

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I THENOLOGIJE

Polimeri i polimerizacijski procesi

Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Katančić
katancic@fkit.unizg.hr

VLAKNA

Podjela polimera prema svojstvima

- Plastika (poliplasti – termoplasti i termoseti)
 - Elastomeri
 - Vlakna
-
- Vlakno se može definirati kao izduženi materijal koji ima više ili manje ujednačen promjer ili **debljinu manju od 250 μm** i **omjer dužine i širine veći od 100**
 - Najbitnija obilježja vlakana:
 - ❑ Omjer dužine i širine
 - ❑ Finoća
 - ❑ Rastezna čvrstoća

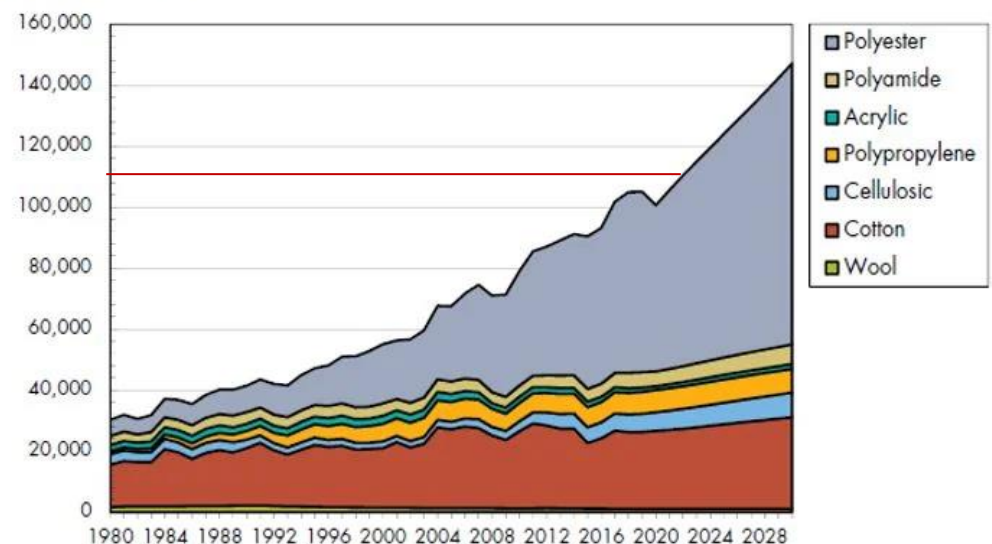
- **Omjer dužine i širine** – minimalno 100, komercijalna vlakna imaju znatno veći omjer; pamuk 1400, vuna 3000, svila 33×10^6
- **Finoća** – mjera za površinu poprečnog presjeka. Što je ta površina manja, vlakno je finije, tanje
 - ❑ Iskazuje se **duljinskom masom** – omjer mase prema duljini, što je vlakno finije duljinska masa je manja
 - ❑ Jedinica duljinske mase je **teks (tex)** – gram na 1000 m duljine vlakna, finoća izražena kao duljinska masa pokazuje koliku masu, u gramima, ima vlakno duljine 1000 m
 - ❑ Zastarjela jedinica je **denier (den)** – masa vlakna dugoga 9 km izraženom u gramima, tj. $\text{den} = \text{g} / 9 \text{ km} = (1 / 9) \text{ tex}$
 - ❑ Prosječna je finoća tekstilnih vlakana 0,1–3 tex
- **Rastezna čvrstoća** – iskazuje se omjerom rastezne prekidne sile i duljinske mase neistegnuto vlakna
 - ❑ Najveću čvrstoću imaju vlakna od sintetskih polimera, srednje su čvrstoće svila i prirodna celulozna vlakna, a najmanje je čvrsta vuna
 - ❑ Za preradbu u većinu tekstilnih proizvoda potrebno je da rastezna čvrstoća vlakana bude najmanje 25 cN/tex

Sintetska vlakna

- Definiraju se kao vlakna dobivena industrijskim procesima, sintezom petrokemijskih polimera, za razliku od prirodnih vlakana koja nastaju biosintezom u prirodi
- **Prirodna vlakna** – svila, vuna (keratin), celuloza i celulozni derivati
- **Sintetska vlakna** – poliesterska, poliamidna, poliakrilna, polipropilenska, polietilenska, poliuretanska
- Svjetska proizvodnja sintetskih i prirodnih vlakana

