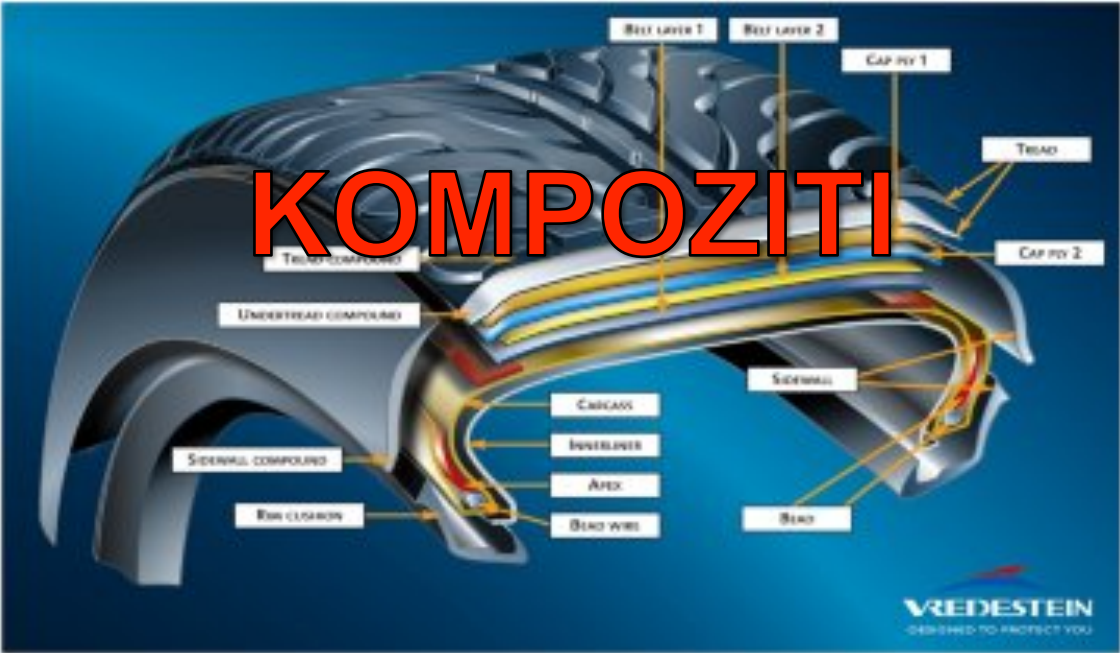
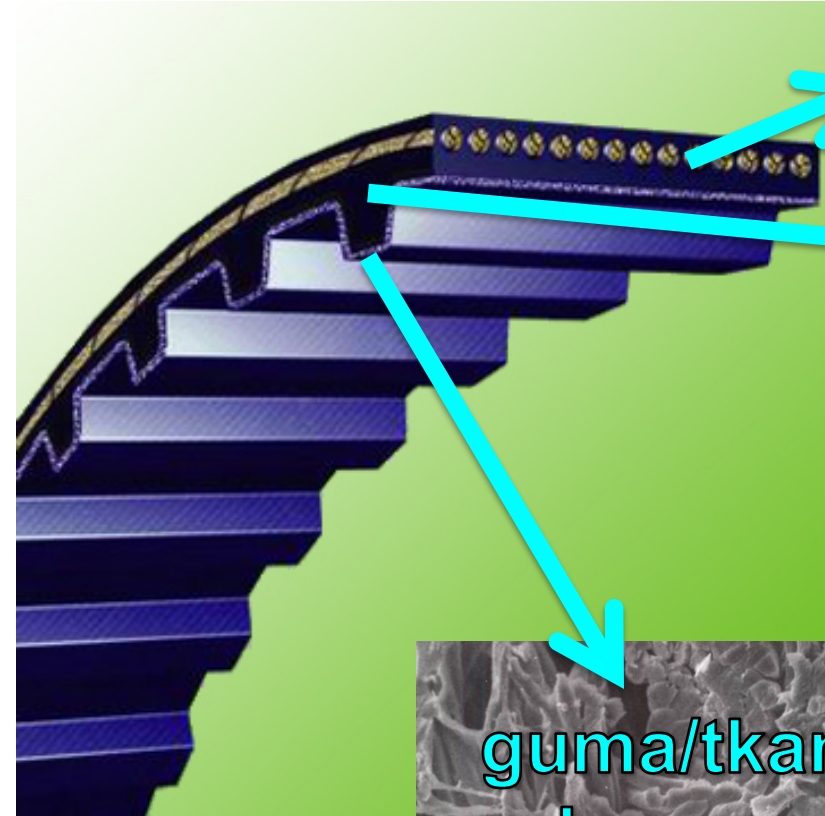


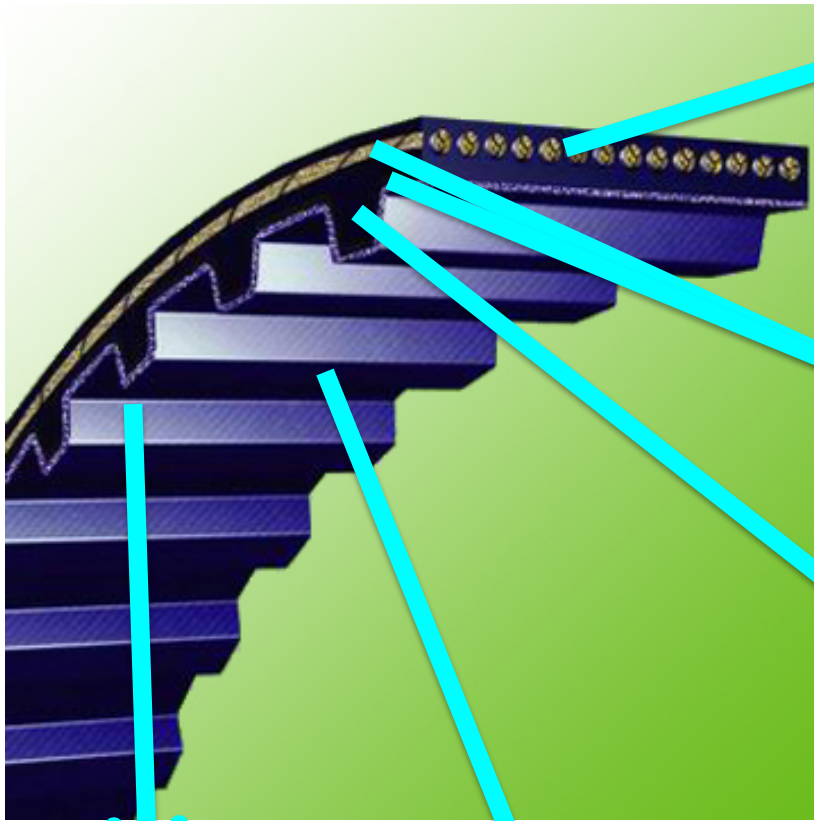
NANOMATERIALI

in



POLIMERNI KOMPOZITI





KORDI (jeklo, steklo, sintetični polimer, ...)

- odpornost na nateg (raztegovanje jermena), dimenzijska stabilnost
- mehanska trdnost, žilavost

VEZIVNI SISTEM (izocianat, rezol, ...)

- vezava kord-guma
- vezava tkanina-guma

GUMENA ZMES (zamreženi naravni kavčuk ali sintetični kavčuki ali zmesi kavčukov + saje + zamreževalo + dodatki)

- elastičnost
- obstojnost pri deformaciji na upogib
- vezava na tkanino in korde
- odpornost na oksidacije, olja, temperaturo, ...

TKANINA (sintetični polimer: nylon, poliester, aramid, ...)

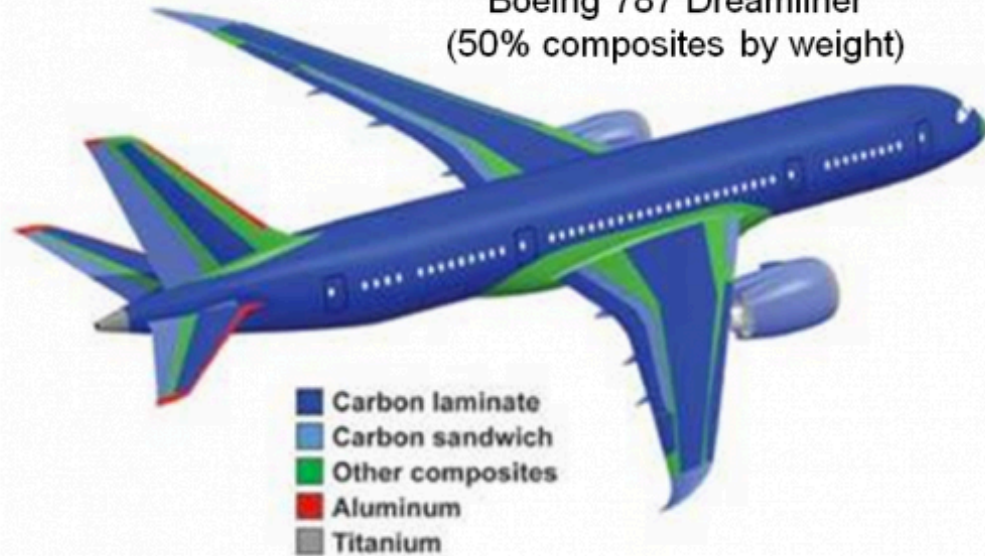
- maksimalna fleksibilnost med upogibanjem jermena
- ščiti površino zob pred prehitro obrabo oz. abrazijo

ZOB

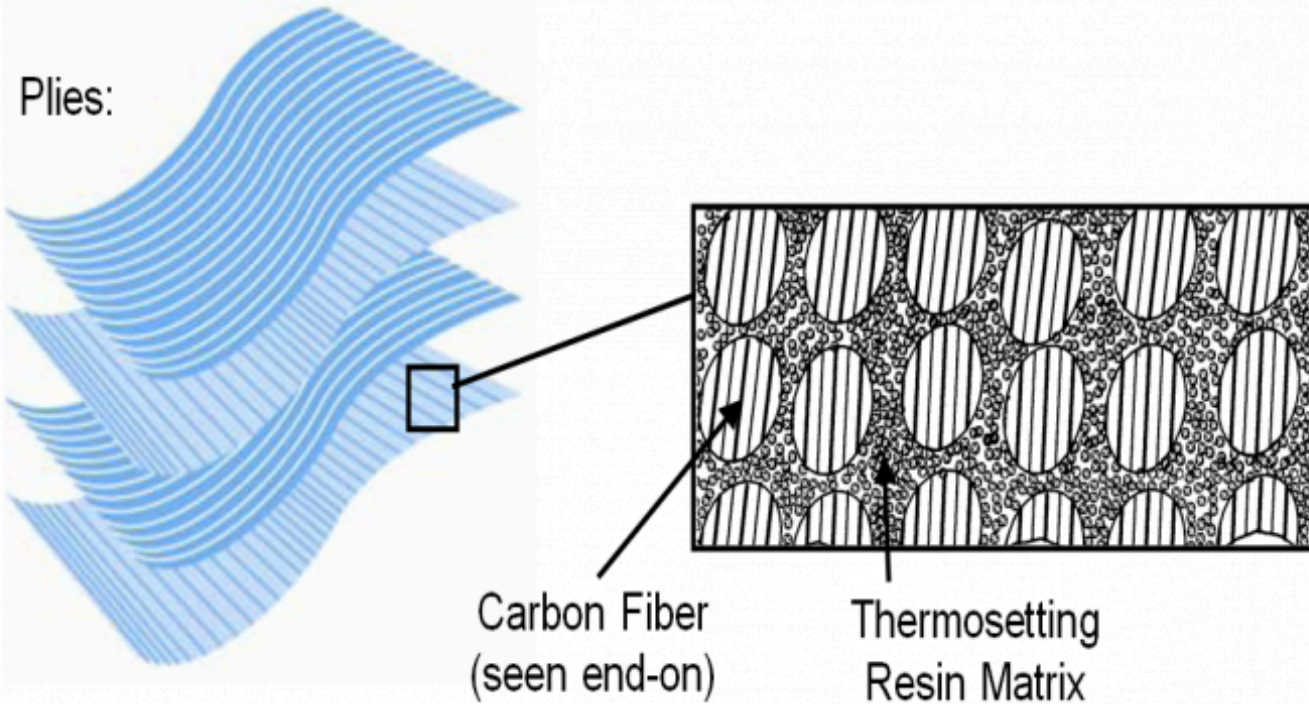
- visoka odpornost na strižne obremenitve
- idealno prileganje jermenici in gladko drsenje

**Carbon Fiber
Composite
Laminates**

**Boeing 787 Dreamliner
(50% composites by weight)**



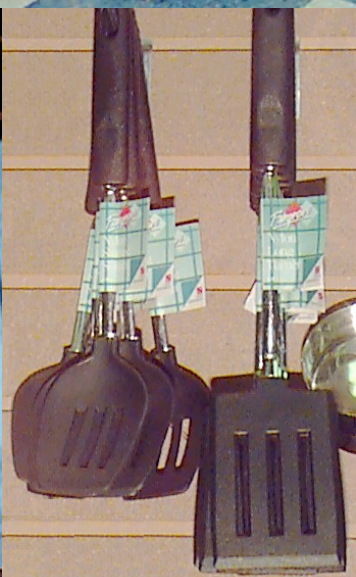
Plies:



UVOD z osnovami POLIMEROV

viri:

- Odian, G.: Principles of polymerization, 4. izdaja, John Wiley & Sons, New York, 2004.
- Rudin, A. And Choi, P. : The Elements of Polymer Science & Engineering, 3. izdaja, Academic Press, Oxford, 2004.
- Costa, R., Moggridge G.D., Saraiva, P.M.: Chemical product engineering: An emerging Paradigm within chemical engineering, AIChE, 2006, 52(6), 1976-1986.



