokkal inkább polimer keveréknek tekinthető. Két alapvető előállítási technológiát használunk a gyártásra: keverékkészítés és ojtás. Az utóbbi technológiával előállított anyag tulajdonságai jobbak, ezért ez a módszer az elterjedtebb.



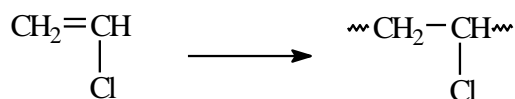
### Tevékenység:

Olvassa el a történeti áttekintést! Gyűjtse ki a poli(vinil-klorid) előállításának a történetét! Jegyezze meg a reakciót!

## Poli(vinil-klorid) (PVC)

Bár a poli(vinil-klorid) (PVC) már 1872 óta ismert, kereskedelmi fontossága 1930-ban kezdődött. Ebben az évben fedezte fel Goodrich, hogy magas forráspontú poláris szerves anyagokkal feldolgozható a PVC. Néhány évvel korábban (1928) vinil-klorid és vinil-acetát kopolimereket állítottak elő, amelyeknek termikus stabilitása nagyobb, mint a tiszta PVC-é. Különböző fajtájú PVC-típusok vannak: kemény, lágy, ütésálló PVC. Ezt az anyagot gyakorlatilag mindenhol megtaláljuk: csomagolóanyag, kábelszigetelés, gyermekjáték stb.

A PVC előállítás



Három alapvető technológiával állítják elő a PVC-t: tömb, szuszpenziós és emulziós reakció. Ezek közül a legfontosabb a szuszpenziós technológia. A termék kb. 0,1 mm-es agglomerátum.

A PVC tulajdonságai

A PVC amorf anyag. A kereskedelmi típusok átlagos molekulatömege 40 000-80 000, amelyet általában K értékkel (viszkózitási érték) jellemeznek. Néhány jellemző tulajdonságot az 2.4. táblázatban foglaltunk össze.

### Tevékenység:

Tanulmányozza a táblázatot! Hasonlítsa össze PVC-k jellemzőit! Keressen az interneten és környezetében PVC-ből készült tárgyakat!

Tulajdonság	PVC	Lágyított	P(VC-VAc)
Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	1,4	1,3	1,35
Vicat lágyuláspont (°C)	80	hajlékony	70
Szakítószilárdság (MPa)	59	19	48
Szakadási nyúlás (%)	5	300	5

2.4. táblázat. Néhány PVC jellemző tulajdonsága

A PVC poláris szerkezetű, ezért poláris oldószerekben oldódik (ketonok, tetrahydrofuran, dioxán stb.). Lágyítószer az az oldószerek, amelyek nagyon kis illékonyással rendelkeznek (magas forráspont). A PVC rendkívül jó kémiai ellenállással rendelkezik; ellenáll savas és lúgos vizes oldatoknak.

A tiszta PVC nagyon rossz termikus és fénystabilitással rendelkezik. Már 70 °C-on, vagy UV-fény hatására elkezdődik a bomlás. A vinil-klorid néhány kopolimerje is létezik (VAc, AN, Et, VDCM), azonban ezek gyakorlati szerepe sokkal kisebb, mint a PVC-é.



## 2.2. Műszaki műanyagok

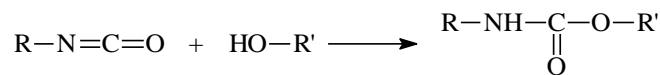
### Tevékenység:

Olvassa el a történeti áttekintést! Gyűjtse ki a poliuretánok előállításának a történetét! Jegyezze meg a reakciókat!

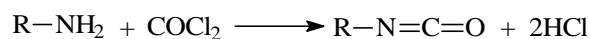
### Poliuretánok (PUR)

Poliuretánoknak (PUR) azokat az anyagokat nevezzük, amelyek fő láncukban uretáncsoportot (-NH-CO-O-) tartalmaznak. A gyakorlatban fontos polimerekben az uretáncsoport mellett éter-, észter-, karbamid-, amidcsoportokat is találunk. Sokféle területen alkalmazzuk a poliuretánokat: hőszigetelő habok, műbőrök, műszaki cikkek stb. A poliuretánok kifejlesztése 1937-ben történt (O. Bayer). Gyakorlati jelentőségük azonban csak az 50-es évektől van. A Bayer cég 1950-ben az elasztomerekkel, 1952-ben pedig a flexibilis habokkal jelentkezett. A kereskedelmi felhasználás 1952-54-ben indult meg poliészter bázisú polioloikkal. 1957-ben, Amerikában fejlesztették ki a poliéter bázisú poliuretánokat. Legnagyobb felhasználása lágy (kb. 50%) és kemény (25%) habként történik. A maradék mennyiség kerül elasztomerként, ragasztóanyagként, festékalapanyagként alkalmazásra.

