

TEHNOMATERJALID- *ENGINEERING MATERIALS*

MTM 154
6 EAP

Plastid. Termoplastid.

Annika Koitmäe
annikak@tktk.ee

Tallinn, 2012



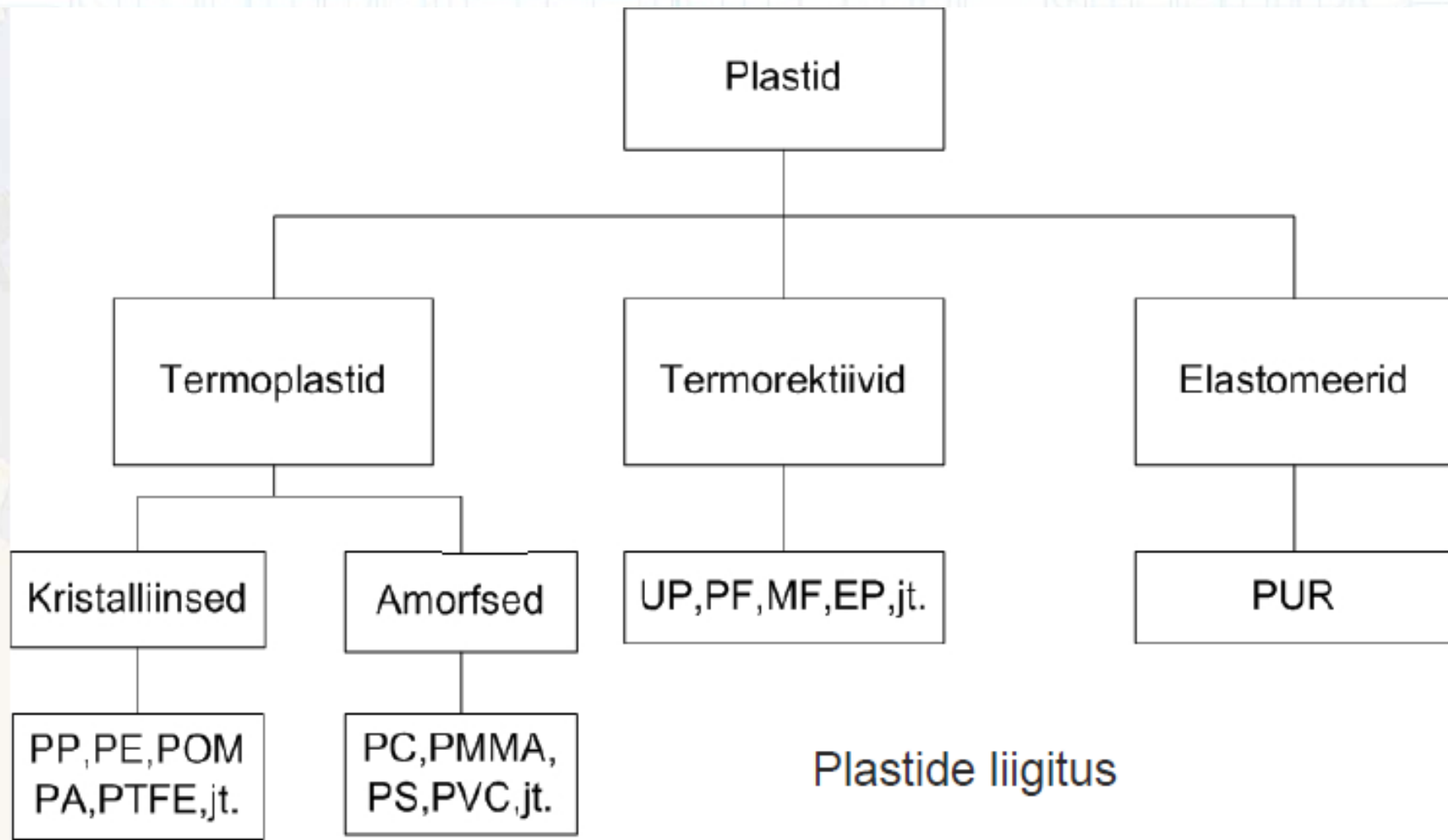
Plastid (*plastics*) (1)

Plastid (*plastics*) ehk plastmassid on sünteetilised materjalid, mis on kas puhtad vaigud (polümeerid) või vaigu ja lisandi sulamid.

Lisandid (*additives*):

- **Täiteaine** (*filler*)- pulbriline, kiuline, teraline või rullmaterjali kujuline. Vajalikud polümeeri kulu vähendamiseks ja plasti omaduste (surve- ja tõmbetugevus, kõvadus, kujukindlus jt.) kujundamiseks. Orgaaniline täiteaine: nt. puidujahu, tselluloos, paber; anorgaaniline: nt. asbest, grafiit, klaaskiud
- **Stabilisaator** (*stabilizer*)- plasti vananemisprotsessi aeglustamiseks.
- **Plastifikaator** (*plasticizer*)- plastsusomaduste ja töödeldavuse parandamiseks. Plastifikaatorid on tavaliselt vedelikud.
- **Värvaine** (*colorant*)- dekoratiivsel eesmärgil
- **Erilisandid**- parandavad mõningaid tarbimisomadusi, nt. soodutavad plasti lagunemist.

Plastid (*plastics*) (2)