OSNOVNI POJMI

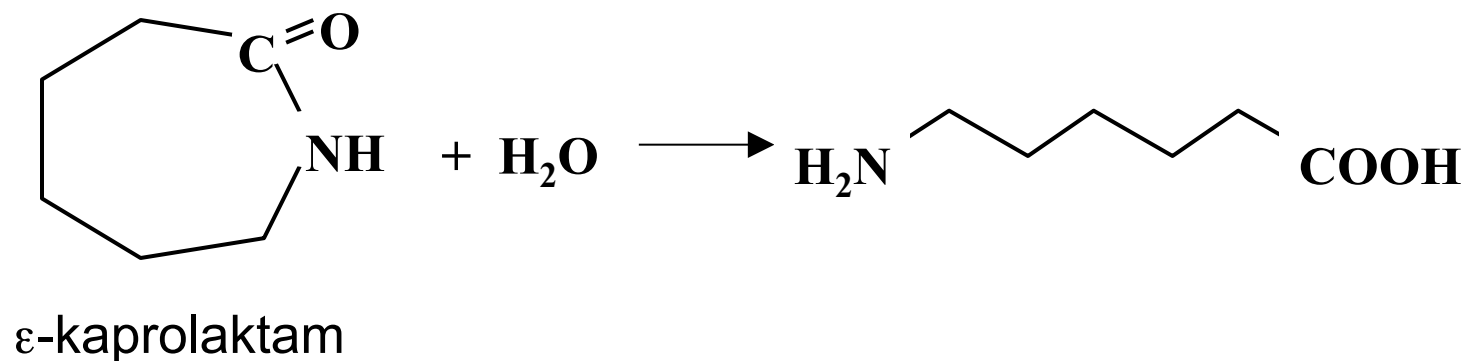
- **POLIMER** (*poli* – grško mnogo, *meros* – grško delci) je makromolekula, ki jo sestavlja veliko število istovrstnih ponavljajočih se enot z nizko molsko maso.
- **MAKROMOLEKULA** (*makros* – grško velik, *molecula* – latinsko majhna masa) je velika molekula, ki jo sestavlja veliko število atomov. Izraza polimer in makromolekula se pogosto uporabljata enakovredno.
- **MONOMER** (*mono* – grško en) je spojina nizke molske mase z reaktivnimi skupinami. Preko reaktivnih skupin se monomeri povežejo v polimer. Monomere pridobivamo iz nafte, zemeljskega plina, premoga, rastlinskega olja, itd..
- **POLIMERIZACIJA** je kemijska reakcija, pri kateri se monomeri med seboj povežejo v polimerne verige s kovalentnimi kemijskimi vezmi. Glede na mehanizem poznamo **STOPENJSKO** in **VERIŽNO POLIMERIZACIJO**.

- **STOPENJSKA POLIMERIZACIJA** je polimerizacija, pri kateri se v polimer povezujejo monomeri, ki imajo **funkcionalne skupine** (npr.: -OH, -COOH, -NH₂, -NCO, ...).

Pri polimerizaciji funkcionalne skupine reagirajo med seboj.

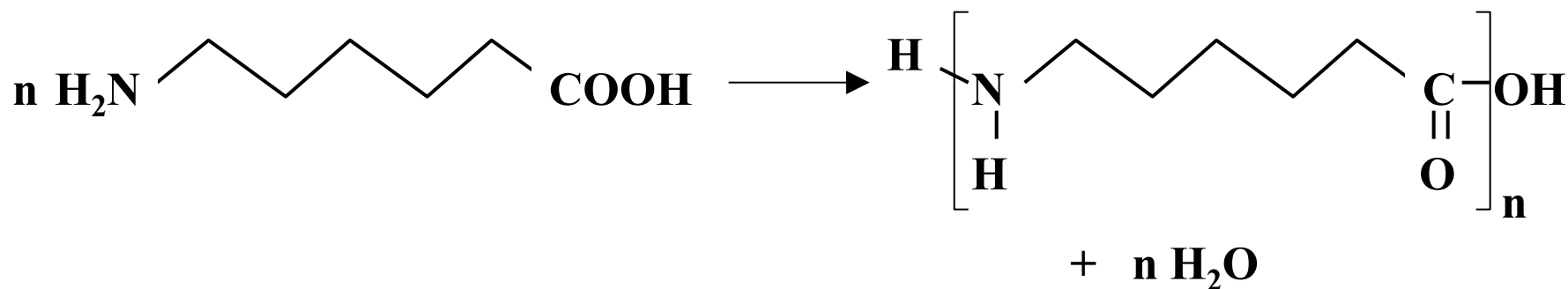
- primer 1: Pri polimerizaciji sodelujta dva monomera z različnimi funkcionalnimi skupinami. Funkcionalne skupine prvega monomera reagirajo s funkcionalnimi skupinami drugega monomera.
- primer 2: Pri polimerizaciji sodeluje samo en monomer, ki pa mora imeti obe funkcionalni skupini, ki pri polimerizaciji reagirata in tvorita kovalentno vez.

Primer 2: Sinteza Nylona 6 (poliamid 6) iz ϵ -kaprolaktama:



6-aminoheksanojska kislina

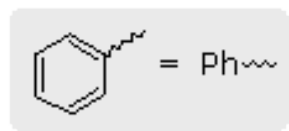
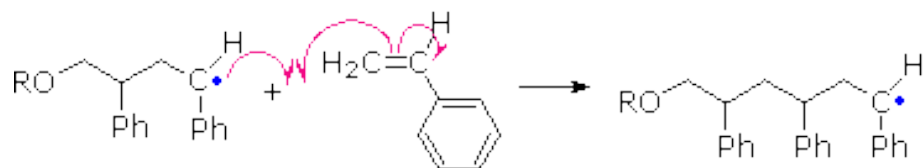
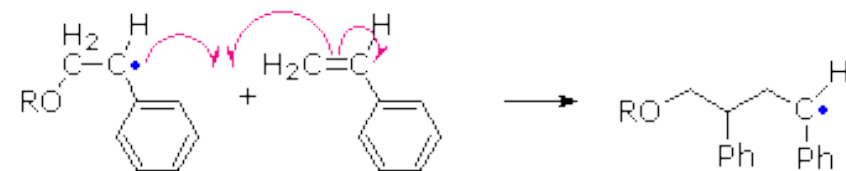
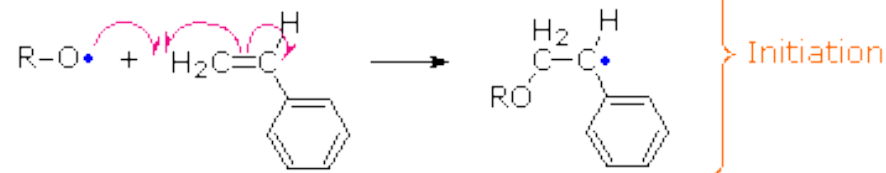
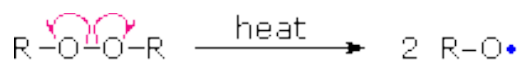
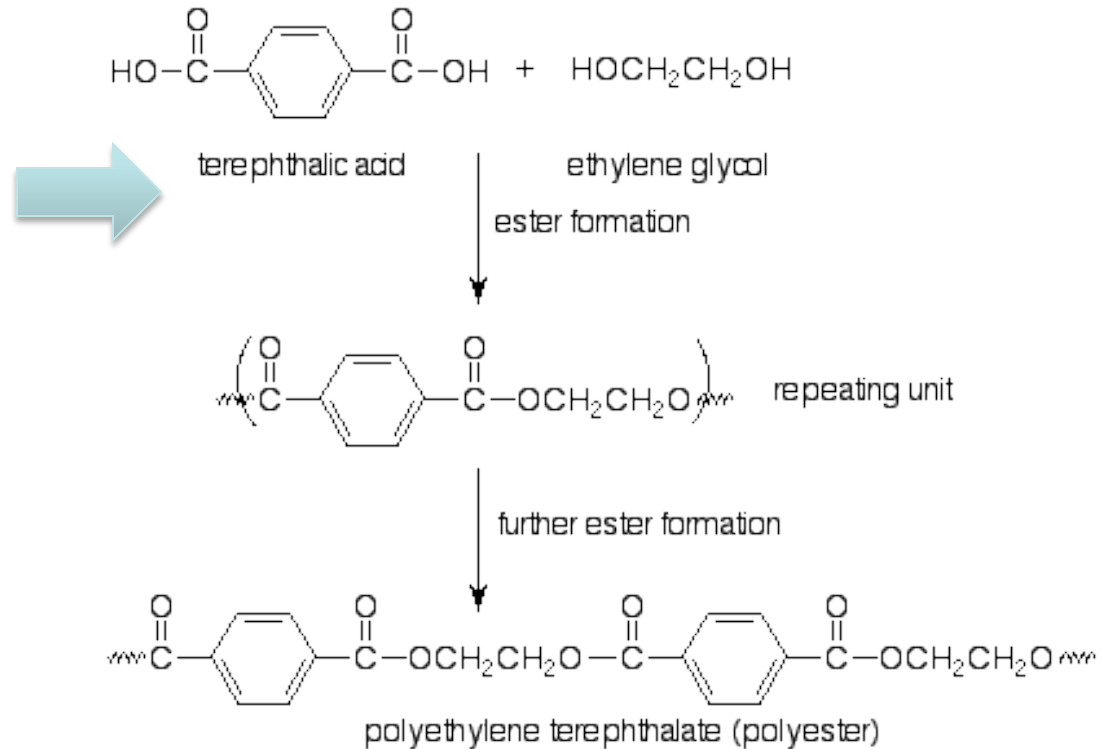
poli(ϵ -kaprolaktam) ali poliamid 6



Vrste polimerov glede na vrsto polimerizacije:

– STOPENJSKI POLIMERI

– VERIŽNI POLIMERI

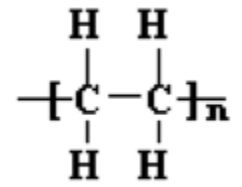
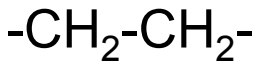


Chain Propagation

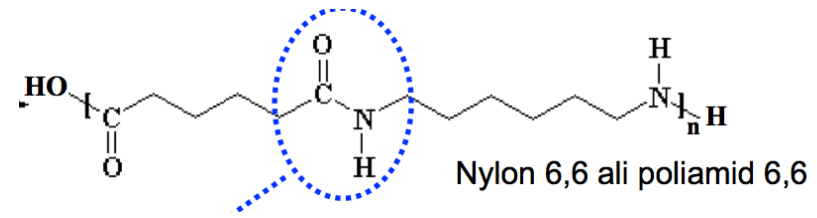
a growing polystyrene chain

- PONAVLJAJOČE SE ENOTE**

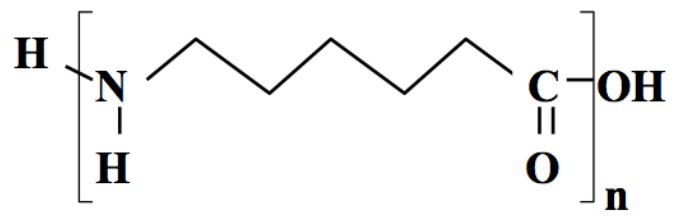
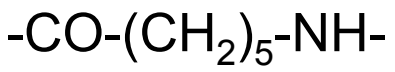
Pri verižni polimerizaciji etena (etilena) nastane polieten (polietilen) s ponavljajočo se enoto:



Pri stopenjski polimerizaciji adipinske kisline in heksametilen diamina nastane poliamid 6,6 s ponavljajočo se enoto:



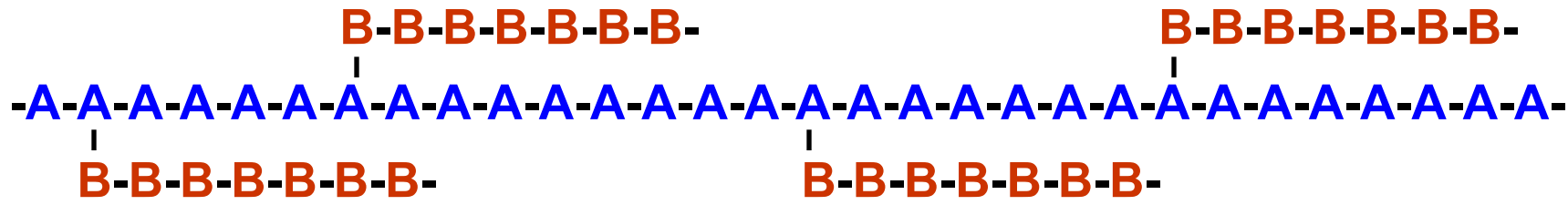
Pri stopenjski polimerizaciji ε-kaprolaktama nastane poliamid 6 s ponavljajočo se enoto:



- **HOMOPOLIMERI** so sestavljeni iz enakih ponavljajočih se enot. Sintetizirani so iz enega (verižna polimerizacija, stopenjska polimerizacija – primer 2) ali dveh (stopenjska polimerizacija - primer 1) monomerov.

- **KOPOLIMERI** so sestavljeni iz dveh ali več ponavljajočih se enot. Sintetizirani so iz dveh ali več vrst monomerov. Glede na razporeditev ponavljajočih se enot (A in B) so lahko:

- NAKLJUČNI (STATISTIČNI): ponavljajoči se enoti se naključno vključujeta v polimerno verigo: **-A-A-B-A-B-B-A-B-A-A-A-B-A-**
- IZMENJUJOČI SE (ALTERNIRAJOČI): ponavljajoči se enoti se izmenoma vključujeta v polimerno verigo: **-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B**
- BLOKKOPOLIMERI: sestavljeni so iz dolgih sekvenc (blokov) istovrstnih ponavljajočih se enot: **-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-B-B-B-B-B-A-A-A-A-A-**
- KOPOLIMERI S PRIPAJANJEM: glavno verigo sestavljajo ponavljajoče se enote ene vrste (A), stranske verige pa druge vrste (B):



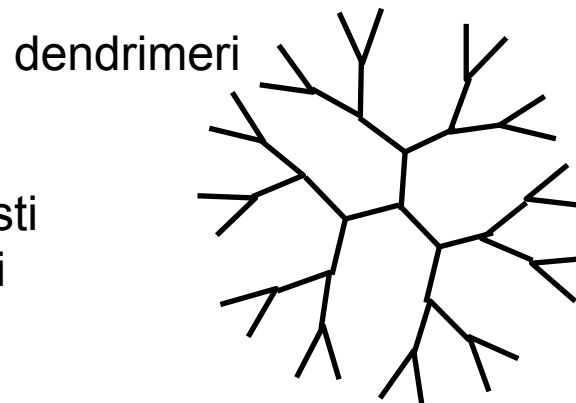
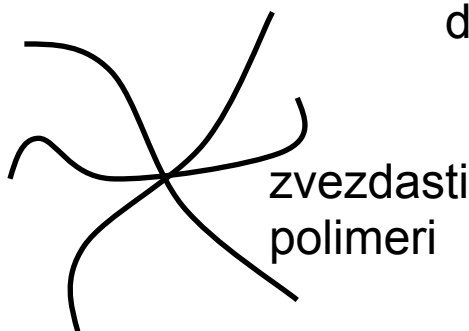
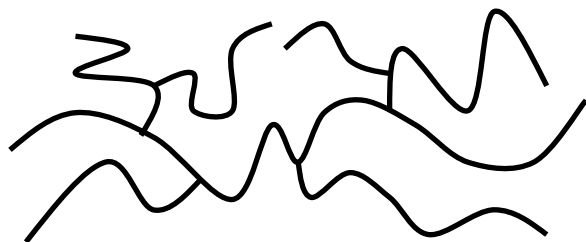
Da nastanejo polimeri, morajo biti **monomeri dvo- ali več funkcionalni**.