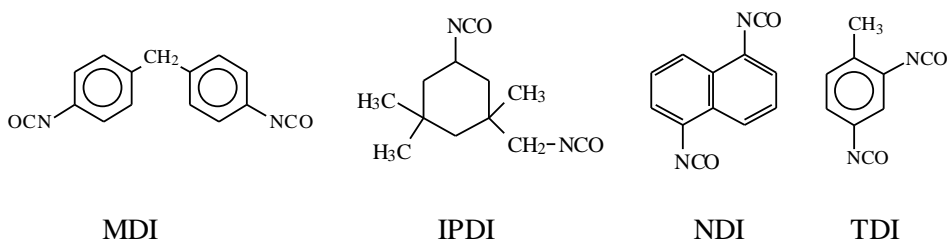
Az uretáncsoport izocianátok és alkoholok addíciós reakciójából képződik:



Ipari méretekben izocianátok előállítására a primer aminok foszgénezését használjuk:



A legfontosabb izocianát monomerek: toluilidén-diizocianát (TDI), 4,4'-diizocianáto-difenil-metán (MDI).



## Tevékenység:

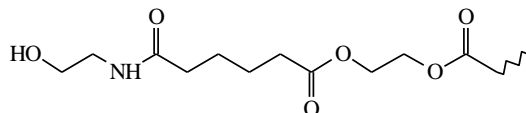
Gyűjtse ki/tanulja meg a poliuretánok jellemzőit, alkalmazási területeit!

Kereskedelmi forgalomban tiszta 2,4-TDI, 80:20 és 65-35 TDI (2,4-:2,6-) szerezhető be. A diizocianát elegy 5-15 °C tartományban olvad, azaz szobahőmérsékleten folyadék.

A tiszta 4,4'-MDI 37-38 °C-on olvadó kristályos anyag, míg a keverék folyadék. Az előbbi elasztomerek, az utóbbit elsősorban merev habok gyártására használjuk. Előnye a TDI-vel szemben, hogy a kisebb göznyomása miatt kevésbé mérgező. Az NDI 128 °C-os olvadásponttal rendelkező anyag, amelyet elasztomerek gyártásához használunk fel. Az IPDI kis illékonyosságú folyadék, amelyet elsősorban bevonatokhoz alkalmazunk.

A poliészter bázisú diolok, poliolkok tipikus lépcsős polimerizációval állíthatók elő diolfelesleggel. A mólarányt oly módon állítjuk be, hogy a termék molekulatömege 1000-2000 legyen (0,1–0,3 mol diolfelesleg). A disav komponens adipinsav vagy szebacinsav, diolként etilén-, dietién-, propilén-glikolt, glicerint, trimetilol-propánt alkalmazunk.

Hidroxil végcsoportos poliészter-amidokat is használunk diol komponensként, elsősorban ragasztóanyagok előállítására.



## Tevékenység:

Gyűjtse ki/tanulja meg a különféle habok jellemzőit!

### *Flexibilis habok*

A poliuretán lágy habok enyhén térhálós termékek, amelyek előállításuk során a fejlődő szén-dioxiddal képződnek. Két kompetitív reakció játszódik le:

diizocianát reakciója poliollal → poliuretán,

diizocianát reakciója vízzel → szén-dioxid.

A két reakciónak természetesen összhangban kell lennie a megfelelő minőségű termék előállításához. A reakciót egyrészt a hőmérséklettel, másrészt a komponensekkel befolyásolhatjuk. Ipari gyakorlatban elsősorban a katalizátort használják a reakció kontrollálására.

A lágy habok gyártásához TDI-t és elsősorban poliéter poliolkokat használunk.

### *Merev habok*

A kemény habok előállítási reakciója alapvetően megegyezik a lágy habokéval, csak a poliolk komponens molekulatömege kisebb. A habosítást általában alacsony forráspontú anyaggal végezzük, így fémsó katalizátort nem szükséges használni.

### *Integrált habok*

Alacsony forráspontú oldószerekkel habosított termékek, amelyekben a habszerkezet helyfüggő. A poliuretánképződés során a hideg szerszámfalón a habosító anyag nem párolog el, így tömör héj alakul ki. A termék belseje felé haladva a cellaméret egyre nagyobb. Elsősorban nagyméretű testek előállítására használjuk (gépjárműütköző, bútor stb).

### *Elasztomerek*

A **poliuretán elasztomerek** gyártása során két alapvető reakciót használunk. Az egyik esetben nagy izocianát felesleggel állítunk elő prepolimert, amelynek a molekulatömegét glikollal növeljük. A feldolgozás ebben az esetben öntéssel történik.