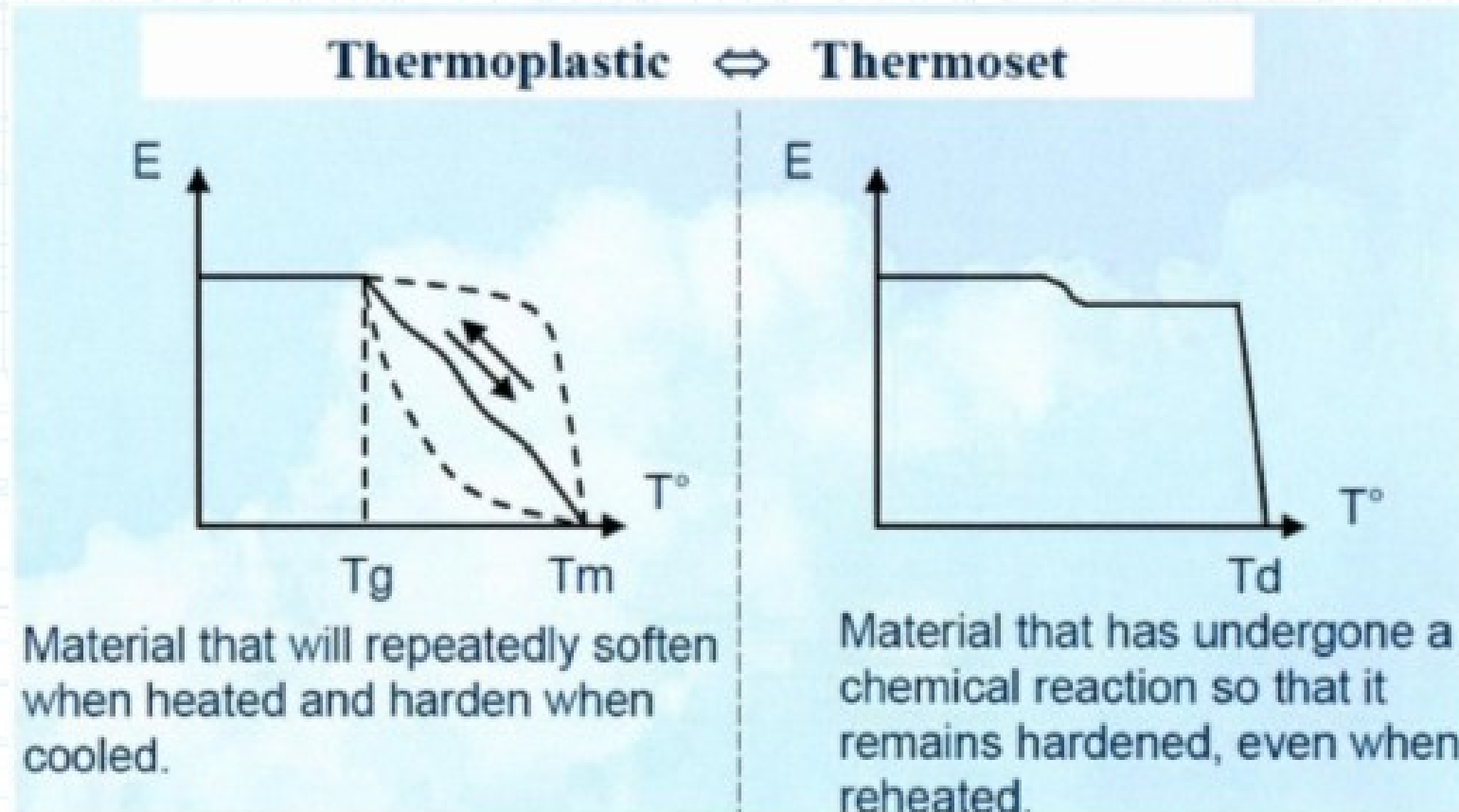
Plastid (*plastics*) (3)

Plastid jaotatakse temperatuurile reageerimise järgi:

- **Termoplastid** (*thermoplastics*)- on polümeerid, mis koosnevad lineaarsest või hargnenud ahelast, mille vahel ei ole keemilisi sidemeid, kuid on füüsikalised sidemed. Muutuvad kuumutamisel voolavaks, jahtudes aga taastavad esialgsed omadused. Kuumutus- ja jahutustsükleid võib piiramatult korrata, ilma et materjali põhiomadused muutuksid. Termoplastid on sageli kristalliinsed, mõned aga ka amorfseid.

- **Termoreaktiivid ehk reaktoplastid** (*thermosetting polymers*)- muutuvad kuumutamisel või kõvendi toimel ruumilise struktuuriga võrestikpolümeerideks, mis ei sula ega lahustu. Kuumutamisel esialgu pehmenevad, kuid edasisel kuumutamisel muutuvad kõvaks. Sellist polümeeri pole enam võimalik pehmeks muuta ega lahustada. Termoreaktiivid on täielikult amorfseid, kristalliite nendes ei leidu.

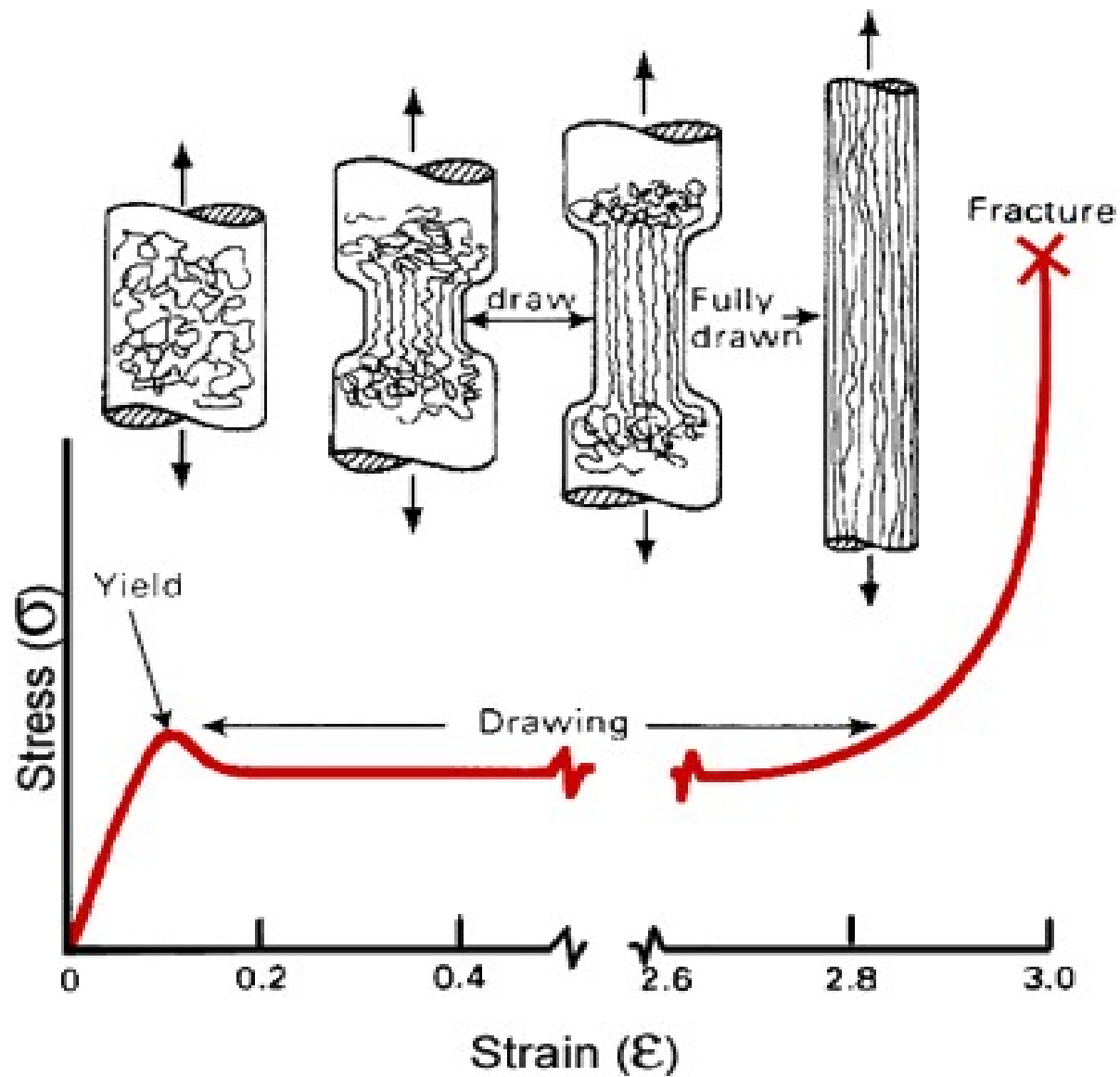
Termoplastid vs termoreaktiivid



Plastid (*plastics*) (4)