Ko je funkcionalnost monomerov enaka 2, so polimeri linearni, če je višja od 2, so polimeri razvejeni ali zamreženi.

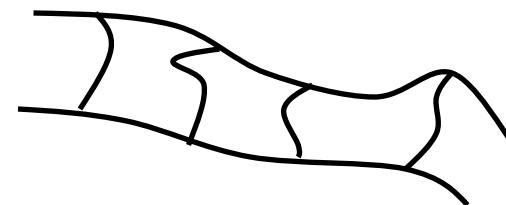
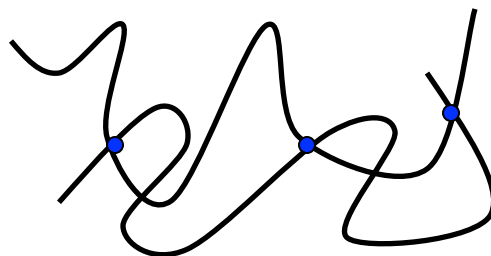
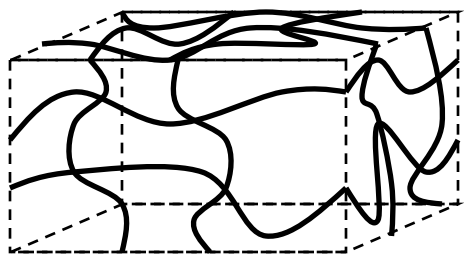
• **LINEARNI POLIMERI:**



• **RAZVEJENI POLIMERI:**



• **ZAMREŽENI POLIMERI:**



visoko zamreženi polimeri

rahlo zamreženi polimeri

lestvasti polimeri

Vrste polimerov glede na obliko makromolekul:

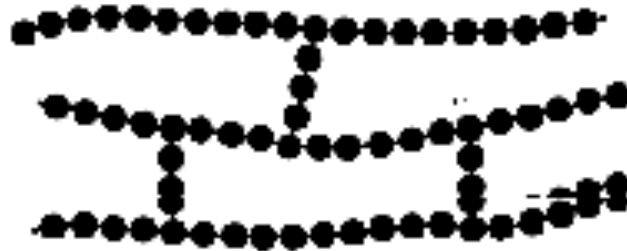
- **LINEARNI** (a)
- **RAZVEJENI** (b)
- **ZAMREŽENI** (nizko (c) in visoko (d))



(a)



(b)

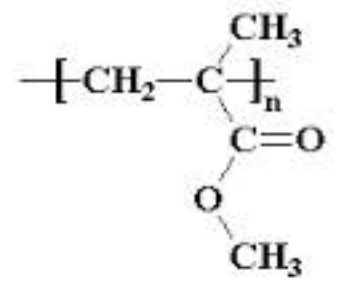
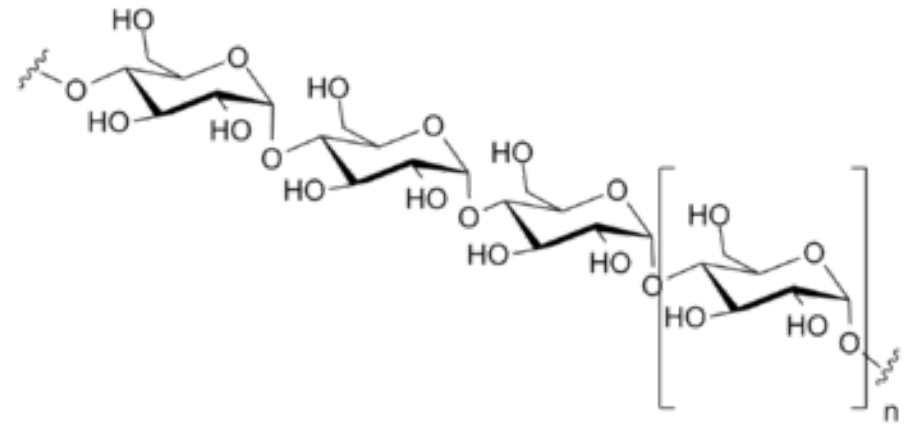
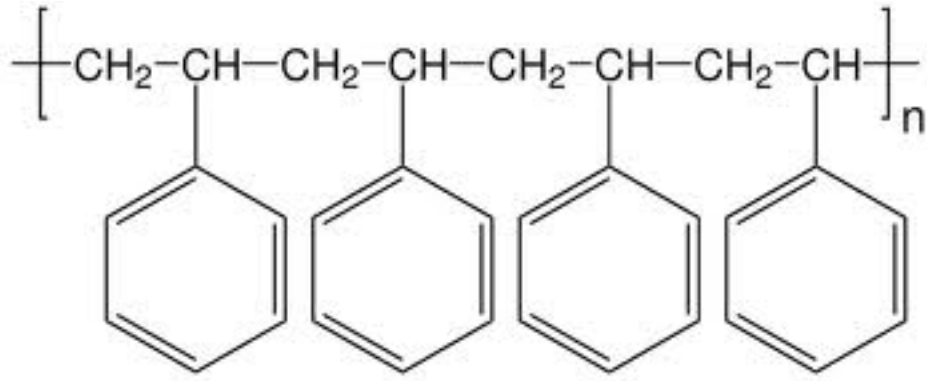


(c)

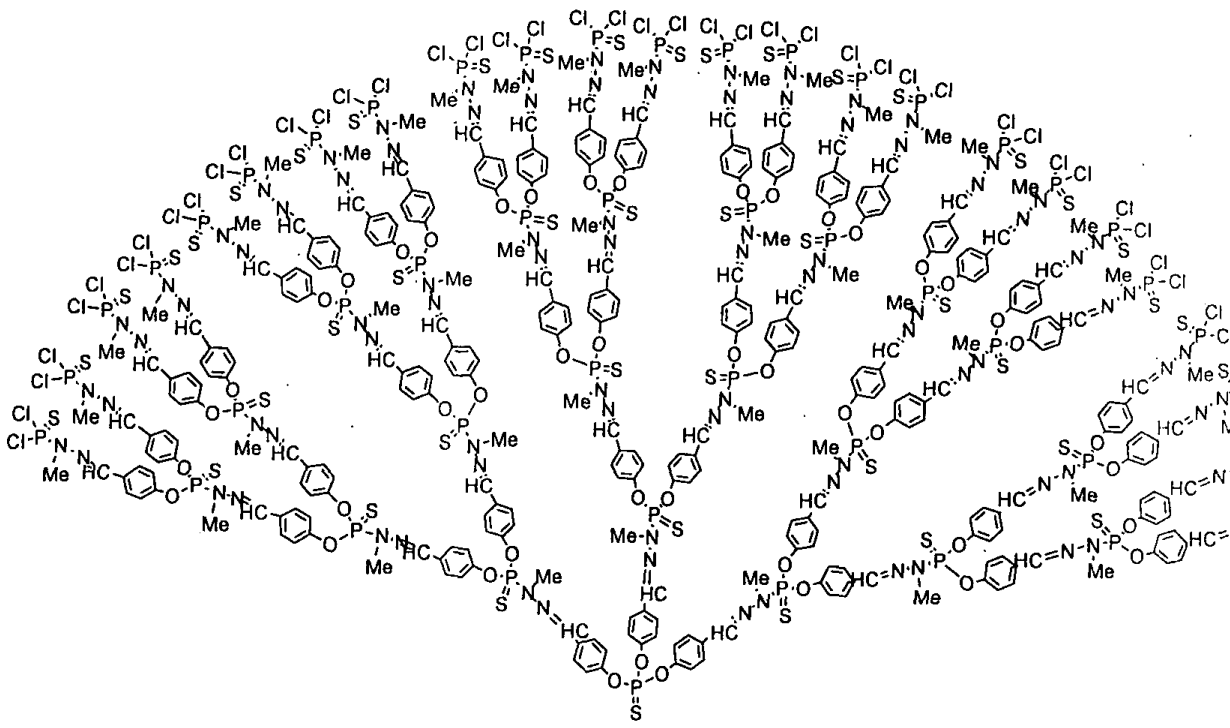
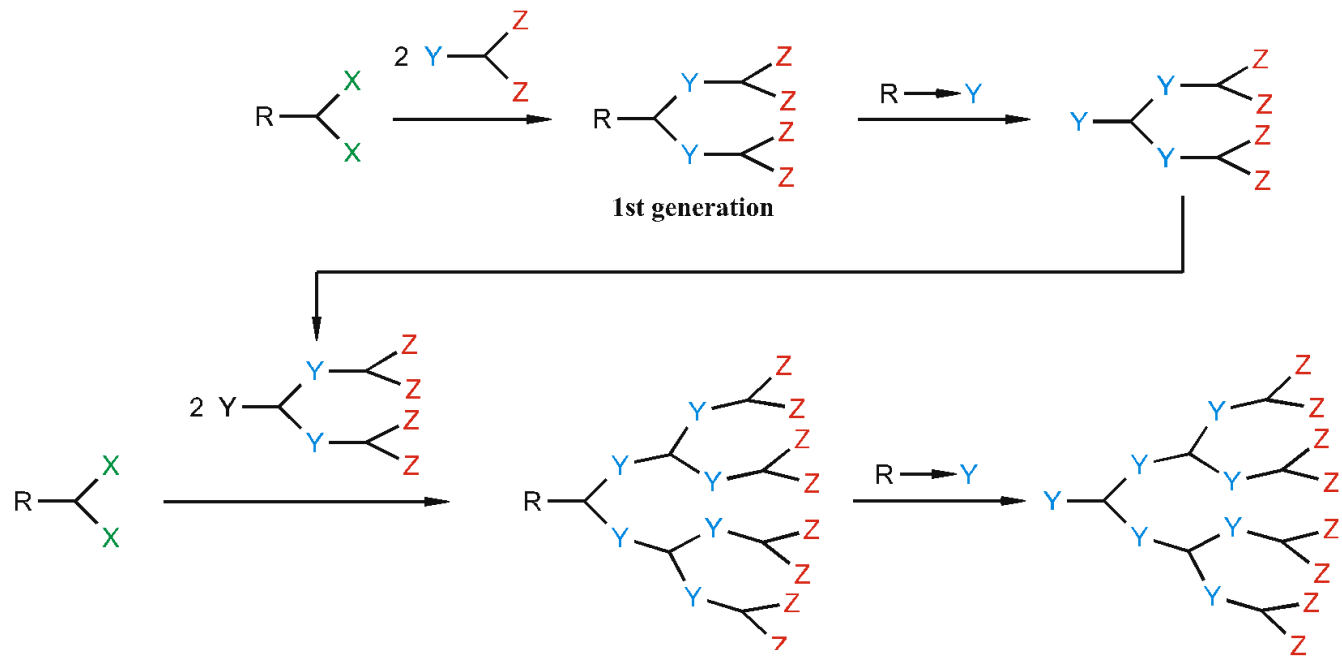


(d)

Linearni polimeri

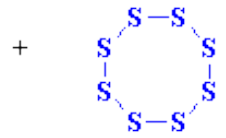
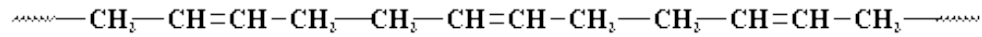
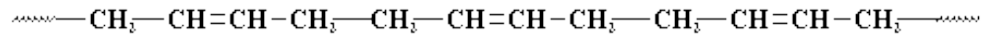
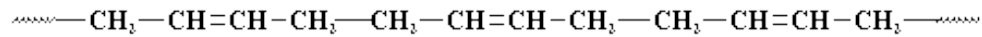


Dendrimeri spadajo med razvejene polimere

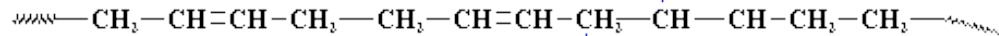
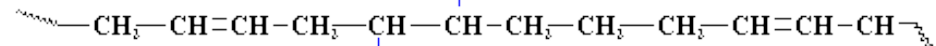
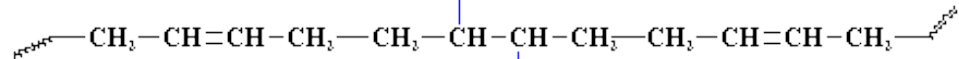


Zamreženje
oziroma
vulkanizacija
kavčuka.

Elastomeri so
nizko zamreženi
polimeri.