A másik eljárás kivitelezésében hasonlít a gumigyártáshoz. Ebben az esetben hidroxil végcsoportos polimereket állítunk elő, amelyek fizikai tulajdonságaikban nagyon hasonlítanak a kaucsukokhoz. Térhálósításra izocianátok használhatók.

Lineáris, bifunkciós monomerek használata esetén a termék hőre lágyuló anyag, amelyben nincsenek keresztkötések. Ezeket az anyagokat termoplasztikus elasztomernek hívjuk. A poliuretán bázisú termoplasztikus elasztomerek szálasanyaggá is feldolgozhatók (hidrazin lánchosszabbító).

### **Tevékenység:**

Gyűjtse ki/tanulja meg a poliuretánok mint felületbevonó anyagok és ragasztók jellemzőit!

#### *Felületbevonó anyagok*

A felületbevonó anyagok két típusát különböztetjük meg, az egy- és a kétkomponensű rendszerek. Az egykomponensű rendszereken belül levegőn száradó, nedvességre keményedő és beégetős anyagokat ismerünk. A levegőn száradó poliuretán bevonatok (uretánolajok) telítetlen kötést tartalmazó rendszerek, amelyek a levegő oxigénjének hatására polimerizálódnak (térhálósodás). Kémiai szerkezete nagyon hasonló az alkidgyantákéhoz, csak az észter- helyett uretánkötés van bennük (ftálsavanhidrid helyett diizocianát a kiindulási monomer). A térhálósodási reakció gyors, ezért gyorsan száradó bevonatokhoz használjuk.

A nedvességre térhálósodó bevonóanyagok izocianát végcsoportos prepolimerek, amelyekben a levegő nedvességének hatására primer aminok alakulnak ki. A felszabaduló szén-dioxid kidiffundál a polimer filmből (rétegvastagság!). A keresztkötések az aminok és izocianátok reakciója hozza létre (karbamidszerkezet). A keletkező film nagy felületi keménységű és kiváló vegyszerállóságú bevonat (parkettalakk).

A beégetős lakkok polioloak, és blokkolt izocianátokból állíthatók elő. Magasabb hőmérsékleten az izocianátcsoport felszabadul, és reakcióba tud lépni a poliollal.

A kétkomponensű rendszerekkel szemben elsődleges követelmény, hogy a komponensek kis illékonyságúak legyenek. Ez elsősorban az izocianátoknál nagyon fontos, mivel ezek az anyagok egészségre ártalmasak. Az illékonyság csökkentését vagy izocianát végcsoportos prepolimerek (műbőrök) vagy izocianátszármazékok (festékek) alkalmazásával érhetjük el.

#### *Ragasztók*

A poliuretánok nagy reakciókészségük és poláris jellegük miatt jól használhatók **ragasztóanyagként**. A ragasztandó tárgy és az igénybevétel együttesen határozzák meg az alkalmazandó rendszert (kétkomponensű, oldat, egykomponensű). Valószínűleg a felületi nedvességgel történő reakció a magyarázata a ragasztott kötések nagy szilárdságának.



**Tevékenység:**

Olvassa el a történeti áttekintést! Gyűjtse ki a hőre lágyuló poliészterek előállításának a történetét!

**Hőre lágyuló poliészterek**

Poliésztereknek azokat az anyagokat nevezzük, amelyek főláncukban észtercsoportot (-COO-) tartalmaznak. A hőre lágyuló típusok közül két anyagnak van ipari jelentősége: poli(etilén-tereftalát) (PET), poli(butilén-tereftalát) (PBT). PET-ot először 1941-ben állították elő, és az ipari termelés 1953-ban indult meg (DuPont, ICI). Kezdetben majdnem kizárólag csak textilipari szálakat készítettek belőle, de manapság a legnagyobb felhasználási terület az üreges testek gyártása. A PBT viszonylag új anyag, amelyet elsősorban az elektronikai iparban használnak fel méretpontos alkatrészek gyártására.

**Tevékenység:**

Gyűjtse ki/tanulja meg a hőre lágyuló poliészterek jelölését, jellemzőit, alkalmazási területeit!

*Tulajdonságok*

A PET és a PBT jó mechanikai tulajdonságokkal és kémiai ellenálló képességgel rendelkezik. A PET-láncban található gyűrűk miatt az üvegesedési hőmérséklet 90 °C körül van, és a molekuláris mobilitás is kicsi. Ez az oka annak, hogy ebből az anyagból könnyen lehet amorf szerkezetet kialakítani (nagy túlhűthetőség). Ezt használjuk ki a különböző méretű palackok gyártása során. A PBT-ben hosszabb alifás lánc van, ezért ennek az anyagnak alacsonyabb az üvegesedési hőmérséklete és gyorsan kristályosodik, ezért ebből fröccsöntéssel készíthetünk műszaki alkatrészeket. A legfontosabb jellemzőket a 2.5. táblázatban foglaltuk össze.