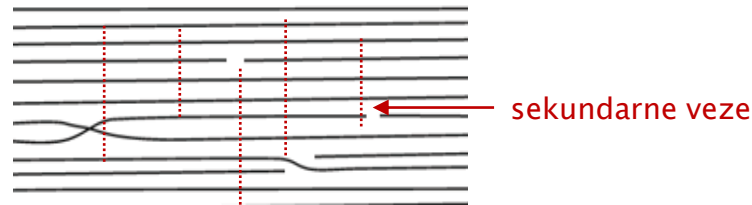
**World Fibre Production by Fibre Type
1980-2030**

Thousand Metric Tons



Grada i svojstva sintetskih vlakana

- Sintetska vlakna su polimeri čije su **makromolekule** (lanci) **izravnate** (ili **skoro izravnate**) i poredane u nizu jedna do druge, uzduž iste osi, **Razgranati i umreženi polimeri nisu pogodni za dobivanje vlakana**



- To je posljedica **uspostave sekundarnih veza** između molekula, time se povezuju u pravilan niz tvoreći **kristalnu strukturu**. To je osnovni uvjet za nastajanje i ispredanje vlakana
- Tako poredani polimeri lanci čine niti vlakna koje se **ispredaju u konac** za izradu odjeće, užadi, tepiha, tehnička vlakna (filtri, membrane...)



molekule polimera



niti – vlakna

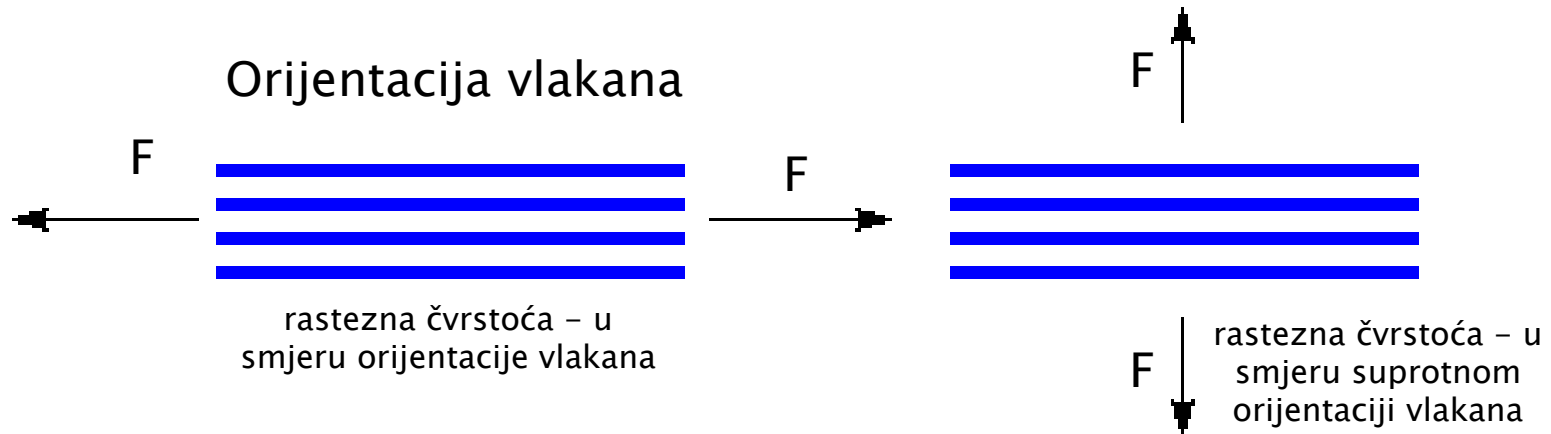


konac

Grada i svojstva sintetskih vlakana

- Sekundarne veze (vodikove veze, polarne, van der Waalove itd.) uspostavljaju se između pojedinih molekula čvrsto ih povezujući i na taj način ih orijentiraju i omogućuju visok stupanj kristalnosti
- Zbog toga molekule polimera ne klize jedna pored druge već su čvrsto povezane, a posljedica je **visoka rastezna čvrstoća**
- Vlakna kad se naprežu u smjeru orijentacije istežu se vrlo malo ili se uopće ne istežu
- Posljedica je da vlakna pokazuju **veliku čvrstoću samo u jednom smjeru** i to u **smjeru u kojem su orijentirana vlakna**