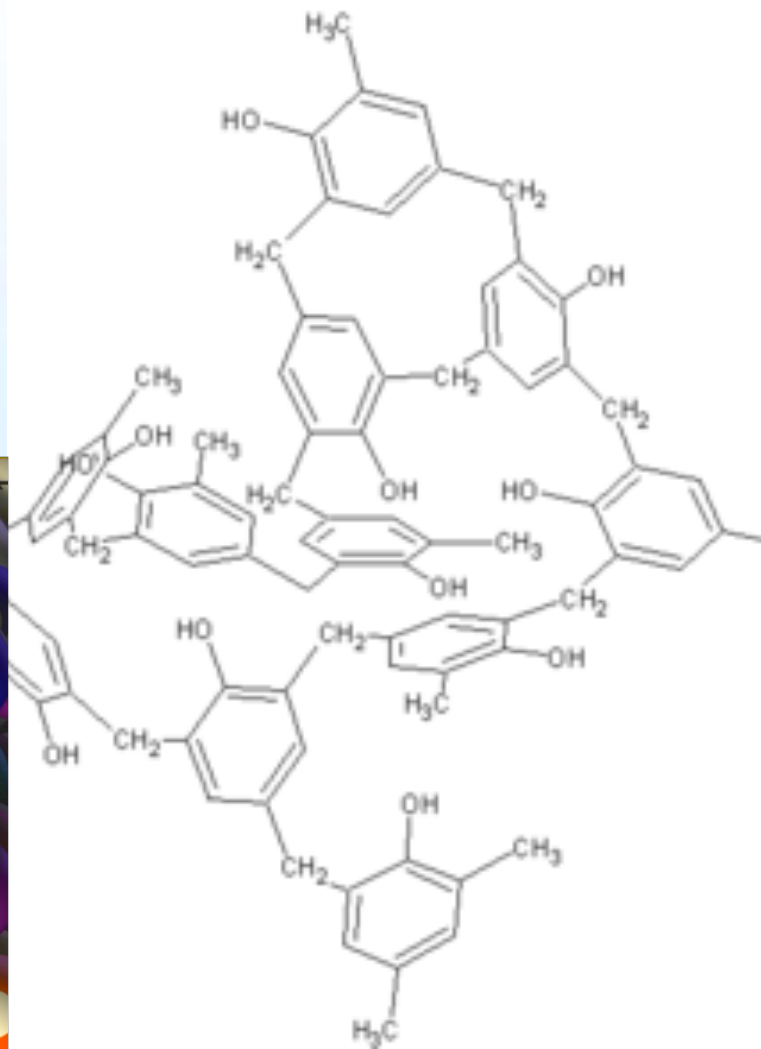
+



NOVOLAK



Visoko zamrežena fenol-formaldehidna smola



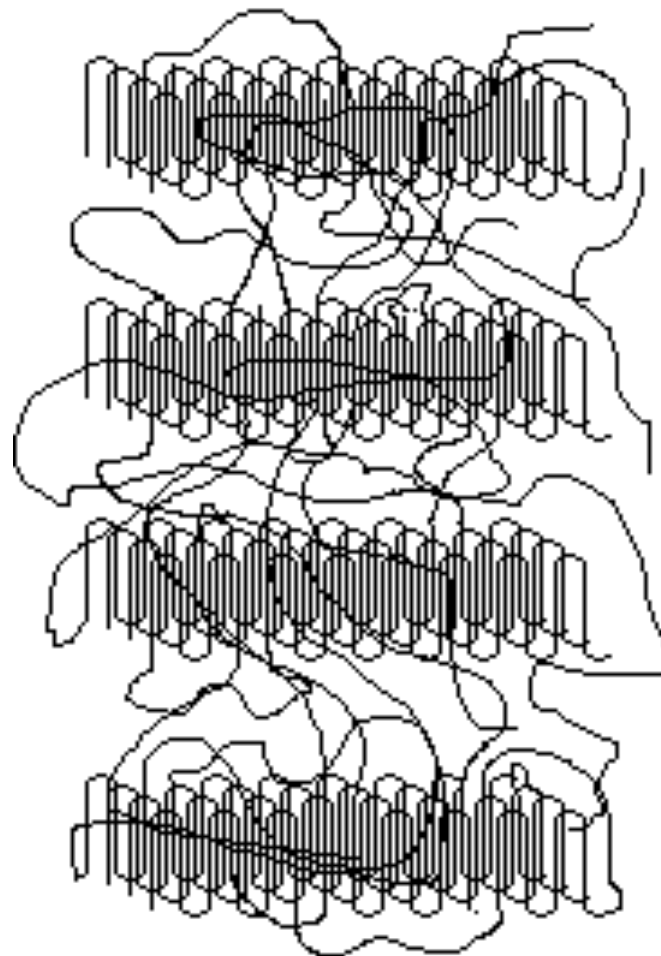
Duromeri so visoko zamreženi polimeri.

REZOL



Vrste polimerov glede na urejenost polimernih verig:

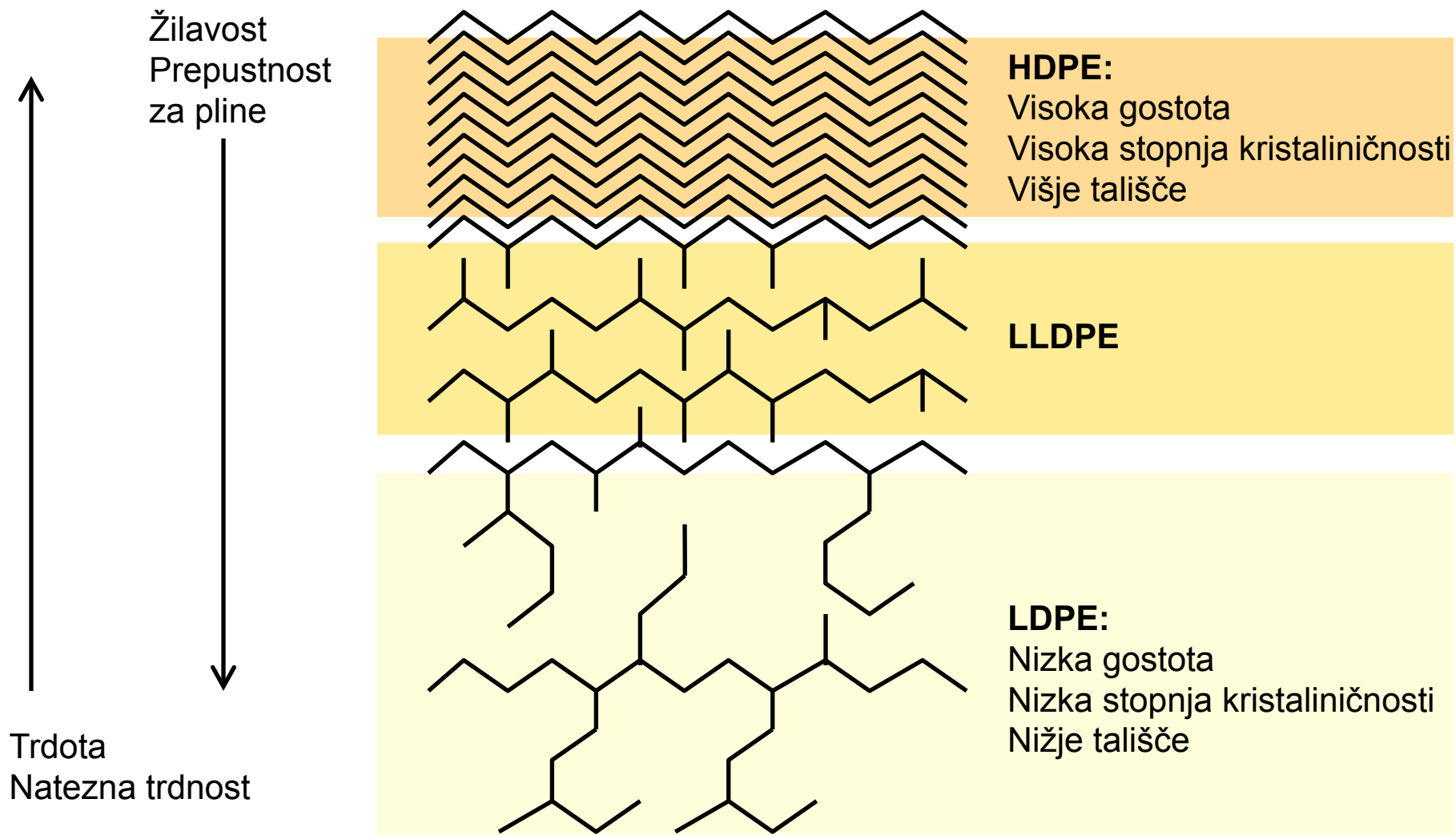
- **AMORFNI POLIMERI**: polimerne verige so neurejene in prepletene.
- **KRISTALINIČNI POLIMERI**: polimerne verige so urejene, zlagajo se v lamele in sferulite. Stopnjo urejenosti polimernih verig opišemo s stopnjo kristaliničnosti.



- Relativno majhne spremembe v velikosti in razporeditvi amorfnih in kristaliničnih področij pomembno vplivajo na **mehanske lastnosti polimera**.
- Kristalinični polimeri v primerjavi z amorfnimi:
 - imajo boljše mehanske lastnosti,
 - imajo višjo gostoto,
 - imajo višjo trdoto,
 - so bolj odporni proti toplom in kemikalijam,
 - njihova predelava je zahtevnejša.

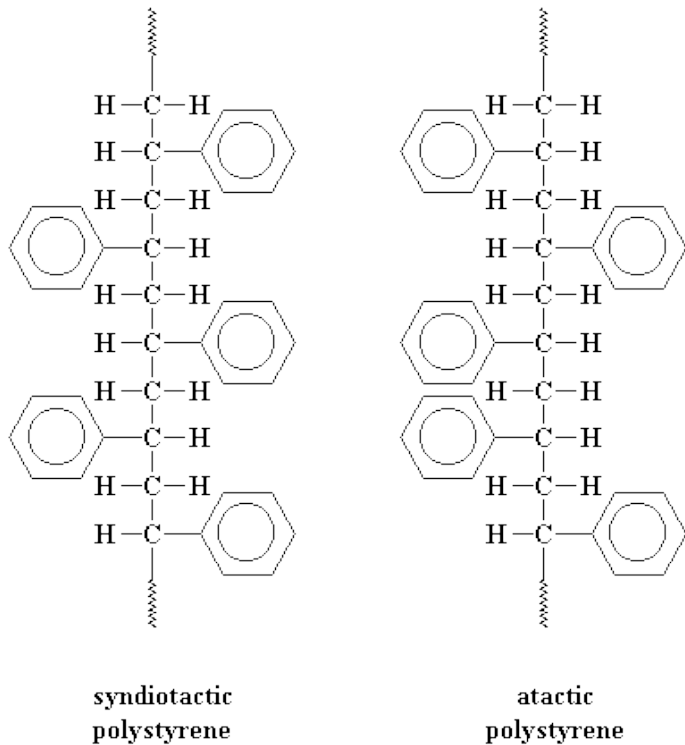
- Stopnja kristaliničnosti določajo **sekundarne sile**, ki so:
 - Van der Waalsove (disperzijske) sile
 - Dipol-dipolne (polarne) sile,
 - Vodikove vezi,
 - Ionske vezi.
- Na stopnjo kristaliničnosti vplivajo:
 - Sestava in struktura polimera (velikost substituentov, razvejenost)
 - Pravilnost strukture (simetrija, taktičnost)
 - Jakost sekundarnih interakcij
 - Gibljivost polimernih verig (bolj gibljive verige se težje urejajo)
 - Molekulska masa verig
 - Stopnja kristaliničnosti lahko pri nekaterih polimerih povečamo z **orientiranjem verig** oz. z mehanskim raztezanjem (VLAKNA).

Vpliv razvejenosti polietilena na kristaliničnost in lastnosti polietilena:



Vpliv taktičnosti polistirena:

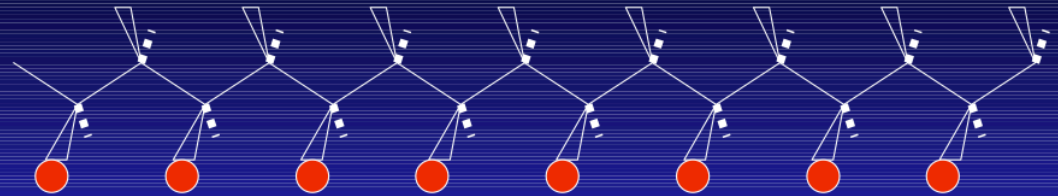
- Sindiotaktičen in izotaktičen je praviloma kristaliničen
- Ataktičen je amorfen



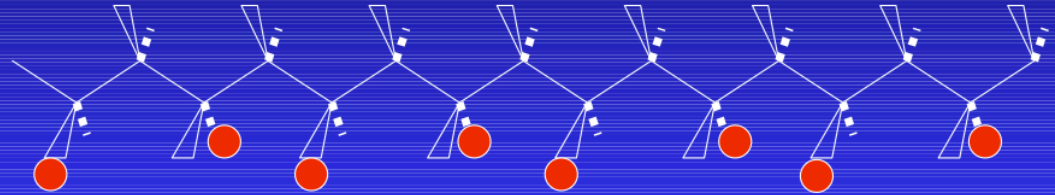
Syndiotactic polystyrene has a regular structure, so it can pack into crystal structures. The irregular atactic polystyrene can't.

Configurational Isomerism

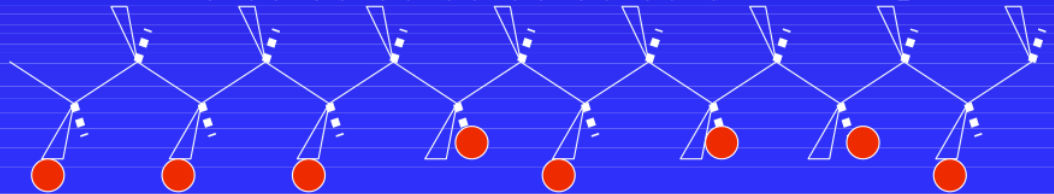
Isotactic: (+-)(+)(-)(+)(-)(+)(-)(+)



Syndiotactic: (+-)(-+)(+)(-)(+)(-+)(+)(-+)

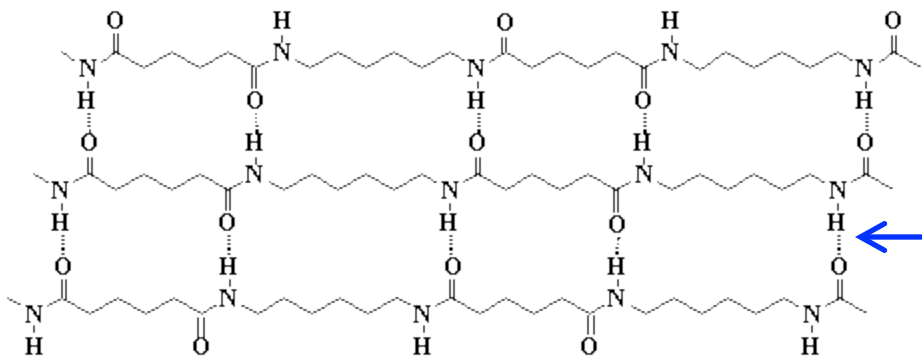


Atactic: (+-)(+)(-)(-+)(+)(-+)(-+)(+-) for example



- Vpliv sekundarnih interakcij na kristaliničnost za poliamid 6,6 in polietilentereftalat:

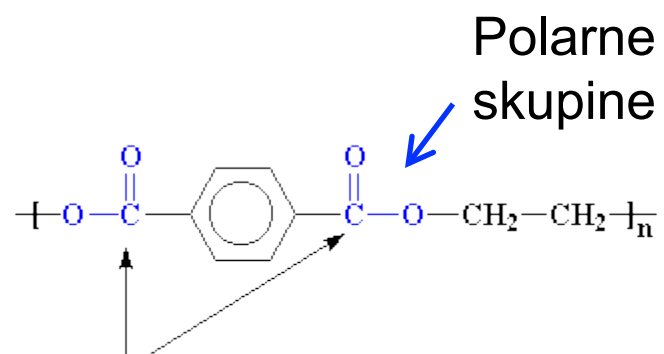
Poliamid 6,6:



In nylon 6,6, the carbonyl oxygens and amide hydrogens can hydrogen bond with each other. This allows the chains to line up in an orderly fashion to form fibers.