**Tevékenység:**

Tanulmányozza a táblázatot! Hasonlítsa össze a PET és a PBT jellemzőit! Keressen az interneten és környezetében PET-ből és PBT-ből készült tárgyakat!

Tulajdonság	PET	PBT
Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	1,3	1,3
Üvegesedési hőmérséklet (°C)	95	60
Olvadáspont (°C)	255	225
Rugalmassági modulusz (GPa)	2,47–3	2,55
Nyakképződési feszültség (MPa)	50–57	56
Nyakképződési deformáció (%)	3-4	5

2.5. táblázat. A PET és PBT néhány jellemző tulajdonsága

*Térhálós poliészterek*

Térhálós poliésztereknek azokat az anyagokat nevezzük, amelyek fő láncukban észtercsoportot (-CO-O-) tartalmaznak, és megfelelő funkciós csoportokon keresztül keresztkötések kialakítására van bennük lehetőség. A gyakorlatban fontos polimerek alapvetően telített vagy telítetlen szerkezetűek lehetnek. Térhálós szerkezetű poliésztergyantát már 1901-ben előállítottak ftálsavanhidridből és glicerinből, de kereskedelmi fontosságú anyag 1916 körül vált belőle, amikor a General Electric Co. módosított változatát ragasztóanyagként használta elektromos alkatrészekben. Jelentős áttörés 1933-ban történt, amikor száradóolajokkal módosították. Az így nyert anyagok levegőn viszonylag gyorsan térhálósodtak és flexibilis, tartós filmet képeztek. Ezeket az anyagokat felületvédelemben használták és használják mai is (alkidgyanták). A telítetlen poliésztergyanták 1946 óta kereskedelmi termékek. Az első anyagok etilén-glikolból és maleinsavanhidridből készültek, amelyek térhálósítása sztirollal történt. Üvegszál-erősítésű szerkezetek 1949 óta elérhetők, kezdetben tömb (BMC), az 1960-as évek vége óta pedig sík lemezes (SMC) formában.

#### Alkidgyanták

Az alkidgyanták legfontosabb alapanyagai a poliolo- és a kétbázisú karbonsavak, illetve ezek anhidridjei. Módosításra különböző száradóolajokat vagy savakat használunk.

A nem száradó alkidgyanták önmagukban nem térhálósodó rendszerek, és elsősorban aminogyanta és cellulóz-nitrát adalékként (lágyító) használatosak. A telítetlen zsírsavat tartalmazó anyagok jó filmképző tulajdonságúak és a levegő oxigénjének jelenlétében térhálós terméket adnak. A térhálósodási reakció peroxidok képződésén keresztül megy gyökös mechanizmussal.



#### Telítetlen poliészterek

Telítetlen poliészterek a főláncban, az észterkötés mellett kettős kötést tartalmazó anyagok. Legfontosabb diol komponens a propilén-, és az etilén-glikol. Telítetlen savkomponensként maleinsavanhidridet, esetleg fumársavat használunk. A termék tulajdonságainak módosítására egyéb savakat is használunk az előállításban.

A térhálósított poliészterek merev, oldhatatlan és ömleszthetetlen anyagok, amelyek az esetek döntő többségében üvegszál-erősítéssel kerülnek felhasználásra. A tulajdonságok nagymértékben függenek a kémiai összetételtől. Általában 150 °C-ig használhatók fel. Néhány mechanikai jellemzőt a 2.6. táblázat tartalmaz.

Tulajdonság	Alapgyanta	Vágott üvegszál	BMC	SMC
Töltőanyag (%)		30	30	30
Sűrűség	1,2	1,6	1,8	1,8
Szakítószilárdság (MPa)	62	140	41	83
Hajlítószilárdság (MPa)	120	210	110	190
Nyomószilárdság (MPa)	140	140	140	190
Ütőszilárdság (J/m)	110	1100	370	800

2.6 táblázat. Poliésztergyanták mechanikai tulajdonságai



### Tevékenység:

Gyűjtse ki/tanulja meg az epoxigyanták jellemzőit, alkalmazási területeit!

### Epoxigyanták

Az epoxigyanták olyan térhálós anyagok, amelyekben a keresztkötéseket epoxicsoport reakcióival állítjuk elő. Kémiailag az epoxigyanták poliéternek tekinthetők. Az első epoxigyantákat 1943 körül állították elő (Ciba AG.). Annak ellenére, hogy ezek az anyagok viszonylag drágák, széles körben használjuk fel, elsősorban ragasztóanyagként és különböző nagy igénybevételnek kitett kompozitokban. Elsősorban üveg- és szén-szál-erősítésű szerkezeti elemeket készítenek ezekből az anyagokból. Ma már nagyon sokféle, különböző kémiai szerkezetű epoxigyantát gyártanak, azonban a felhasznált anyagok 80–90%-a difenilol-propán (Bisphenol A) és epiklórhidrin bázisú.