Građa i svojstva sintetskih vlakana



Vlakna su „jaka”, **čvrsta** kada se razvlače u smjeru orijentacije vlakana

Vlakna su **slaba** kad se razvlače okomito na smjer njihove orijentacije

- Vlakna se koriste u kombinaciji s drugim materijalima, kao npr. duromerima (termosetima), koriste se za njihovo ojačavanje
- Nastaju kompozitni materijali, čija čvrstoća može biti jednaka čvrstoći metala (čeliku) jer se nadopunjuju svojstva termoseta i vlakana

Proizvodnja vlakana

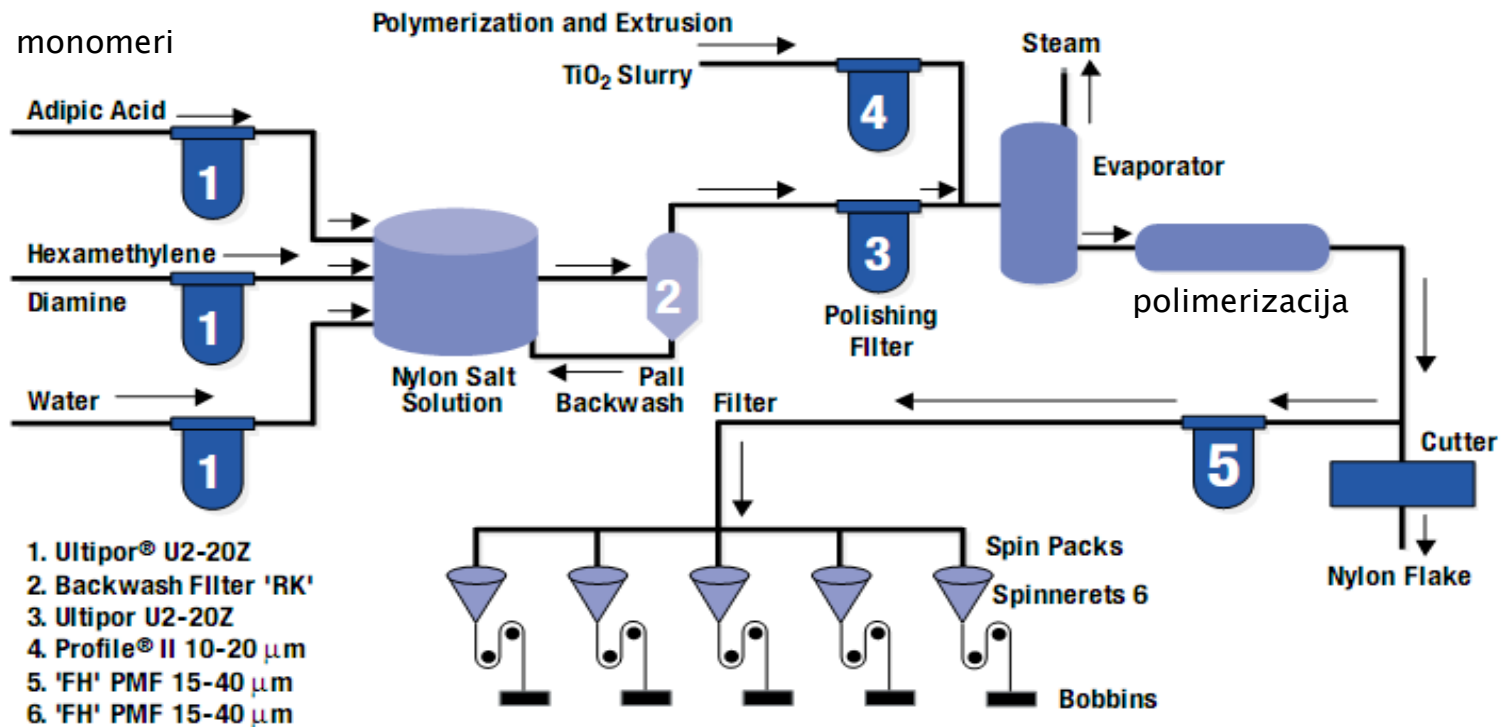
Tehnološki postupak prerade, odnosno dobivanja vlakana sastoji se od:

- Faze polimerizacije polimera
- Faze ispredanja polimera u vlakna
 - Iz otopine – suhim i mokrim postupak ispredanja
 - ❑ Prednost – manja degradacija polimera (niže temp.)
 - ❑ Nedostatak – često su polimeri teško topljivi
 - Iz taljevine – ispredanje ekstrudiranjem
 - ❑ Prednost – jednostavnije, niža cijena proizvodnje
 - ❑ Nedostatak – visoke temp., mogućnost degradacije polimera
- Proces ispredanja vlakana može biti **kontinuirani** i **sastoji se od procesa polimerizacije i ispredanja** ili može biti **diskontinuiran** kada je **svaki proces zaseban**