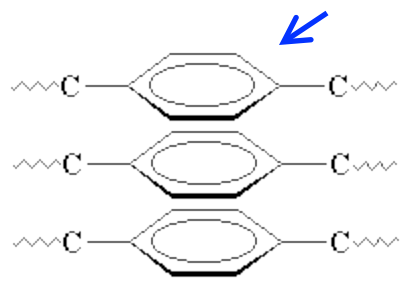
Poliamidi kristalizirajo zaradi vodikovih vezi med amidnimi $-NHCO-$ skupinami

Polietilentereftalat:



The polar ester groups in this poly(ethylene terephthalate) hold the polyester into strong crystals.

Interakcije med aromatskimi obroči



The phenyl rings in poly(ethylene terephthalate) stack in an orderly fashion to form strong crystals.

- Kristalizacijo preprečujejo:
 - **Velike substituentne na glavni verigi** ovirajo rotacijo okoli enojne vezi in povečajo togost verige, kar povzroča težave pri zlaganju verige v kristale (polimetilmetakrilat, polistiren).
 - **Toga aromatska struktura** poveča togost verige (po drugi strani pa se molekule lahko urejajo zaradi interakcij med aromatskimi obroči (polietilentereftalat)).
 - **Velika gibljivost polimerne verige** (kavčuki).
 - **Visoka gostota zamreženja** (fenol-formaldehidne smole).

TOPLOTNI PREHODI POLIMEROV

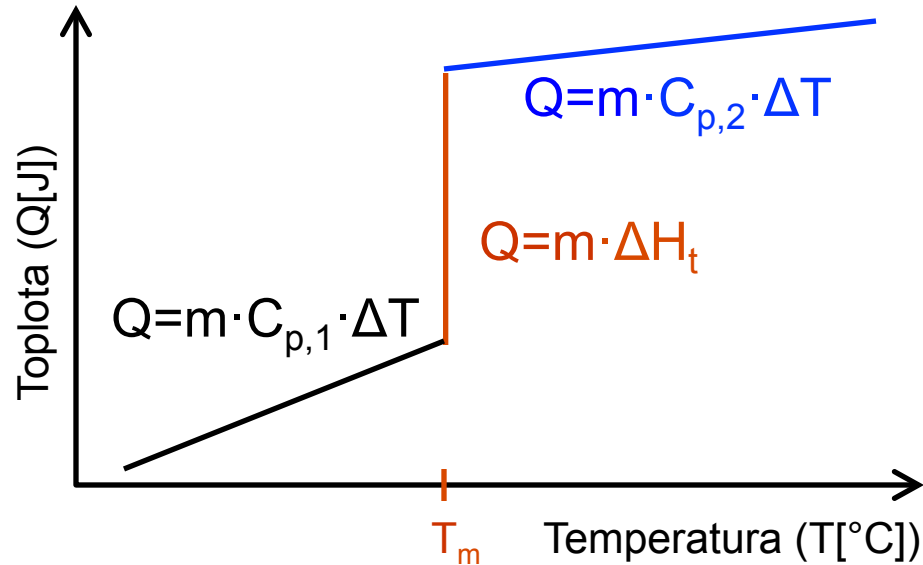
- Pri polimerih poznamo dva toplotna prehoda:
 - **TALIŠČE KRISTALINIČNEGA DELA**
(T_m ... TEMPERATURA TALIŠČA)
 - **STEKLAST PREHOD AMORFNEGA DELA**
(T_g ... TEMPERATURA STEKLASTEGA PREHODA)
- Pri toplotnih prehodih se:
 - spremenita **specifični volumen in specifična toplota** polimera.
 - spremenijo **mehanske lastnosti** polimerov.
- **Toplotni prehodi določajo temperaturno območje uporabe polimerov.**
- Delno kristalinični polimeri imajo **oba** toplotna prehoda.
- Visoko zamreženi polimeri **nimajo** toplotnih prehodov.
- Toplotni prehod polimera poteka **v širokem širokem temperaturnem območju** zaradi polidisperznosti molekulske mase polimera in ker so lahko polimerni kristali različnih velikosti.

I. TALIŠČE KRISTALINIČNEGA DELA

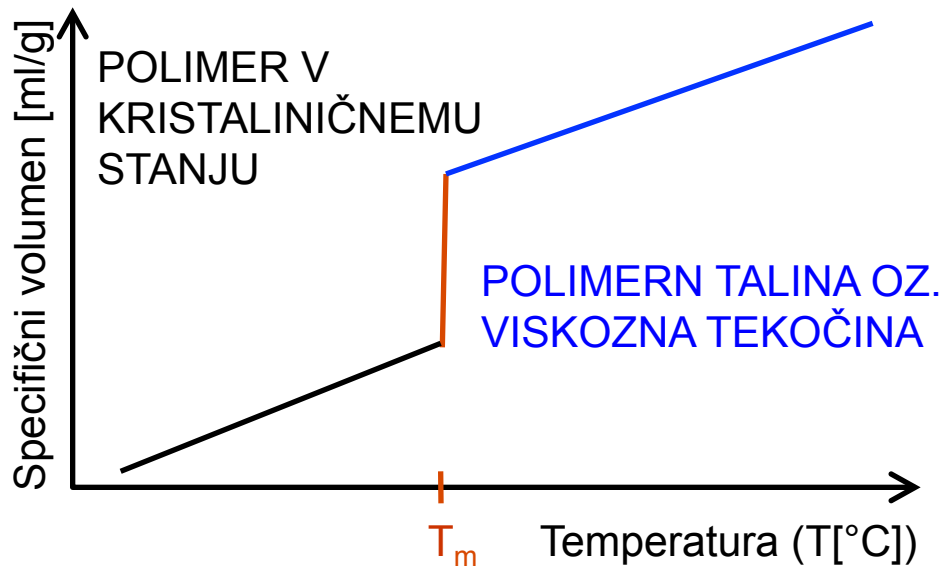
- Pri taljenju prehaja polimer **iz urejenega, kristaliničnega (TRDNEGA) stanja v neurejeno, amorfno (TEKOČE) stanje**. Po taljenju so makromolekule v obliki naključnega klobčiča.
- **Gibljivost makromolekul in njihovih segmentov v talini je velika**. Če na staljen polimer delujemo z neko silo, se ta premika v smeri delovanja zunanje sile. Premikajo se molekule. **Deformacija, ki je posledica delovanja sile, je velika in nepovratna**.

V kristaliničnem stanju je deformacija zaradi vpliva zunanje sile zelo majhna in skoraj v celoti povratna (če ne pride do loma).
- Obraten proces od taljenja je kristalizacija.

TALJENJE IN KRISTALIZACIJA



Taljenje je toplotni prehod prvega reda

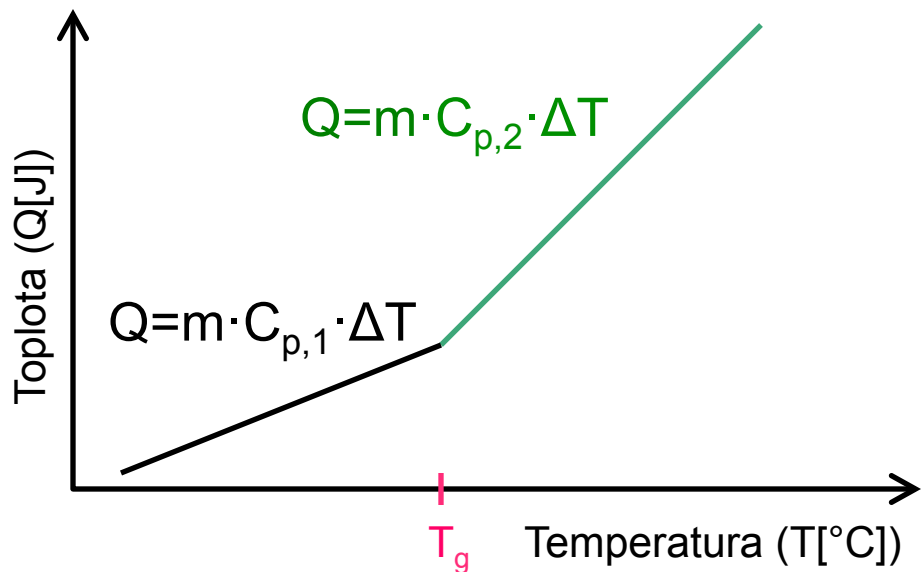


II. STEKLASTI PREHOD AMORFNEGA DELA

- Med segrevanjem, med steklastim prehodom prehaja polimer **iz steklastega (TRDEGA IN KRHKEGA) stanja v viskoelastično (GUMIJASTO) stanje**. Pri ohlajanju pa prehaja polimer iz gumijastega v steklasto stanje.
- V steklastem stanju so zaradi intermolekularnih interakcij polimerne molekule "zamrznjene" v amorfni obliki. Ni nihanj ali rotacij okoli enojnih vezi glavne polimerne verige. Nihajo in rotirajo lahko le krajši odseki verig (kratki premiki).
- V gumijastem stanju postanejo gibljivi večji segmenti ali odseki molekul – prisotna so nihanja in rotacije okoli enojnih vezi glavne verige polimera.
- V gumijastem stanju se odseki makromolekul pod vplivom delovanja zunanje sile orientirajo v smeri delovanja sile. Deformacija je velika in v večji meri povratna.

V steklastem stanju je deformacija zaradi vpliva zunanje sile zelo majhna in skoraj v celoti povratna.

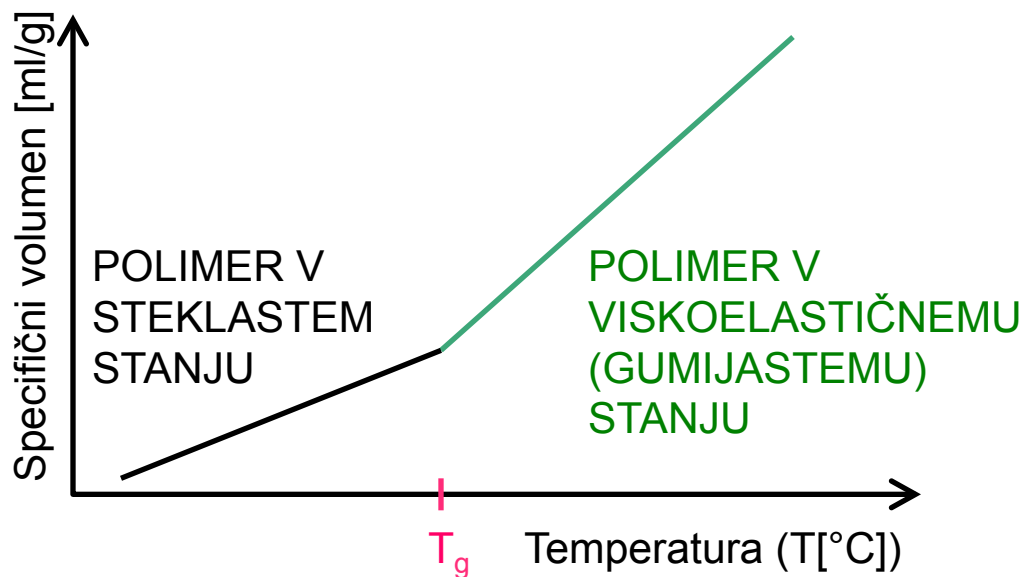
STEKLASTI PREHOD



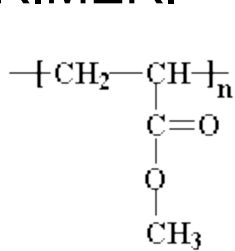
Steklast prehod je toplotni prehod drugega reda

PREHOD V STEKLASTO STANJE
←

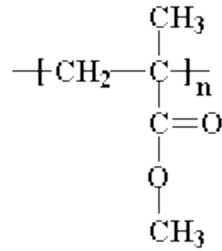
→
PREHOD V GUMIJASTO STANJE



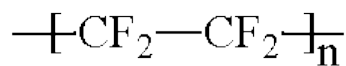
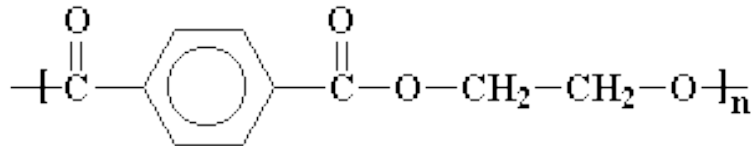
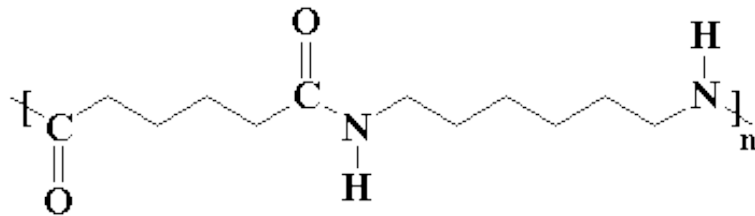
PRIMERI

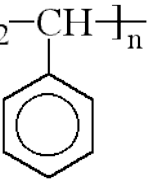


This is poly(methyl acrylate).
It is soft and rubbery.



This is poly(methyl methacrylate).
It is a hard plastic.



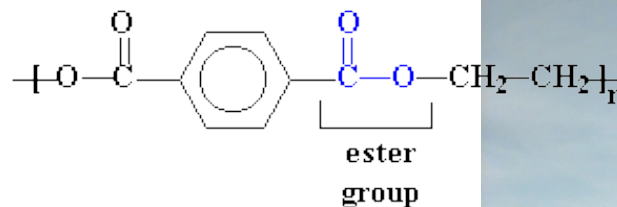
- Polimetilmetakrilat (PMMA) – pleksi steklo: $T_g = 105^\circ\text{C}$, $T_m = 220^\circ\text{C}$
- Polistiren (PS) – (stiropor) lončki za hladne in tople napitke: $T_g = 100^\circ\text{C}$, $T_m = 250^\circ\text{C}$

- Poliheksametilen-adipamid (PA 6,6) – oblačila: $T_g = 50^\circ\text{C}$, $T_m = 265^\circ\text{C}$
- Polietilentereftalat (PET) – plastenke: $T_g = 61^\circ\text{C}$, $T_m = 270^\circ\text{C}$
- Politetrafluoroetilen (PTFE- teflon) – ležaji, tesnila, obloga posod (gospodinjstvo), vesoljska plovila: $T_g = 117^\circ\text{C}$, $T_m = 327^\circ\text{C}$
- Sintetični kavčuki – guma: $T_g < -20^\circ\text{C}$, $T_m < 0^\circ\text{C}$.