Az epoxigyanták lehetnek folyékony (hidegen keményedő) vagy szilárd (melegen keményedő) halmazállapotúak. A két anyag alapvetően molekulatömegében különbözik egymástól. A hidegen keményedő anyagok kis molekulatömegűek (<1000), ezért szobahőmérsékleten folynak. Viskozitásuk a molekulatömeg és a különböző adalékanyagok függvénye. A melegen keményedő anyagok nagyobb molekulatömeggel készülnek, ezért szobahőmérsékleten szilárd anyagok. Hidegen keményedő gyantáknál  $n=0$  ( $n$  az ismétlődési egységek száma), míg a melegen keményedőknél  $n=1-3$ .

A felhasználás során a gyantákat térhálósítjuk. A reakció exoterm, azaz hőfejlődéssel jár. Nagyon fontos ezért a megfelelő hőelvezetés biztosítása, különösen gyors reakciók esetén. A fejlődő hő olyan nagy lehet, hogy a gyantarendszer felhabosodik, esetleg el is bomlik. A térhálósodási reakciót a hidegen keményedő anyagok esetén különböző aminokkal (dietilén-triamin, poliamin stb.), míg a melegen keményedőknél elsősorban savanhidridekkel végezzük.

A gyanták jellemzésére az **epoxi ekvivalenst** használjuk. Ez a szám megmutatja, hogy egy epoxicsoport hány gramm gyantában van. Ez a szám egyben a gyanta molekulatömegére is információt ad, hiszen egy molekulában két epoxicsoport található. A gyakorlatban elterjedt még az epoxiszám is, ami 100 gramm gyantában található epoxicsoportok mennyiségét mutatja meg. Ezek segítségével kiszámítható a szükséges térhálósító szer mennyisége.

Az epoxigyanták felhasználási területe rendkívül változatos, és csak néhány fontosabbat emelünk ki. Elterjedten használják üveg-, szén- vagy fémszál-erősítésű szerkezeti anyagként. Előnyös adhezív tulajdonsága miatt kiváló ragasztóanyag. A mechanikai szilárdsága alkalmassá teszi arra, hogy

szerszámgyantaként alkalmazzuk. A kiváló kémiai ellenálló képessége miatt festékek és lakkok is készülnek belőle.



### Tevékenység:

Gyűjtse ki/tanulja meg alifás és aromás poliamidok jellemzőit, alkalmazási területeit!

### Alifás és aromás poliamidok

Az első szintetikus poliamidot az 1900-as évek elején szintetizálta Emil Fischer, azonban gyakorlati alkalmazása csak az 1930-as években kezdődött, amikor Carothers hexametilén-diamin és adipinsav reakciójával előállította az első teljesen szintetikus műszálát. A harmincas évek végétől kezdődően egyre szélesebb körben kerül felhasználásra. Kezdetben kizárólag csak műszál készült belőle, azonban a kiváló mechanikai tulajdonságai műszaki cikkek gyártására is alkalmassá tették. Napjainkban a legkülönbözőbb területeken alkalmazzuk ezeket az anyagokat, mint például csomagolófólia, műszál, fogaskerekek, gépjárműalkatrészek stb.

Legnagyobb mennyiségben a PA-6,6 és a PA-6 kerül felhasználásra, azonban a kereskedelemben egyre nagyobb számban jelennek meg a különböző egyéb típusok is.

Ezzel a technológiával viszonylag nagy tömböket lehet előállítani, amelyekből a kívánt alkatrészt, terméket mechanikai megmunkálással alakíthatjuk ki.

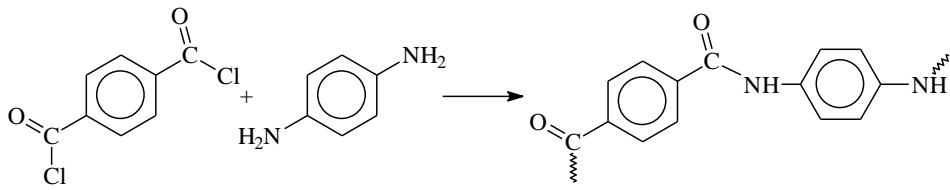
A poliamidok tulajdonságai közül ki kell emelni a nedvességfelvételt. Ennek két szempontból is nagy jelentősége van: egyrészt a méretváltozás, másrészt a mechanikai szilárdság nagymértékben függ a polimer nedvességtartalmától. A jelenség alapvető magyarázata az, hogy a víz lágyítószerként viselkedik, és így duzzasztja a poliamidokat. A felvett nedvességtartalomtól függően alakul a termék mérete és ütésállósága. A vízfelvétel mértéke függ a kémiai szerkezettől. A szénlánc hosszának növelésével csökken a polimer polaritása és ezért kevesebb vizet lesz képes abszorbeálni. Ugyancsak csökken a mechanikai szilárdság, valamint az olvadáspont is. Mindez egyszerűen értelmezhető a hidrogénhidás kötések sűrűségének csökkenésével, hiszen ezek egyértelműen meghatározzák az olvadáspontot, illetve a mechanikai szilárdságot. Néhány poliamid jellemző tulajdonságait a 2.7. táblázatban foglaltuk össze.