Elastomeerid (*elastomers*)- on sarnaselt termoreaktiividega ristsillatud ahelaga, kuid ristsildamise tihedus on tunduvalt väiksem- moodustub hõredalt seotud võrgustikstruktuur. Väliste jõudude toimel saavad makromolekulid või nende osad teatavas osas liikuda, kuid ristsillad takistavad jäävate deformatsioonide tekkimist ja taastavad jõudude eemaldamisel makromolekulide endise asetuse. Elastomeere võib suures ulatuses deformeerida jäävate deformatsioonide tekitamiseta. Nagu termoreaktiividki, ei saa ristsildade tõttu elastomeerid muutuda voolavaks ega sulada. Enamik elastomeere on oma struktuurilt amorfseid.

Plasti tõmbediagramm



Plastid (*plastics*) (5)

Plastid jaotatakse lõppomaduste ja otstarbe järgi:

•**Tarbeplastid**- massiliselt toodetavad, odavad, mehaanilised ja termilised omadused tagasihoidlikud::

- polüetüleen (PE)
- polüpropüleen (PP)
- polüvinüülkloriid (PVC)
- polüstüreen (PS)
- fenoolformaldehüüdvaik (PF) jt.

•**Konstruksiooniplastid**-tavaliselt kallimad ja toodang on väiksem. Kannavad koormusi, väike roome, jäikus/sitkus, temperatuuri- ja ilmastikukindlad::

- polükarbonaat (PC)
- polüamiid (PA)
- polüatsetaal (POM)
- polüetüleentereftalaat (PETP)
- polümetüülmetakrülaat (PMMA)
- epoksüvaik (EP) jt.

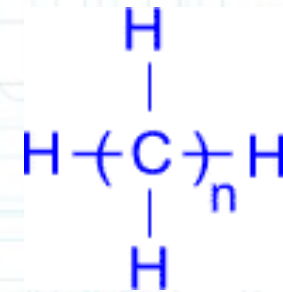
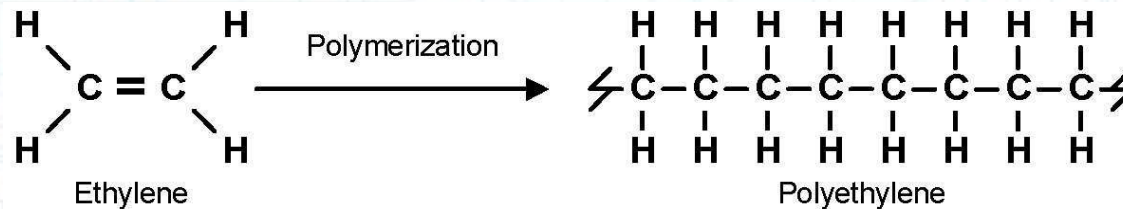
•**Eriplastid**-ühe spetsiifilise omadusega::

- fluorplast (PTFE)
- polüimiid (PI) jt.

Termoplastid- PE (1)

Polüetüleen (PE) (*polyethylene*)

- Saamisviis põhineb eteeni ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) polümerisatsioonil, mida kirjeldab reaktsioon:



- Saadava polüetüleenini omadused ja kasutusvaldkonnad võivad erineda suurtes piirides, olenevalt molekulaarmassist, tootmismeetodist, struktuuri erinevustest ja tihedusest.

- Eristatakse:

HDPE (*high density polyethylene*)- kõrgtihe polüetüleen

LDPE (*low density polyethylene*)- madaltihe polüetüleen

LLDPE (*linear low density polyethylene*)- lineaarne madaltihed polüetüleen

UHMWPE (*ultra high molecular weight polyethylene*)- ülikõrge molekulmassiga polüetüleen

Termoplastid- PE (2)

HDPE (*high density polyethylene*)

- Valdavalt lineaarne polümeer
- Madalatel temperatuuridel hea löögisitkus
- Omab suurepärast keemilist vastupanu
- On tundlik UV-kiirgusele



Joonis 1. HDPE-tooted.

Termoplastid- PE (3)

LDPE (*low density polyethylene*)

- Ulatuslikumalt hargnenud ahelaga
- Madalatel temperatuuridel hea löögisitkus, kuid väike kõvadus ning tugevus
- Omab head keemilist vastupanu
- On suurepärase dielektrik (väga väikese elektrijuhtivusega)



Allikas: <http://www.thedailygreen.com/green-homes/latest/recycling-symbols-plastics-460321>

Joonis 2. LDPE-tooted.

Termoplastid- PE (4)

LLDPE (*linear low density polyethylene*)

- Korrapärase struktuuriga polümeer
- Kõrge tõmbetugevus ja löögisitkus
- Parem sulavoolavus kui LDPE-l
- Hea vastupanu kemikaalide ja UV-kiirguse suhtes



Allikas: <http://www.dragonpacking.com/en/p.html>

Joonis 3. LLDPE-pakkekile

Termoplastid- PE (5)

UHMWPE (*ultra high molecular weight polyethylene*)

- Väga pikad molekulahelad
- Suur kõvadus
- Suurepärane keemiline vastupanu
- Hea vastupanu kriimustamisele ja abrasiivkulumisele
- Tunduvalt suurema sitkusega
- Materjal ei ole sulatöödeldav, seepärast töödeldakse kummiolekus



Allikas: http://www.diytrade.com/china/pd/2014088/UHMWPE_PIPE.html

Joonis 4. UHMWPE-detailid.

Polüetüleen kasutatakse ka plastkomposiitides (kiudarmeeritud), mis annab materjalile suurema kõvaduse ja tugevuse.

Termoplastid- PE (6)

Tabel 1. Polüetüleenide omadusi.