- Poleg temperature steklastega prehoda in temperature tališča, imajo lahko polimeri tudi **TEMPERATURO TEČENJA (T_f)**
- T_f je temperatura, pri kateri amorfen polimerni material prehaja iz viskoelastičnega stanja v tekoče stanje.
- Temperatura tečenja (T_f) je praviloma višja kot temperatura steklastega prehoda (T_g).

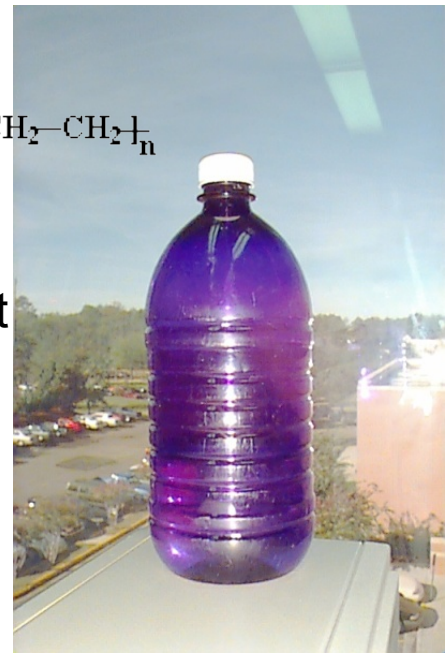
Vrste polimerov glede na lastnosti pri povišanih temperaturah:

- **PLASTOMERI (ali TERMOPLASTI)**

- So **linearni ali razvejeni**.
- So amorfni ali kristalinični (z večjo ali manjšo stopnjo kristaliničnosti).
- So topni.
- So taljivi.
- **Pri visokih temperaturah zmehčajo in takrat jih lahko oblikujemo. Ko se ohladijo, se strdijo in zadržijo obliko. Lahko jih večkrat preoblikujemo.**
- Jih mehansko recikliramo.
- Večino polimerov uvrščamo med plastomere.
Značilni predstavniki so:
polietilen, polipropilen, polistiren,
polivinilklorid, polimetilmetakrilat,
polietilentereftalat, ...

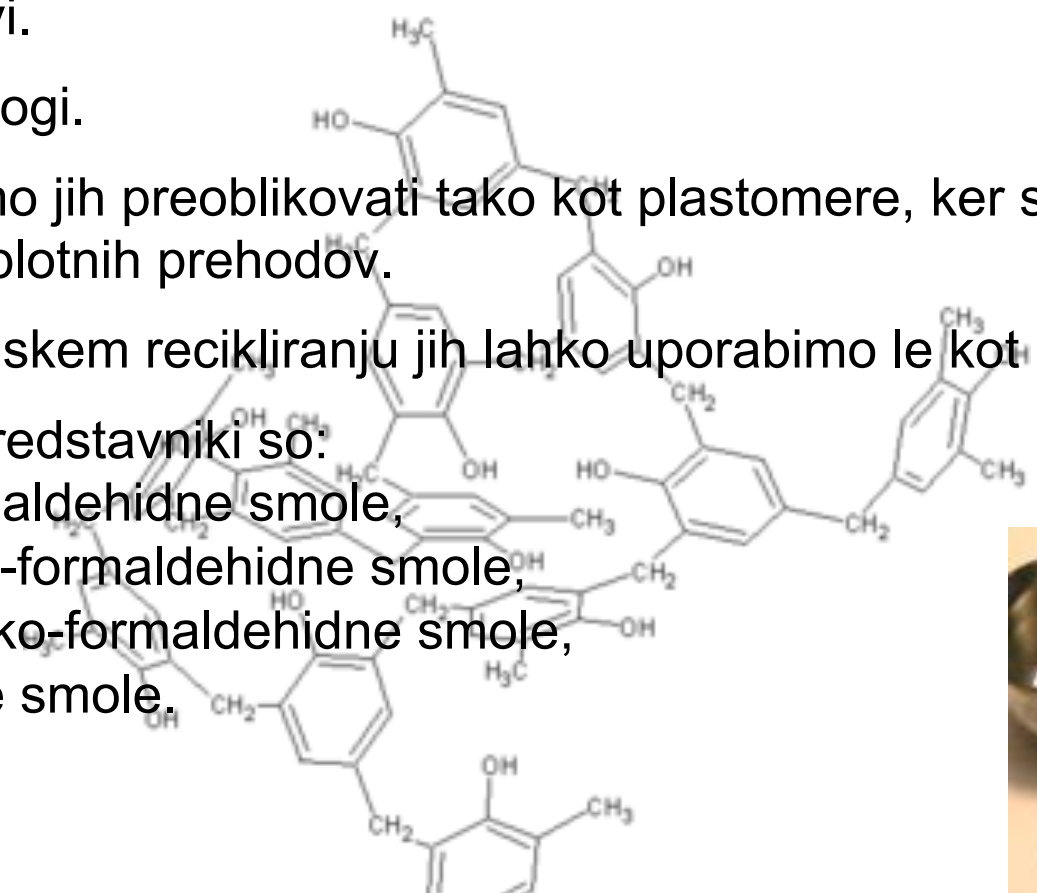


polietilentereftalat



- **DUROMERI (ali DUROPLASTI)**

- So **visoko zamreženi** polimeri.
- So amorfni.
- So netopni.
- So netaljivi.
- So trdi in togi.
- Ne moremo jih preoblikovati tako kot plastomere, ker so zamreženi. Nimajo toplotnih prehodov.
- Po mehanskem recikliranju jih lahko uporabimo le kot polnila.
- Značilni predstavniki so:
fenol-formaldehidne smole,
sečninsko-formaldehidne smole,
melaminsko-formaldehidne smole,
epoksidne smole,

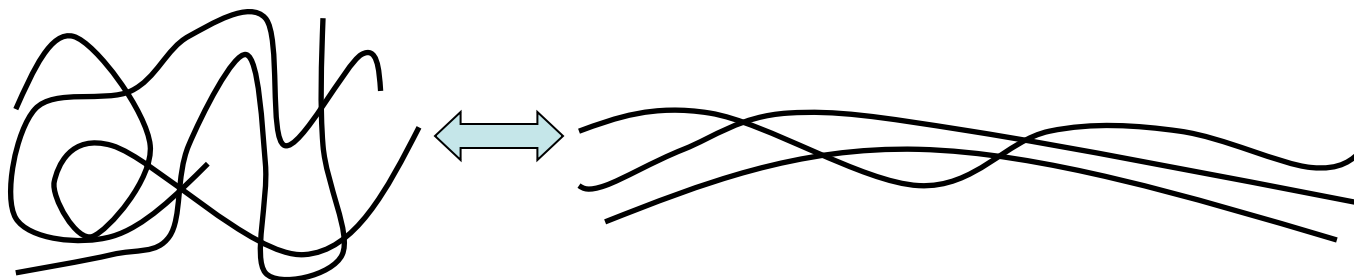
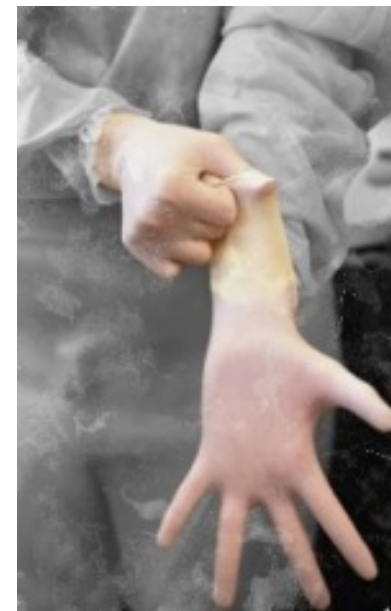


BAKELIT
(fenol-formaldehidni duromer)

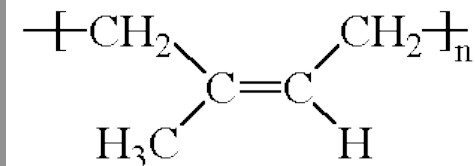


• ELASTOMERI

- Imajo visoko elastične lastnosti. Deformacija je že pri majhnih obremenitvah velika in povratna.
- So **rahlo zamreženi polimeri**.
- So netopni, vendar nabrekajo v topilih.
- So netaljivi.
- Značilni predstavniki so naravni in sintetični kavčuki.
- Poznamo tudi termoplastične elastomere (so taljivi in topni, ker rahlo "zamreženosti" omogočajo sekundarne interakcije ali ionske vezi med polimernimi verigami. Pri povišani temperaturi ali v topilu te vezi razpadejo.)

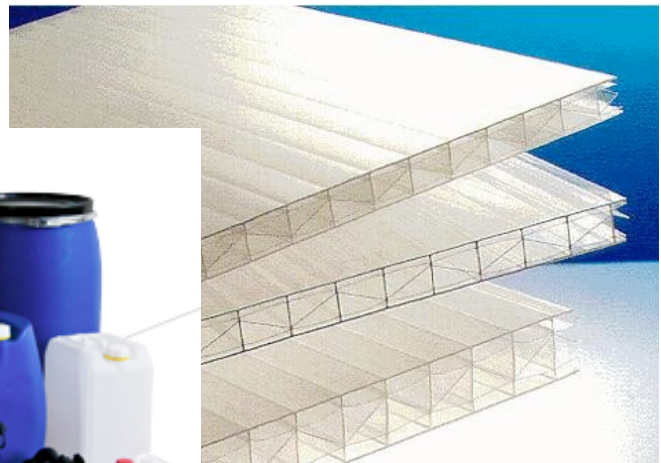


poliizopren



Delitev polimerov glede na področje uporabe:

- PLASTIKA,
- POLIMERNA VLAKNA,
- ELASTOMERI,
- LEPILA (ADHEZIVI),
- PREMAZI,
- ...

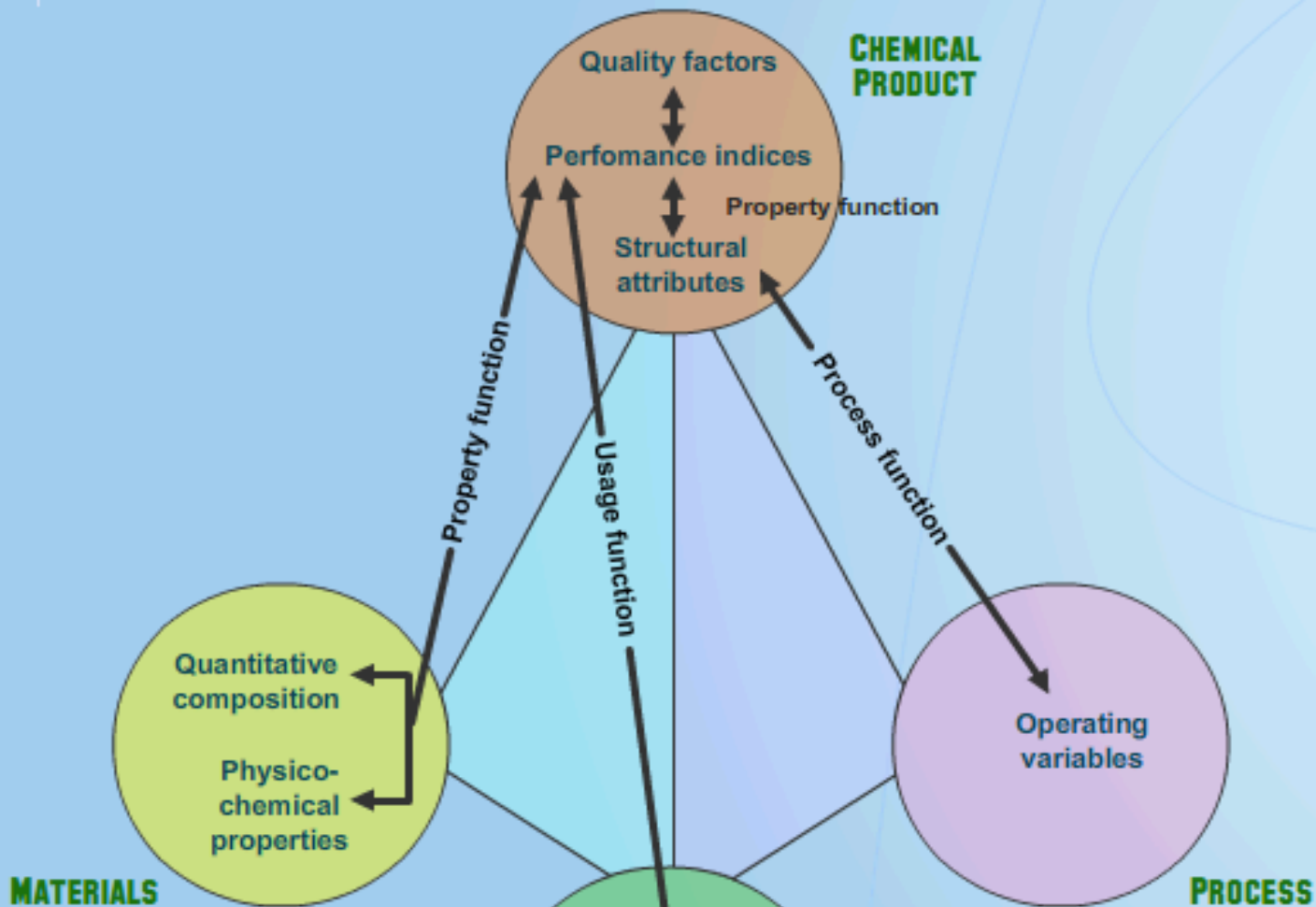


Vrste polimerov glede na izvor:

- **ORGANSKI** ali **ANORGANSKI**,
 - **NARAVNI** ali **SINTETIČNI**.
-
- **Naravni anorganski polimeri**: sljuda, azbest, glina,...
 - **Naravni organski polimeri**, kot so polisaharidi (škrob, celuloza), proteini, peptidi, encimi, polipeptidi (volna, svila, usnje), les (kompozit celuloznih vlaken in zamreženega lignina kot veziva, mehčalo je voda), naravni kavčuk, naravne smole,...
 - **Modificirani naravni polimeri**. Z nitriranjem in acetiliranjem celuloze dobimo nitrocelulozo (eksploziv) ali acetat celuloze (uporaba za vlakna). Celuloid je nitroceluloza, omehčana s kafro. Usnje, ki ga dobimo s strojenjem živalskih kož, je prvi poznani modificirani naravni polimer.