Jellemző	PA-6	PA-66	PA-11	PA-12	PA-612
Olvadáspont (°C)	215	260	190	180	204
Szakítószilárdság (MPa)	80-90	90-100	50-60	40-50	50-60
Young-modulusz (GPa)	2,4	2,8	1,3	1,1	1,7
Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	1,13	1,14	1,05	1,02	1,08
Vízfelvétel (%)	2	1,2	0,3	0,25	1

2.7. táblázat. Néhány poliamid típus jellemző tulajdonságai

A poliamidok legfontosabb felhasználása a különböző műszaki cikkek gyártása. A kiváló mechanikai tulajdonságai alkalmassá teszik arra, hogy erőátviteli elemeket (pl. fogaskerekek), gépjármű-alkatrészeket (pl. üzemanyag-vezeték) és egyéb alkatrészek készüljenek belőlük. A csomagolástechnikában fóliaként kerül felhasználásra, elsősorban többrétegű rendszerek szilárdságbiztosító rétegeként. A poliamidok nagy részét még ma is szálanyagként használjuk, elsősorban műszaki textíliák gyártásához.

A magasabb alkalmazási hőmérséklet és a nagyobb mechanikai szilárdság elérése céljából az aromás poliamidokat fejlesztették ki. Ezek az anyagok (Kevlar, Nomex) aromás diaminokból és aromás savkloridból készülnek.



A reakciót határfelületi polimerizációval végzik. Az aromás poliamidok 300 °C feletti olvadásponttal rendelkeznek. Az aromás szerkezet miatt a láncok erősebben orientáltak, ezért a mechanikai szilárdságuk is sokkal nagyobb, mint az alifás poliamidoké. Ezeket az anyagokat elsősorban erősített rendszerek (kompozitok) előállítására használjuk fel (pl. golyóálló mellény).



## Egyéb műszaki műanyagok

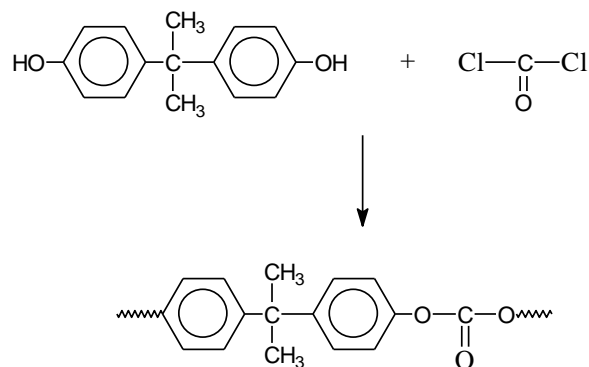
Az elmúlt évtizedekben a technika fejlődése számos műszaki műanyag kifejlesztését kívánta meg. Ezeket általában valamilyen speciális célra fejlesztették ki, majd a későbbiekben szélesebb körben is alkalmazásra kerültek. A jegyzet terjedelme nem engedi meg, hogy akár csak felsoroljuk ezeket az anyagokat. Ebben a fejezetben csupán néhányat említünk meg, amelyekkel a gyakorlatban is találkozhatunk.

### Tevékenység:

Gyűjtse ki/tanulja meg a polikarbonát jellemzőit, alkalmazási területeit!

### Polikarbonát (PC)

A polikarbonátot difenilol-propánból és foszgénből lehet előállítani:



A PC 120-130 °C-ig használható, jó optikai tulajdonsággal és kiváló mechanikai tulajdonságokkal rendelkező polimer. Néhány jellemző tulajdonságát a 2.8. táblázatban foglaltuk össze. A PMMA-hoz hasonlóan az infravörös hullámokat elnyeli, míg a látható tartományban közel 90%-os az áteresztőképessége. Ennek megfelelően üvegházakhoz kiválóan felhasználható. A feldolgozási

körülmények között könnyen hidrolizál, de 100 °C alatti tartományban ellenáll vizes oldatoknak. Halogénezett szénhidrogénekre érzékeny, ezekkel ragasztható is. Fő felhasználása: CD-lemezek, üvegek, üreges testek, műszaki cikkek. A mechanikai szilárdság tovább javítható üveg- vagy szénzál bekeverésével.