Omadus	HDPE	LDPE	HDPE+ 30% klaaskiudu
ρ , kg/m ³	950...970	915...930	1170
R_m , MPa	22...38	1...16	70
E, GPa	0,42...1,4	0,12...0,3	7
A, %	20...1300	90...650	2...3
Löögisitkus, J/m ²	80...100	Ei murdu	5,5

Termoplastid- PE (7)

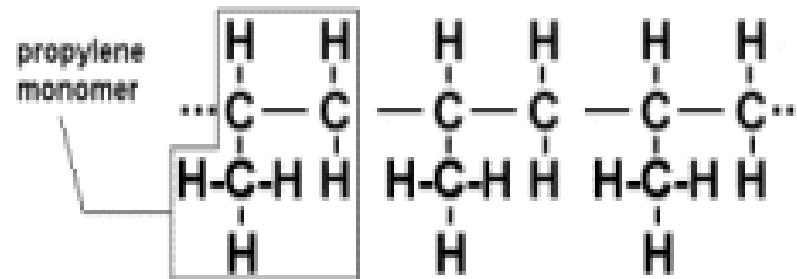
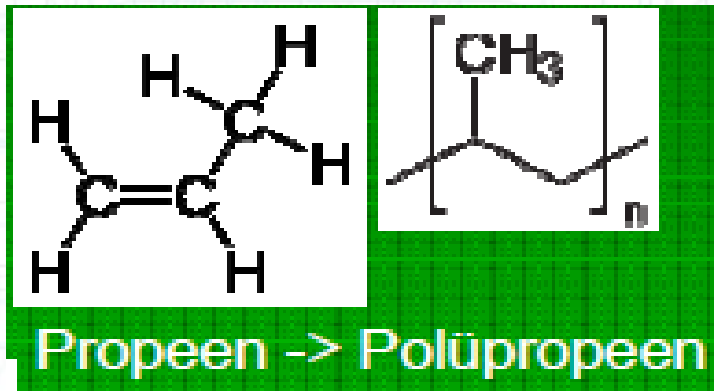
PE rakendused:

- Mitmesugused survevalutooted (rohkem HDPE, kui tugevus on oluline).
- Torud, kaabliisolatsioonid, lehtmaterjalid ekstrusioonil.
- Pudelid ja mahutid ekstrusioon-puhumisvormimisel (rohkem HDPE).
- Kiled puhumisvormimisel.
- Pihustatavad pinnakatted.
- UHMWPE pulbri paagutamisel survevormimisel laagrid, tihendid.

Termoplastid- PP (1)

Polüpropüleen (PP) (*polypropylene*)

- Propeenini monomeer ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$) on sarnane eteeniga ja nagu eteen, sisaldab ta kahekordset kovalentset sidet, mis avanedes polümeriseerub:



- Polüpropüleen on kõrgkristalne polümeer nagu PE. Peaahelal on aga CH_3 külgrühmad, mille paigutuse süsteem või korrapära määrab selle, kas materjal on termoplast või elastomeer.

Termoplastid- PP (2)

- PP on suurema tugevusega ja kõvadusega kui HDPE
 - PP tihedus on võrreldav LDPE-ga
 - Hea keemiline vastupanu
 - Kõrge väsimustugevus
 - Eripäraks on väga hea korduvpainutustugevus
 - Madalatel temperatuuridel muutub hapraks
 - Väga tundlik UV-kiirguse suhtes
 - Väga hästi ümbertöödeldav
-
- Polüpropüleenist valmistatakse ka plastkomposiite (klaaskiudarmeeritud), mis annab materjalile suurema kõvaduse ja tugevuse ning lisaks peavad kindlasti kompositsiooni kuuluma ka antioksidandid ja UV-filtrid.



Allikas: http://www.engineeringtoolbox.com/polypropylene-rope-strength-d_1516.html

Joonis 5. PP-tooted.

Termoplastid- PP (3)

- Kõrgema löögisitkusega materjali saamiseks kasutatakse polüetüleenil polümeeri mehaanilist segamist väikestes kogustes elastomeeridega.
- Sitkem polüpropüleen on propeenil kopolümeer 2...10% eteeniga, mida nimetatakse polüallomeeriks. Tema haprumistemperatuur on -40 °C.

Tabel 2. Polüpropüleenide omadusi.

Omadus	PP	Kõrge löögisitkusega PP	Polüallomeer	PP+ 30% klaaskiudu
ρ , kg/m ³	900...910	900...910	900...910	1120...1130
R_m , MPa	27...40	19...35	21...28	47...103
E, GPa	0,5...1,9	0,8...1,3	0,5...0,8	4...7
A, %	30...200	30...200	400...500	2...4
Löögisitkus, J/m ²	2...12	8...64	30...180	3...16

Termoplastid- PP (4)

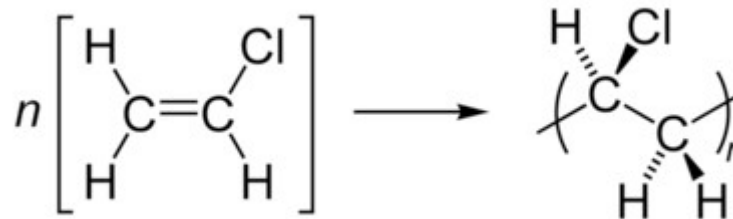
PP rakendused:

- Survevalutooted: autoosad, lauad, toolid, kohvrid, akukorpused, konteinerid, majapidamistarbed, steriliseeritav meditsiiniaparatuur, hingedega tooted jm.
- Kiled puhumisekstrusioonil (eelkõige pakkekiled ja kleeplintide alused).
- Külmkedratud kiudlindist kootakse kotte, vaibaaluseid, kiust valmistatakse köisi, võrkusid, pakendinööre.
- Ekstrusioonid isoleeritakse traati, saadakse lehtmaterjali, torusid, ekstrusioon-puhumisvormimisel mahuteid.

Termoplastid- PVC (1)

Polüvinüülkloriid (PVC) (*polyvinyl chloride*)

- Monomeer vinüülkloriid ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$) on etüleenide derivaat, mis on hõlpsasti polümeriseeritav. Tulemuseks on lineaarne polümeer-polüvinüülkloriid PVC:



- PVC on suhteliselt odav termoplast, mis on hea keemilise vastupanuga hapetele ja leelistele.
- PVC on kõige ulatuslikumalt plastifitseeritav materjal, mistõttu tema kasutusvaldkond on äärmiselt lai:

PVC- polüvinüülkloriid

UPVC (*unplasticised*)- plastifitseerimata polüvinüülkloriid

PPVC (*plasticised*)- plastifitseeritud polüvinüülkloriid

CPVC (*chlorinated*)- järelkloreeritud polüvinüülkloriid

PVDC- polüvinüülideenkloriid

Termoplastid- PVC (2)

- Puhas PVC on raske, jäik ja habras. Plastifitseerides saame elastse materjali nagu kummi. Plastifitseerimata PVC on odav alusmaterjal.
- UPVC- tugev, jäik ja kõva materjal. Hea UV-kiirguse kindlus.
- PPVC- vähem jäik kui UPVC, elastne plast, mille omadused on saadud lähtepolümeerile plastifikaatori lisamisel. Keemiline vastupanu on madalam kui UPVC-l.
- Umbes 25% valmistatavast PVC-st kasutatakse plastifitseerimata kujul (UPVC), ülejäänud plastifitseeritud kujul (PPVC).