- **Sintetični (umetni) polimeri** so rezultat raziskav kemikov v 19. in 20. stoletju. Njihova komercializacija se je začela z izumom vulkanizacije naravnega kavčuka (Goodyear, 1839). Prvi industrijski in popolnoma sintetični polimer je bakelit. Razcvet polimerne industrije pa se zgodi pred in po 2. svetovni vojni.
- **Sintetični (umetni) polimeri** iz obnovljivih virov

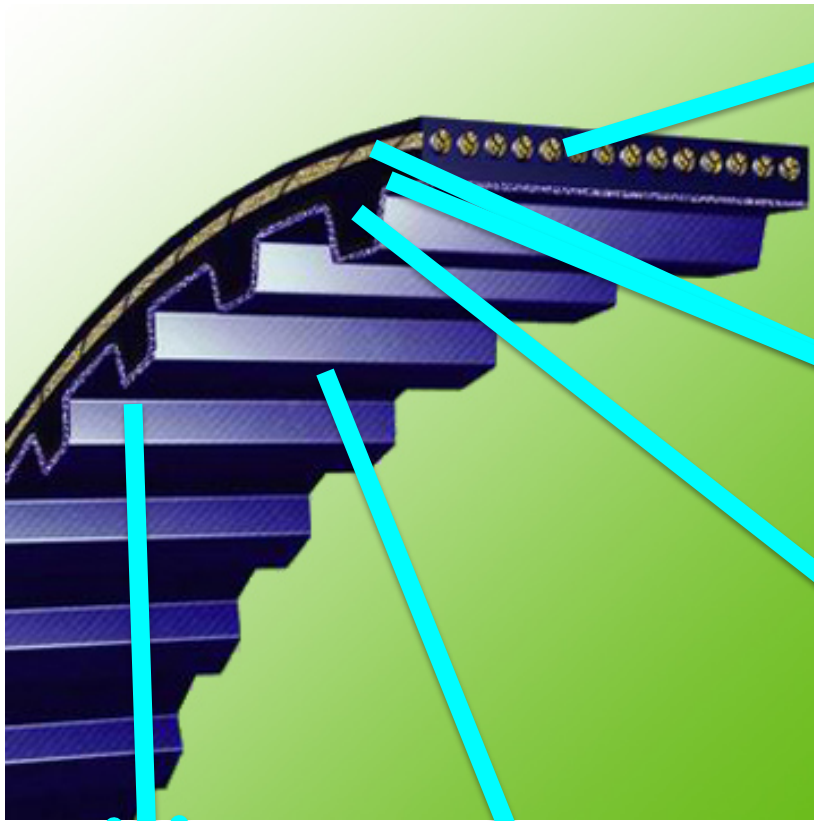
- V preteklosti je razvoj na področju polimernih materialov temeljil predvsem na sintezi novih polimerov.
- Danes gre razvoj v smeri izboljšanja lastnosti poznanih polimerov ter v smeri uporabe obnovljivih virov surovin.
- V ta namen se:
 - pripravljajo nove **POLIMERNE MEŠANICE IN KOMPOZITI.**
 - razvijajo se **POLIMERNI NANOKOMPOZITI.**
 - uporabljajo se **OBNOVLJIVI VIRI SUROVIN.**
- Pričakovati je, da bo v prihodnosti trend zamenjave klasičnih materialov (kovina, kamen, les) s polimernimi še bolj izrazit, saj bomo znali načrtovati lastnosti polimernih materialov in njihovih kompozitov. (PIRAMIDA KEMIJSKEGA PRODUKTA)



8.20066601969302	$\times 10^7$	5.44013408478349	$\times 10^{22}$	0.4753954
4.11890091840178	$\times 10^{25}$	1.67721652891487	$\times 10^{23}$	3.11279547
4.57557043991983	$\times 10^6$	3.46228387672454	$\times 10^8$	0.01201748
4.12614326458424	$\times 10^4$	9.86181692220271	$\times 10^{28}$	4.9353540
0.267990371212363	$\times 10^{15}$	5.22910552099347	$\times 10^9$	2.91641090
0.88121950160712	$\times 10^6$	9.88943485543132	$\times 10^3$	2.7655047
6.87911661807448	$\times 10^{13}$	3.46366624813527	$\times 10^2$	8.3259709

USAGE

Chemical product pyramid



KORDI (jeklo, steklo, polimer, ...)

- odpornost na nateg (raztegovanje jermena), dimenzijska stabilnost
- mehanska trdnost, žilavost

VEZIVNI SISTEM (izocianat, rezol,...)

- vezava kord-guma
- vezava tkanina-guma

GUMENA ZMES (zamreženi naravni kavčuk ali sintetični kavčuki ali zmesi kavčukov + saje + zamreževalo + dodatki)

- elastičnost
- obstojnost pri deformaciji na upogib
- vezava na tkanino in korde
- odpornost na oksidacije, olja, temperaturo,...

TKANINA (sintetični polimer: nylon, poliester, aramid,...)

- maksimalna fleksibilnost med upogibanjem jermena
- ščiti površino zob pred prehitro obrabo oz. abrazijo

ZOB

- visoka odpornost na strižne obremenitve
- idealno prileganje jermenici in gladko drsenje

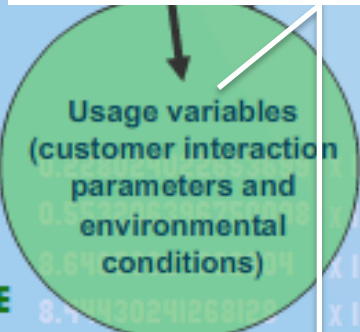
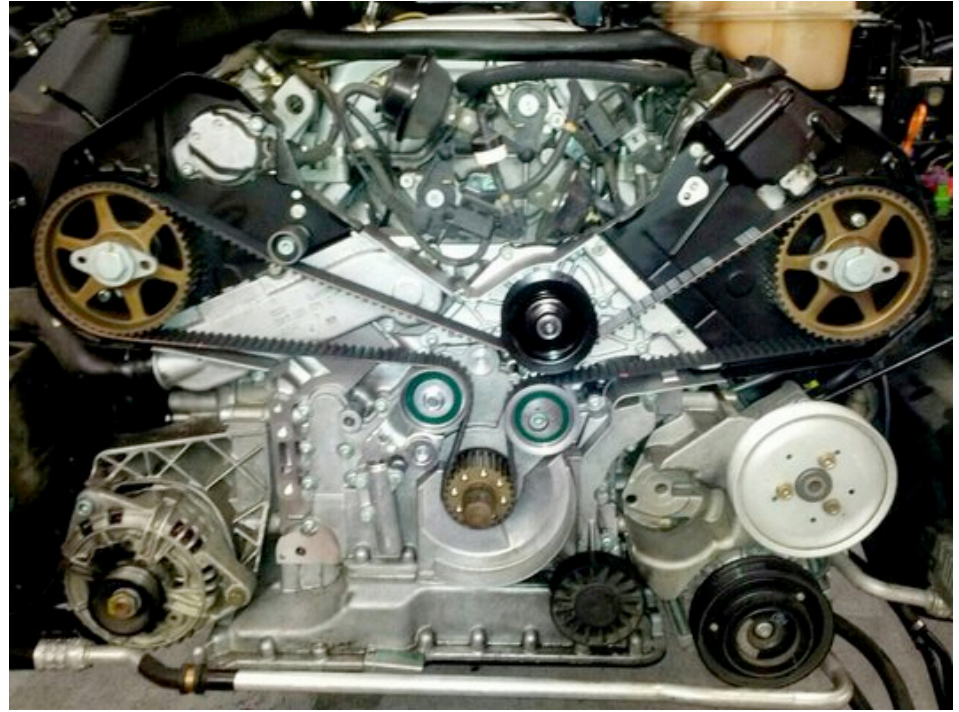
- Življenjska doba jermena



- Mehanska trdnost - odpornost na nateg, upogib in strig
- Abrazijska odpornost
- Odpornost na olja, masti, ozon
- Staranje



**CHEMICAL
PRODUCT**



- Temperatura
- Okolje: olja, masti, ozon...
- Karakteristike motorja, jermence
- Življenjska doba avtomobila

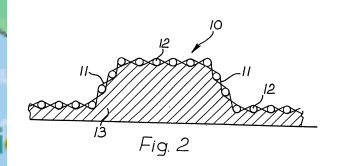
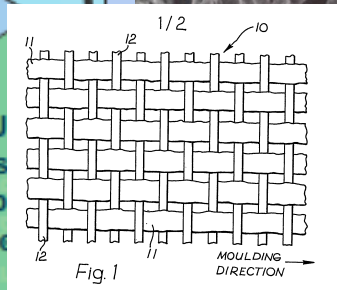
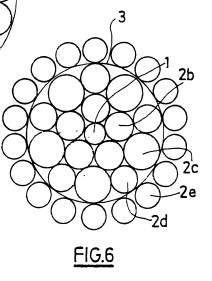
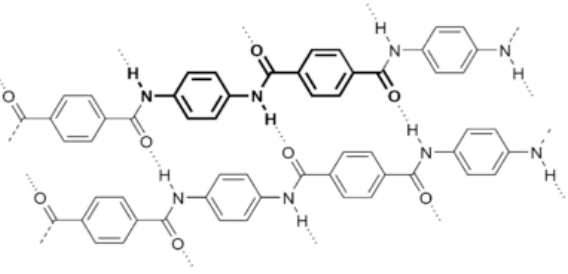
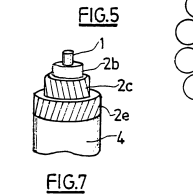
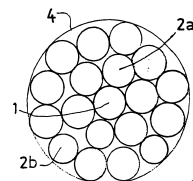
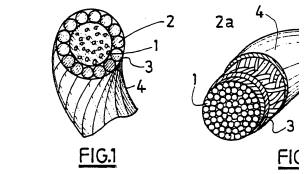
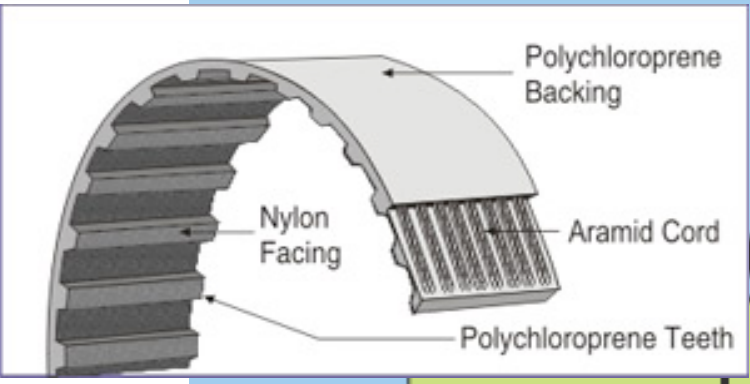
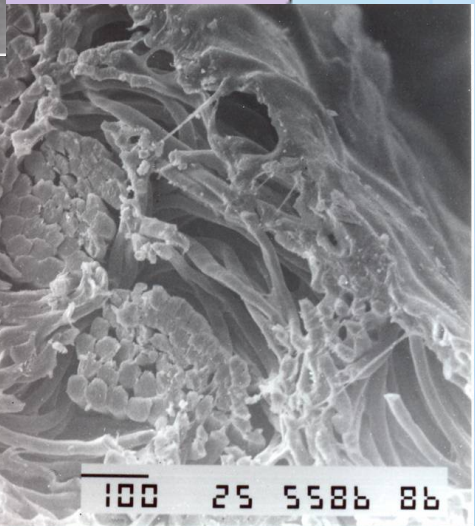
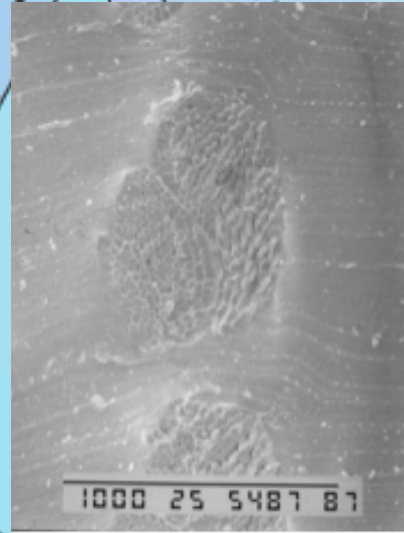
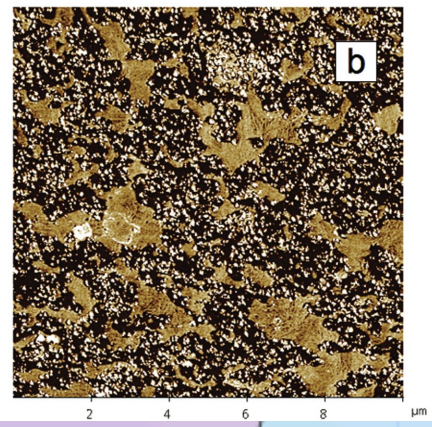
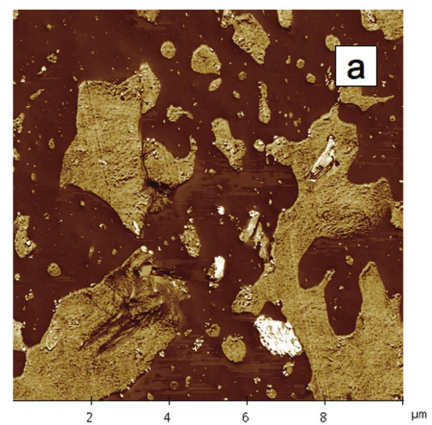
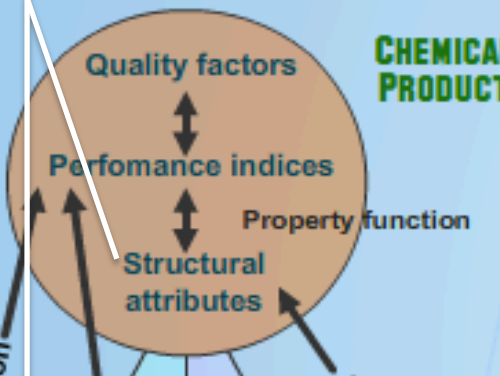
8.20066601969302 x 10⁷
 4.11890091840178 x 10²⁵
 4.57557043991983 x 10⁶
 4.12614326458424 x 10¹⁰
 0.267990371212363 x 10¹⁵
 0.88121950160712 x 10⁸
 6.87911661807448 x 10¹⁰