A PC-ot sok keverékben is felhasználják. Ezek közül kiemelkedik a PC/ABS, amely kedvezőbb árú, nagyon jó tulajdonságú anyag.

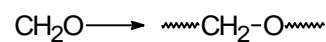


### **Tevékenység:**

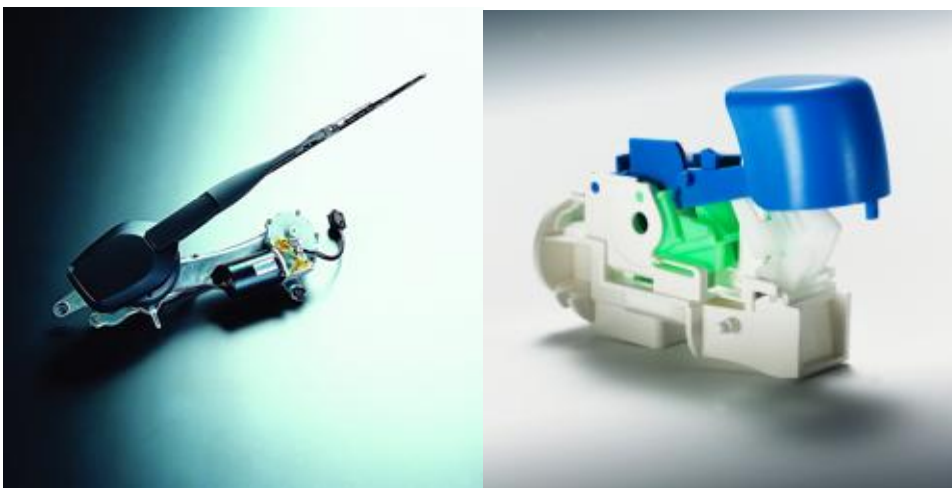
Gyűjtse ki/tanulja meg a POM jellemzőit, alkalmazási területeit!

### **Poli(oxi-metilén) (POM)**

A POM-t formaldehid polimerizációjával állítják elő:



A POM egyike a legelterjedtebben használt műszaki műanyagoknak. Kiváló mechanikai tulajdonságokkal rendelkező kristályos polimer, amelyet nagy méretpontossággal lehet feldolgozni. A tiszta homopolimer termikusan könnyen depolimerizálódik, ezért a gyakorlatban kopolimereket használunk fel. A mérettartás mellett nagyon jó vegyszerállósággal és csúszási tulajdonságokkal is rendelkezik. Csapágyak készítéséhez csúszásjavító anyagokat kevernek bele, mint például PTFE, PE, grafit stb. A mechanikai szilárdság és a dimenzionális stabilitás további javulását lehet elérni üveg- vagy szénzál bekeverésével. Néhány jellemző tulajdonságot a 2.8. táblázatban foglaltunk össze.

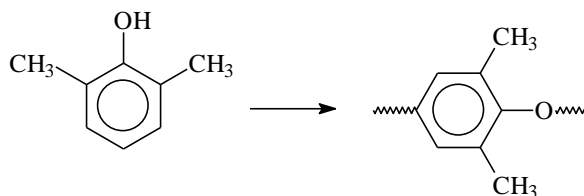


### **Tevékenység:**

Gyűjtse ki/tanulja meg a PPO jellemzőit, alkalmazási területeit!

### **Poli(fenilén-oxid) (PPO)**

A PPO 2,6-dimetil-fenolból állítható elő:



A tiszta polimer bomlás nélkül nem ömleszthető meg, ezért a gyakorlatban keverék formájában használjuk. A leggyakoribb komponens a polisztirol, amellyel homogén keveréket képez. A keverékek nagyon jó méretstabilitással, ütésállósággal és mechanikai szilárdsággal rendelkeznek. Elsősorban műszaki és közszükségleti cikkek gyártására használjuk fel.

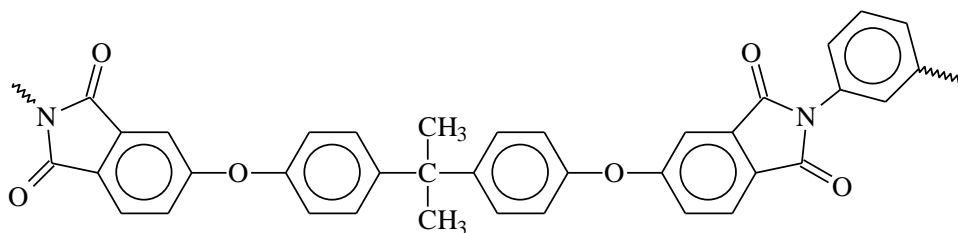


### Tevékenység:

Gyűjtse ki/tanulja meg a PI jellemzőit, alkalmazási területeit!