Allikas: <http://www.dekorplast.co.uk/>

Joonis 6. PVC-tooted.

Termoplastid- PVC (3)

Tabel 3. Polüvinüülkloriidide omadusi.

Omadused	UPVC	PPVC- madal-plastifitseeritud	PPVC- kõrg-plastifitseeritud
ρ , kg/m ³	1400...1540	1300...1350	1200...1550
R_m , MPa	24...62	28...42	7...56
E, GPa	2,4...4,1	0,35...0,4	0,003...0,02
A, %	2...40	200...450	200...450
Löögisitkus, J/m ²	2...100	-	-
	CPVC	PVDC	PVC+ 20% klaaskiudu
ρ , kg/m ³	1380...1580	1650...1750	1580
R_m , MPa	55...80	21...34	96
E, GPa	2,5...3,4	0,3...0,5	7,6
A, %	4,5...65	Kuni 250	3
Löögisitkus, J/m ²	5...30	2...5	8

Termoplastid- PVC (4)

PVC rakendused:

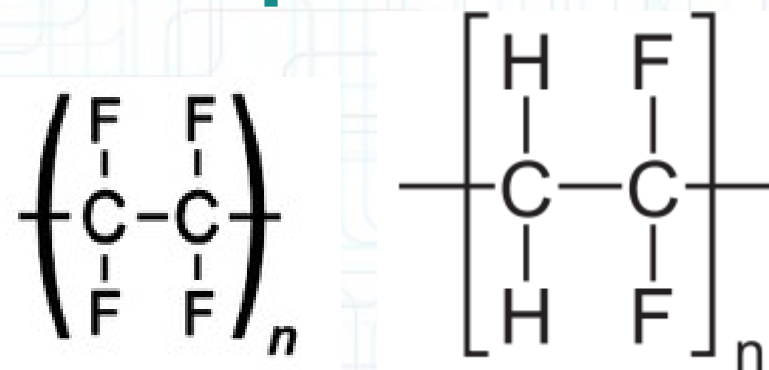
- UPVC- jäigad torud, profiiltooted (sh aknad), põranda- ja seinapaneelid, survevalu- ja termovormitud tooted (krediitkaardid, toruühendused, nõud jm.)
- PPVC- kaabli- ja traadiisolatsioon, voolikud, kiled, täispuhutavad esemed, kardinad, kaustad, jalanõud, kileriided, pehmed pudelid, põrandakatted.
- PVC pastad- kunstnahk, seinakatted, tapeedid ja vaibakihid, pinnakatted.

Termoplastid- fluorosüsinikpolümeerid (1)

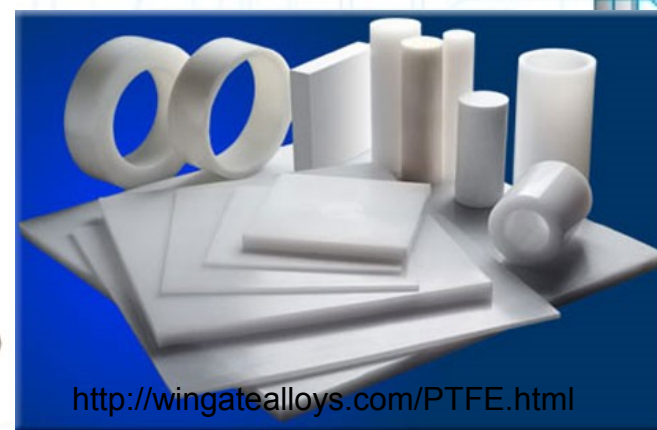
PTFE- polütetrafluoretüleen

PVDF- polüvinüülideenfluoriid jt.

- Kõrge termopüsivus (kuni 350°C)
- Keemiline inertsus



- PTFE on laialdaselt kasutuses olev fluorsüsinikpolümeer. Tähelepanuväärne on tema kõrge termopüsivus: -269 °C kuni +200 °C. PTFE on laialdasemalt tuntud DuPont'i brändi Tefloni kaudu. Teflonitel on erakordselt madal hõõrdetegur, nad on vett-tõrjuvad ning väga stabiilsed. Täielikult vananemis-, tule- ja ilmastikukindel.
- PVDF omab sulatatavatest fluorsüsinikpolümeeridest kõrgemat tõmbetugevust, tal on hea abrasiivkulumiskindlus ja keemiline vastupanu.



Joonis 7. PTFE-tooted.

<http://wingatealloys.com/PTFE.html>

Termoplastid- fluorosüsinikpolümeerid (2)

Tabel 4. Polütetrafluoretüleenide omadusi.

Omadus	PTFE	PTFE +25% klaaskiudu	PTFE+60% pronkspulbrit	PVDF
ρ , kg/m ³	2100...2250	2230	3880	1790
R_m , MPa	17...30	16	14	55
E, GPa	0,35...0,62	1,3	1,4	2,1
A, %	75...450	100	200	20
Löögisitkus, J/m ²	Ei murdu			Ei murdu

Termoplastid- PTFE

PTFE rakendused:

- Tihendid, hermeetikud, traadi- ja kaabliisolatsioon (kõrgsagedus), antiadhesioonpinnakatted, isemäärivad laagrid, keemiaaparatuuri vooderdus, aerosoolsed kuivmäärded.



http://www.aboutfilter.com/diva_envitec/index.php/filter_product/hardware_spares/ptfe_components

Joonis 8. PTFE-tooted.

Termoplastid- fluorosüsinikpolümeerid (2)

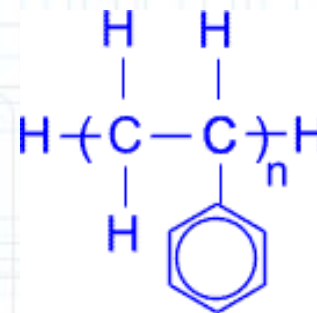
PTFE põhiomadused:

- Ei lahustu, keemiline vastupidavus erakordne (ainult sulad leelismetallid võivad mõjutada).
- Suurepärase kuumus- ja ilmastikukindlus, töötemperatuur -200...260 °C, ei põle.
- Erakordselt sitke ($E=0,4...0,7$ GPa, $A=300...500\%$). Tõmbetugevus väike, löögisitkus kõrge, suur roome.
- Väike permeatsioon (*materjali omadus, mille korral on nii auru, gaasi, vedeliku kui ka tahke aine molekulidel võimalus liikuda vabalt läbi materjali. Selle juures ei toimu materjalis keemilisi ega füüsikalisi muutusi*) ja niiskuse absorptsioon.
- Madal pinnaenergia ja hõõrdetegur, suur kulumiskindlus.