USAGE

8.41130241268128 x 10¹⁰
 3.34423161111772 x 10¹⁵
 0.42265522220111 x 10¹⁰
 6.76805715076625 x 10¹⁰

Chemical product pyramid

- Geometrija in dimenzije
- Mikro- in nano struktura gumene zmesi
- Struktura in mikrostruktura tkanine
- Struktura in mikrostruktura korda
- Vezava kord-gumena zmes in tkanina-gumena zmes



• GUMENA ZMES:

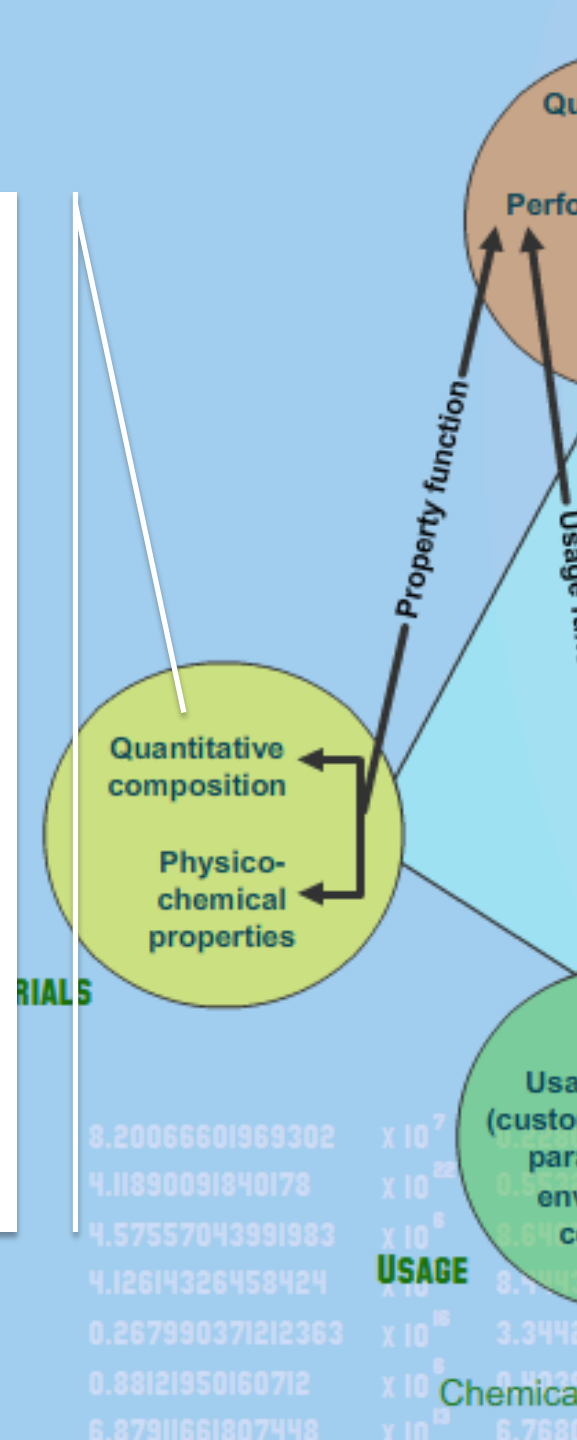
- Sestava (materiali, razmerja količin): kavčuk ali zmes različnih kavčukov, vulkanizacijsko sredstvo (zamreževalo) akceleratorji vulkanizacije, saje, silika...
- Lastnosti: kompatibilnost kavčukov, aktivnost saj, viskoelastične lastnosti kavčukov in zmesi, temperatura steklastega prehoda, temperatura tališča...

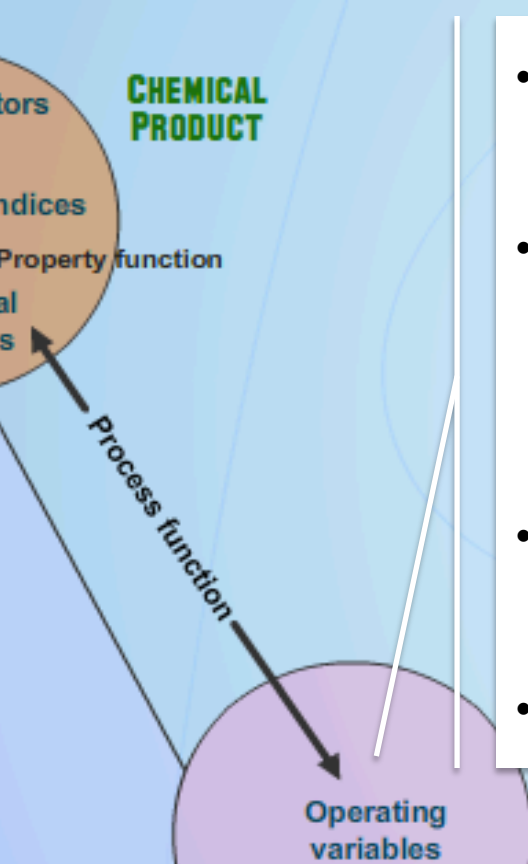
• TKANINA in KORD:

- Sestava: vrsta polimera
- Lastnosti: stopnja kristaliničnosti, temperatura steklastega prehoda, temperatura tališča, vlažnost...

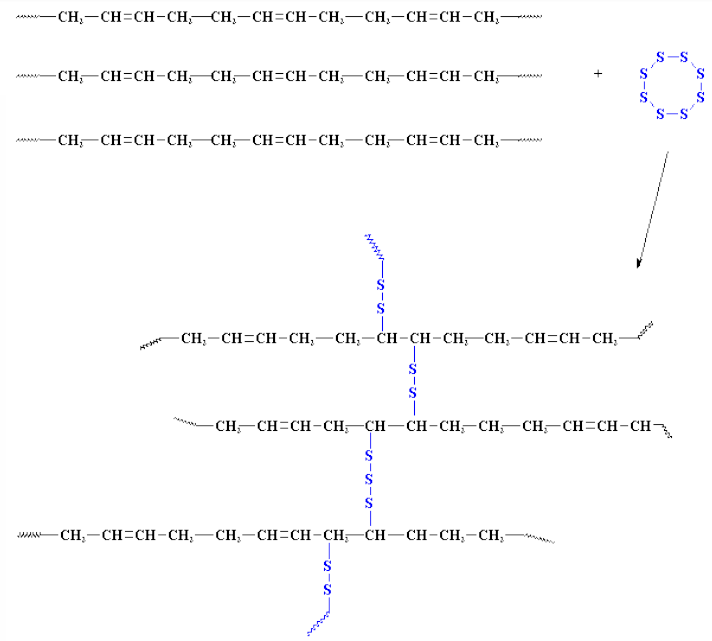
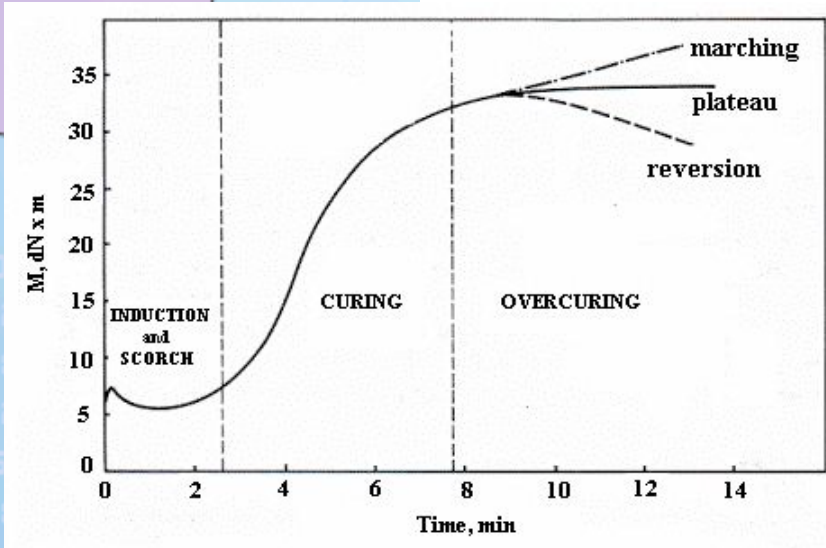
• VEZIVNI SISTEM

- Sestava: vrsta in količina adheziva
- Lastnosti: vrsta kemijske reakcije pri vezavi





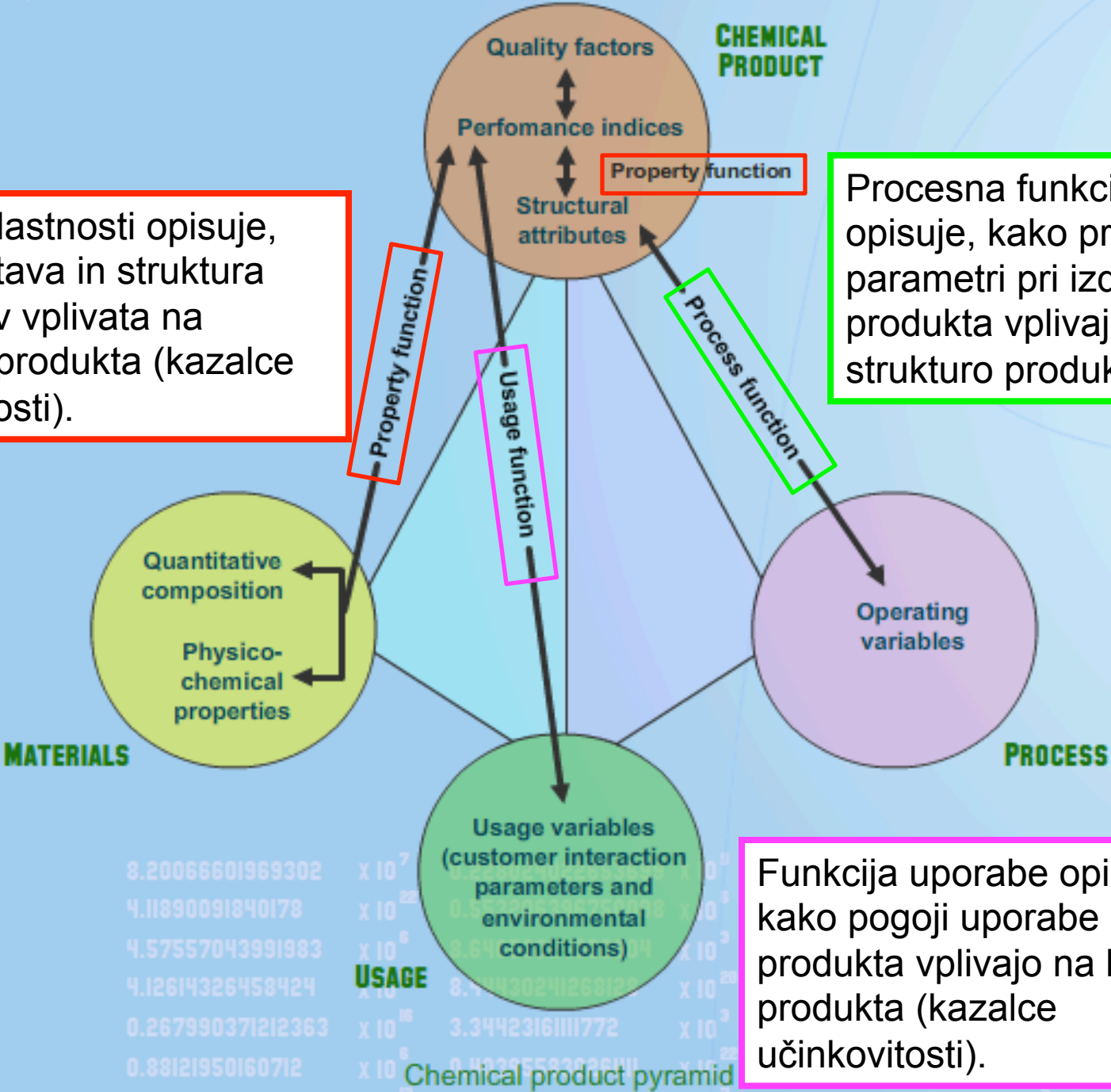
- **PRIPRAVA GUMENE ZMESI:** Masticeranje in kalandriranje (vrsta mešala, obrati, strig, temperatura, čas).
- **PRIPRAVA TKANINE in KORDA:** premazovanje z raztopino gumene zmesi in vezivnega sistema (napetost na tkanini, temperatura, koncentracija veziva, viskoznost raztopine, debelina nanosa ali čas omakanja, odhlapljanje topila)
- **SESTAVLJANJE:** namestitev premazane tkanine plast na plast, navijanje korda (napetosti)
- **VULKANIZACIJA:** temperatura, tlak, čas



Funkcija lastnosti opisuje, kako sestava in struktura produktov vplivata na lastnosti produkta (kazalce učinkovitosti).

Procesna funkcija opisuje, kako procesni parametri pri izdelavi produkta vplivajo na strukturo produkta.

Funkcija uporabe opisuje, kako pogoji uporabe produkta vplivajo na lastnosti produkta (kazalce učinkovitosti).



Za kvantitativen zapis funkcij lastnosti, funkcij uporabe in funkcij procesa se poslužujemo treh pristopov:

(1) Detajlna analiza in modeliranje za zapis teoretične zveze, ko poznamo fenomen, na katerem opisovana funkcija temelji.

(2) Analiza oziroma ocena velikostnega reda na osnovi predpostavk, ko fenomen ni dovolj dobro poznan.

(3) Zapis empiričnega modela s pomočjo aplikativnih statističnih pristopov.

$$OTR_G = \left[\frac{1}{V_L k_l a} + \frac{1}{V_L k_s a} + \frac{\frac{1}{r_o} - \frac{1}{r_i}}{4\pi n D_{o_2, m}} \right]^{-1} (C^* - C_{i, m, j}) \geq Q = Q_{o_2} x$$

Snovna prestopnost (k) za tekočine je reda velikosti 10^{-3} cm/s, difuzivnost (D) pa je reda velikosti 10^{-5} cm²/s.