### Poliimidek (PI)

A poliimidek a hőálló polimerek legtipikusabb képviselői. Mechanikai szilárdságukat magas hőmérsékleten is megőrzik, kémiai szerkezetüktől függően az alkalmazhatósági hőmérséklet meghaladhatja a 300 °C-ot is. Legismertebb képviselője a poliéterimid (PEI), amely fröccsöntéssel is feldolgozható:



Ezek az anyagok kiváló vegyszerállósággal, sugárzásállósággal is rendelkeznek, ezért a repülőgépipar nagy mennyiségben használja fel. Néhány jellemző tulajdonságot a 2.8. táblázatban foglaltunk össze.



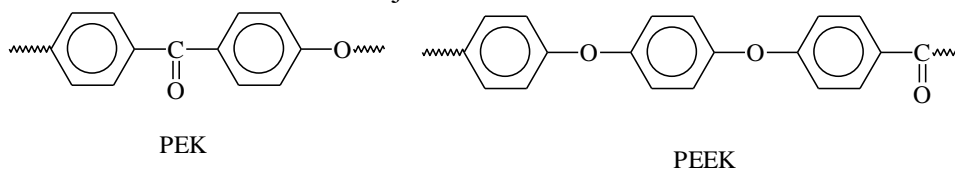


**Tevékenység:**

Gyűjtse ki/tanulja meg a PEK és PEEK jellemzőit, alkalmazási területeit!

**Poli(éter-ke-tonok) (PEK, PEEK)**

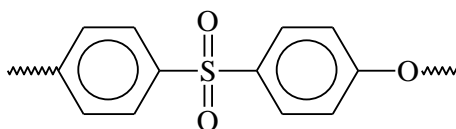
A PEK és PEEK anyagok kiváló mechanikai szilárdsággal és mérettartással rendelkeznek. Szilárdságuk gyakorlatilag nem változik 120 °C-ig. Nagyon jól ellenáll a ciklikus terhelésnek. Elsősorban a repülőgépipar és a mikroelektronika használja.

**Tevékenység:**

Gyűjtse ki/tanulja meg a PSU jellemzőit, alkalmazási területeit!

**Poliszulfon (PSU)**

A PSU amorf polimer, amely közel 200 °C-ig használható. Mérettartása, átlátszósága, jó mechanikai és elektromos tulajdonságai miatt elterjedten használják az elektronikai alkatrészek, orvosi berendezések, mikrohullámú edények stb. gyártására.

**Tevékenység:**

Hasonlítsa össze a műszaki műanyag tulajdonságait!

	PC	POM	PPO	PI	PEEK	PSU
Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	1,2	1,4		1,2	1,3-1,4	1,4
E (GPa)	2,5	3,5	2,5	2-3	4,5	3-8
$\sigma_{sz}$ (MPa)	60	70	50-60	100	110	83-100
T <sub>g</sub> / T <sub>m</sub> (°C)	150	180		330	340	180-190
HDT (°C)	130	125	100		180	160-170

HDT – hőalakítási hőmérséklet

2.8. táblázat. Néhány műszaki műanyag jellemző tulajdonsága

**Tevékenység:**

Gyűjtse ki/tanulja meg a LCP jellemzőit, alkalmazási területeit!

**Folyadékkristályos polimerek (LCP)**

Ezek az anyagok merev láncú polimerek, amelyek nagy méretpontosság elérését teszik lehetővé. A műanyagiparban elsősorban a termotrop folyadékkristályos rendszereket alkalmazzák. Ezekre az anyagokra az a jellemző, hogy nagy mechanikai szilárdsággal rendelkeznek. A Vectra LCP (Ticona-gyártmány) néhány jellemző tulajdonsága a 2.9. táblázatbanban található meg.

	Vectra 30% szénszál	Fortron 30% üvegszál	Celstran PP 40% hosszú üvegszál	Celstran PA 40% hosszú üvegszál	Topas (COC)
Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	1,5	1,58	1,22	1,45	1,02
Szakítószilárdság (MPa)	175	150	110	170	66

	Vectra 30% szénszál	Fortron 30% üvegszál	Celstran PP 40% hosszú üvegszál	Celstran PA 40% hosszú üvegszál	Topas (COC)
Nyújtó modulusz (GPa)	30	11,7	9,1	10,2	2,6-3,2
Keménység (Rockwell M)	100	100			
Ütőmunka (Charpy, hornyolt) (kJ/m <sup>2</sup> )	6	27	16	30	2,0-2,6
HDT (°C)	240	260	152	255	
Olvadáspont (°C)	280				

2.9. táblázat. Néhány műszaki műanyag (Ticona-gyártmány) jellemző tulajdonságai