Termoplastid- PS (1)

Polüstüreen (PS) (*polystyrene*)

- PS- polüstüreen
- ABS- akrülonitriil-butadieen-stüreen
- SAN- stüreen-akrülonitriil



- Puhas PS on rabe, klaasjas ja läbipaistev polümeer. Ta on kergesti töödeldav ning tal on hea mõõtmete püsivus. Seevastu on tal väga madal kemikaalikindlus ja ta on tundlik UV-kiirgusele.
- Vahtpolüstüreen (EPS, PS-E) on levinud polüstüreen, mis saadakse, kui puhtale PS-ile lisatakse tootmisel vahustavaid lisandeid, näiteks CO₂. EPS on väikese tihedusega ja heade soojusisolatsiooniomadustega.



Termoplastid- PS (2)

•ABS (akrülonitril-butadieen-stüreen) on akrülonitrilist, butadieenist ja stüreenist koosnev kopolümeer. ABS on heade mehaaniliste omadustega, eriti head on löögisitkus ja mõõtmete püsivus. Keemiliselt on ABS vastupidav paljudes hapetes, leelistes ning õlide baasil valmistatud lahustites. Materjal on kergesti vormitav.



Joonis 10. PS-tooted.

Allikas:<http://www.metmuseum.org/toah/works-of-art/1986.425>

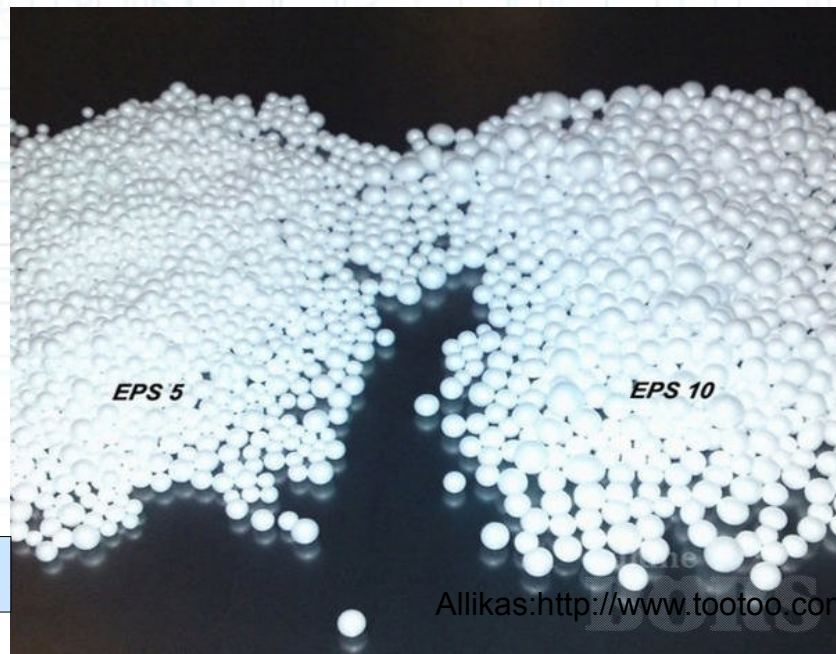


•SAN (stüreen-akrülonitril) on stüreeni kopolümeer. Materjal omab head kombinatsiooni tugevusest, kõvadusest, jäikusest ja läbipaistvusest koos parema keemilise vastupanuga kui PS.

Polüstüreenmaterjalidest valmistatakse ka klaaskiudarmatuuriga plastkomposiite, andmaks materjalile paremaid tugevusomadusi ja suuremat kõvadust.

Termoplastid- PS (3)

- **Vahtpolüstüreen (EPS)** saadakse stüreeni polümerisatsioonil koos madalal temperatuuril keeva süsivesinikuga (nt. pentaan) massis või suspensioonis.
- Võib kombineerida survevalu ja ekstrusiooniga.
- Graanulite töötlemisel vormides auruga toimub eelpaisumine ja tahkestumisel paakumine plokiks.
- Levinud soojusisolatsioon- ja pakkimismaterjal, suletud pooride tõttu ka ujuvtooted. Ekstrudeeritud lehed sobivad ka termovormimiseks (nt. munade või liha pakendamiseks).



Joonis 11. EPS-graanulid.

Allikas: http://www.tootoo.com/buy-expanded_polystyrene/

Termoplastid- PS (4)

PS põhiomadused:

- Lahustuv süsivesinikes ja õlides.
- Head elektriisolatsiooniomadused.
- Ideaalselt läbipaistev (amorfne) (88...90%).
- Ilmastiku- ja temperatuurikindlus jätavad soovida.
- Jäik ja rabe ($E=3,2...3,5$ GPa, $A=1,5...3\%$), mõõduka tugevusega (36...52 MPa).
- Töötemperatuurivahemik kitsas: $-10...70$ °C.

Termoplastid- PS (5)

Tabel 5. Polüstüreenide omadusi.

Omadus	PS	ABS	SAN
ρ , kg/m ³	1040...1100	1040...1700	1070...1100
R_m , MPa	35...60	39...62	63...84
E, GPa	2,8...3,5	1,9...2,8	2,8...3,8
A, %	1...4,5	10...140	1,5...3,7
Löögisitkus, J/m ²	1,3...3,4	17,5	1,7...2,5

Termoplastid- PS (6)

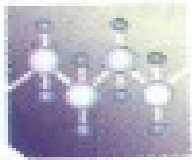
PS rakedused:

SAN

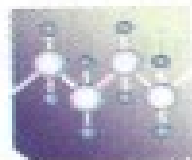
- Tugevamad survevalutooted (kodumasinade ja aparaatide korpused ja sisustus, aknad, meditsiiniaparatuur, autoosad). Vajadusel tugevdatakse klaaskiuga.

ABS

- Survevalutooted (kodumasinade ja elektriaparaatide korpused, autoosad jne.), termovormtooted (nõud jms.), struktuurvahud, ekstrudeeritud lehtmaterjalid ja torud, pakendid.



Polyethylene (PE)



Poly(vinyl chloride) (PVC)



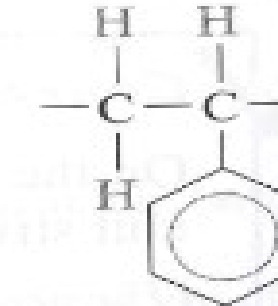
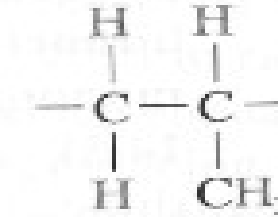
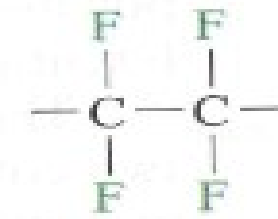
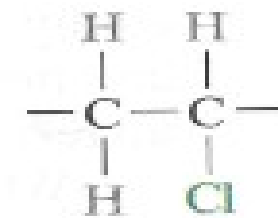
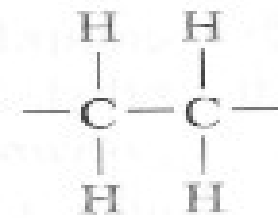
Polytetrafluoroethylene (PTFE)



Polypropylene (PP)



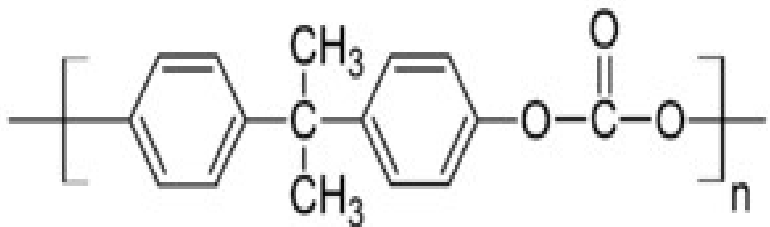
Polystyrene (PS)



Termoplastid- PC (1)

Polükarbonaat (PC) (*polycarbonate*)

- Polükarbonaat on tugev ja läbipaistev materjal
- Tal on kõrge löögisitkus temperatuurivahemikus $-40...115\text{ }^{\circ}\text{C}$
- PC on madala väsimustugevuse ja kulumiskindlusega
- Lahustub mõningates orgaanilistes lahustites
- PC on kergesti vormitav ja töödeldav



Tabel 6. Polükarbonaadi omadusi.

Omadused	PC
ρ , kg/m^3	1200
R_m , MPa	59...70
E, GPa	2,2...2,4
A, %	50...120
Löögisitkus, J/m^2	65...90

Joonis 12. PC-tooted.

Termoplastid- PC (2)

PC rakendused:

- Survevalutooted: lülitid, releed, arvurid, telefonid, laserplaadid, disketid, elektrimasinate ja -aparaatide korpused, kaitsekiivrid, sporditarbed jm.
- Lehtmaterjal: kasvuhooneklaasid, telefoniputkad, ootepaviljonid, aknad jm.
- Termovormitud läbipaistvad tooted: kuplid, kaitsekilbid, valgustid, liiklusmärgid jm.

Polüamiid (PA) (*polyamide*)

- [illegible]

Termoplastid- PA (2)

PA põhiomadused:

- Hügrokoopseid, suur veeimavus (kuni 8,5%), mis muudab T_g ebamääraseks. ($\sim 50...60\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Kõrge T_m ($180...295\text{ }^{\circ}\text{C}$) tagab hea kulumiskindluse.
- Hea ilmastikukindlus.
- Head mehaanilised omadused, konstruktsiooniplast ($E=1,4...3,8\text{ GPa}$, $A=30...300\%$, $R_m=75...94\text{ MPa}$). Sitke, hea löögitugevus, madal hõõrdetegur.
- Töötemperatuur $-30...100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Termoplastid- PA (3)

PA rakendused:

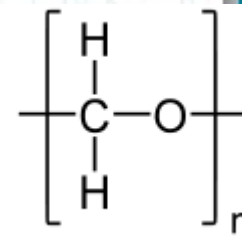
- Enamikku PA (70%) kasutatakse kiu ketramiseks (eriti N 66 ja N6). Kasutatakse tekstiilikangana.
- Survevalutooted- ajamid, laagrid, hammasrattad, rullikud jm.
- Ekstrusioonpuhumisel saadakse pakendikiled, keetmis- ja küpsetuskotid.
- Monokiud- harjad, vaibad, parukad, kunstkarusnahad, kirurgilised niidid jm.
- Ekstrudeeritud torud, voolikud, tõmblukud, pihustatavad pinnakatted, kuumsulamliimid.

Allikas: <http://www.systemplaast.com/engineering-plastics.html>

Joonis 13. PA-hammasrattad.



Termoplastid- POM (1)



Polüatsetaal (POM) (*polyoxymethylene*)

- Formaldehüüdi polümerisatsioonil saadav polüatsetaal (POM) on tuntud ka lihtsalt atsetaalvaiguna või polüoksümetüleenina.
- Iseloomustab suur kõvadus ja tugevus
- Kergesti valatav erinevatel meetoditel
- Töödeldakse temperatuuridel 190-230 °C, kuid vajab kuivatamist enne valamist, kuna on hügrokoopne.
- POM on hästi töödeldav ja on eriti sobiv täppisdetailide valmistamiseks
- Eristatakse kahte tüüpi polüatsetaale:
POM-C- atsetaalkopolümeer
POM-H- atsetaalhomopolümeer



Allikas: http://optimumprocess.free.fr/Les_thermoplastiques_En.htm

Joonis 14. POM-hammasrattad.

POM-C on vastupidavam tugevatele leelistele ja termilis-oksüdatiivsele lagunemisele kui POM-H. Viimasel on aga parem tugevus, sitkus, kõvadus ja roomepiir, termopüsivus ja tihti ka suurem kulumiskindlus.

Termoplastid- POM (2)

Tabel 7. Polüatsetaalide omadusi.

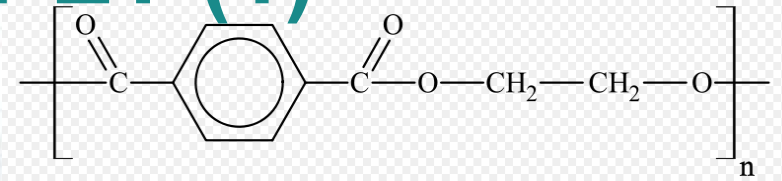
Omadus	POM	POM-C	POM-H
ρ , kg/m ³	1370...1430	1410	1430
R_m , MPa	62...80	70	80
E, GPa	2,9...3,3	3,0	3,3
A, %	25...60	30	30
Löögisitkus, J/m ²	70...120	80	100

POM rakendused:

- Määravateks omadusteks kasutamisel on kulumiskindlus ja veekindlus.
- Peamiselt survevalutooted: laagrid, liigendid, ekstsentriskud, rullikud, hammasrattad, tiivikud, pumbadetailid, ventiilid.

Termoplastid- PET (1)

Polüetüleentereftalaat (PET, PETP)



- Saadakse polümerisatsioonil ja esterifikatsioonil
- Head mehaanilised omadused kuni temperatuurini 175 °C
- PET on sitke ja tugev
- Teda on kerge töödelda
- Suur mahukahhanemine vormimisel
- Hea steriliseerida ja korduvkasutada
- Kasutatakse karboniseeritud jookide pudelitena, kuna PET ei lase gaase läbi

Tabel 8. PETP omadusi.

Omadused	PETP
ρ , kg/m ³	1320...1390
R_m , MPa	74...90
E, GPa	2,2...3,5
A, %	15...20
Löögisitkus, J/m ²	2...4



Allikas: <http://dacct.com/articles/plant-design-projects/polyethylene-terephthalate-plant/>

Joonis 15. PET-pudelid ja ümbertöödeldud kujul nõor.



Termoplastid- PET (2)

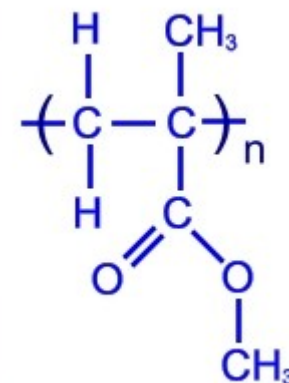
PET rakendused:

- Suurem osa (2/3) tekstiilkiuks.
- Ekstrudeeritud orienteeritud kiled- isolatsioonikiled, pakkekiled, küpsetuskotid, filmirullid jm.
- Ekstrudeeritud survevalul puhumine pudeliteks ja anumateks (eriti karastusjookide pudelid).
- Vormitooted ka klaaskiuga (kuni 60%) armeeritud PET-st ($E=10\ldots 20 \text{ GPa}$).

Termoplastid- PMMA (1)

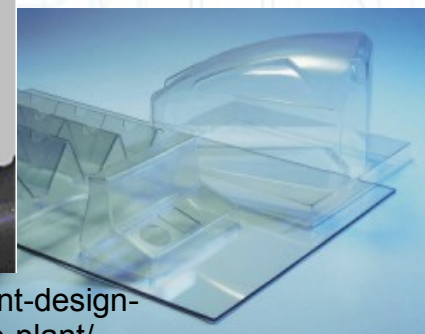
Polümetüülmetakrülaat (PMMA)

- PMMA on toatemperatuuril amorfne ja seda kuni klaasistumistemperatuurini (110 °C)
- PMMA on kõva, jäik ja kõrge löögisitkusega
- Ta on väga läbipaistev
- Kergesti vormitav kõigi termoplastide korral kasutatavate vormimistehnoloogiatega
- Pleksiklaasina tuntud termoplast PMMA on vastupidav kõikidele majapidamiskemikaalidele, kuid ei kannata petrooli ega orgaanilisi lahusteid



Tabel 9. PMMA omadusi.

Omadused	PMMA
ρ , kg/m ³	1100
R_m , MPa	50...75
E, GPa	2,7...3,5
A, %	5...8
Löögisitkus, J/m ²	



Allikas: <http://dacct.com/articles/plant-design-projects/polyethylene-terephthalate-plant/>

Joonis 16. PMMA-rakendused.

Termoplastid- PMMA (2)

PMMA rakendused:

- Leht- ja vormitooted: reklaamitahvlid, teemärgid, valgustid, lennukiaknad, autotuled, tuuleklaasid, kabiinid, kuplid jm.
- Termovaakumvormitud tooted: vannid, valamud jm.
- Taignatest (siirupitest) hamba- jm proteesid (põlve- ja puusaliigesed), kunstmarmor.

Allikas:http://www.diytrade.com/china/pd/330809/NAS_replacing_PMMA_PETG.html

Joonis 17. PMMA-rakendused.



Põhiliste termoplastide omadused

Plasti liik	Tihedus ρ kg/m ³	Mehaanilised omadused			
		R _m MPa	E GPa	A %	AU J/m ²
1. Polüetüleen (PE) – kõrgtihe (HDPE) – madaltihe (LDPE)	960 920	22...38 1...16	0,4...1,4 0,1...0,3	20...1300 90...650	80...100 –
2. Polüpropüleen (PP)	905	27...40	0,5...1,9	30...200	2...12
3. Polüvinüülkloriid (PVC) – plastifitseerimata (UPVC) – plastifitseeritud (PPVC)	1470 1375	24...62 7...56	2,4...4,1 0,01...0,4	2...40 200...450	2...100 –
4. Fluorostüsinikpolümeerid – polütetrafluoroetüleen (PTFE)	2175	17...30	0,3...0,6	75...450	–
5. Polüstüreen (PS) – akrüülnitriil-butadieen-stüreen (ABS) – stüreen-akrüülnitriil (SAN)	1070	35...84 17...62 63...84	2,8...3,5 0,9...2,8 2,8...3,8	1...4,5 20...140 1,5...3,7	1,3...3,4 17,5 1,7...2,5
6. Akrüülplastid – polümetüülmetakrülaad (PMMA)	1100	50...75	2,7...3,5	5...8	–
7. Polükarbonaat (PC)	1200	59...70	2,2...2,4	50...120	65...90
8. Polüamiidid (PA) – PA 6 – PA 11 – PA 12	1100 1050 1020	40...90 40...55 49...65	1,9...3,3 1,2 1,1...1,4	40...150 100...350 120...350	3,2...5,5 40...70 64...100
9. Polüatsetaal (POM)	1400	62...80	2,9...3,3	25...60	70...120
10. Küllastunud polüestrid – polüetüleentereftalaad (PETP) – polübutüleentereftalaad (PBT)	1355 1300	74...90 52	2,2...3,5 2,6...2,7	15...20 200...250	2...4 2,5
11. Polüeeter-eeterketoon (PEEK)	1310	110	4,2	20	60
12. Polüfenüleensulfiid (PPS)	1340	75	3,3	1,6	4
13. Polüimiidid (PI)	1430	120	1,3	7,6	–

Termoplastide omadusi

Plast	Omadused		
	Tihedus, kg/m ³	R _m , N/mm ²	A, %
Polüetüleen (PE)			
kõrgtihe (HDPE)	960	22 ... 38	20 ... 1300
madaltihe (LDPE)	920	1 ... 16	90 ... 650
Polüpropüleen (PP)	905	27 ... 40	30 ... 200
Polüvinüülkloriid (PVC)			
plastifitseerimata (UPVC)	1470	24 ... 62	2 ... 40
plastifitseeritud (PPVC)	1375	7 ... 56	200 ... 450
Fluorplast (PTFE)	2175	17 ... 30	75 ... 450
Polüstüreen (PS)	1070	35 ... 84	1 ... 4,5
Orgklaas (PMMA)	1100	50 ... 75	5 ... 8
Polükarbonaat (PC)	1200	60 ... 70	50 ... 120
Polüamiid (PA)	1100	40 ... 90	40 ... 350