Proizvodnja vlakana

- Kontinuirani postupak dobivanja vlakana – polimerizacija i ispredanje vlakana

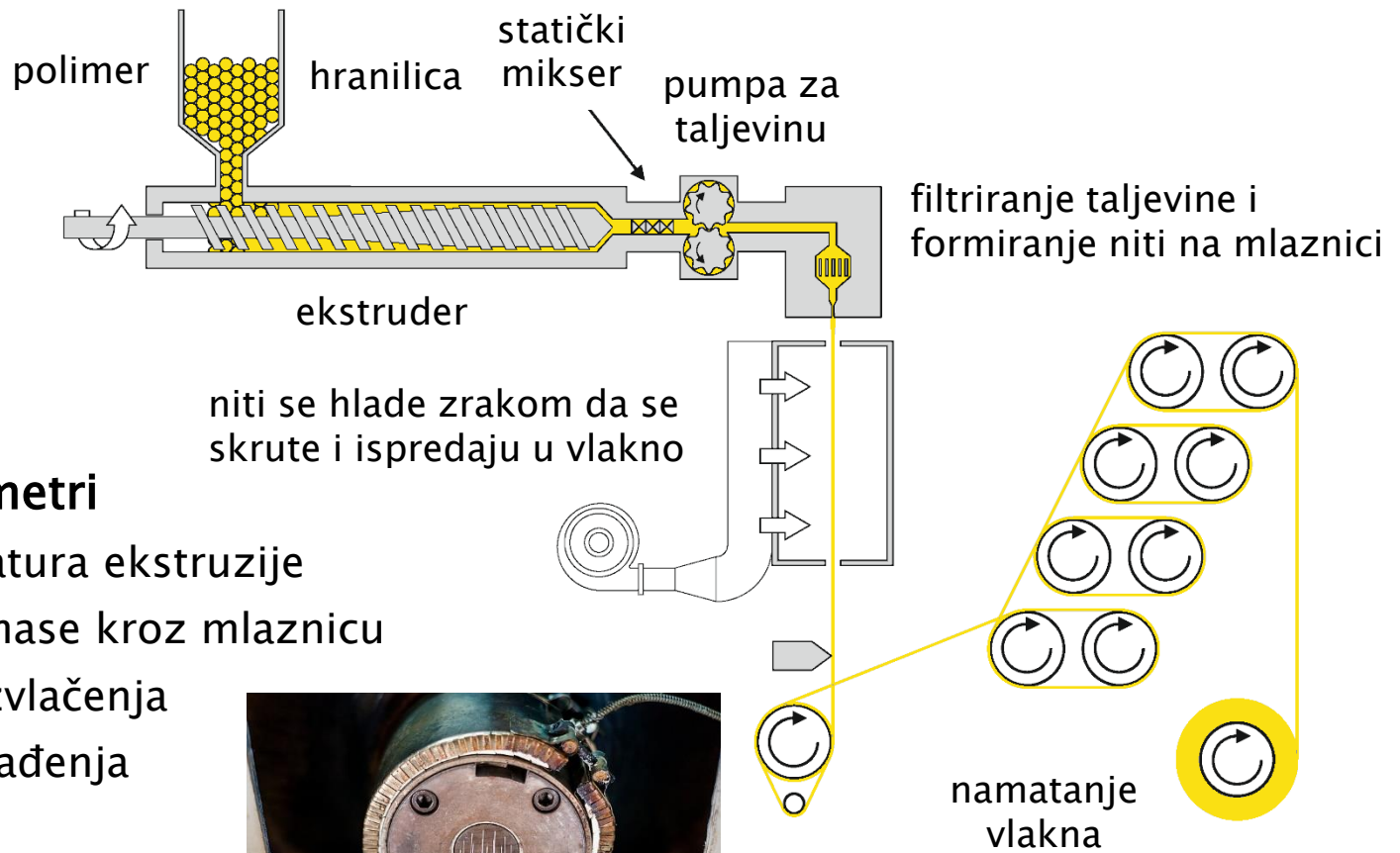
Primjer proizvodnja vlakana najlona 6,6



Kalem (klupka) – namotana vlakna

Proizvodnja vlakana

➤ Proces ispredanja iz taljevine – diskontinuirani proces



➤ Bitni parametri

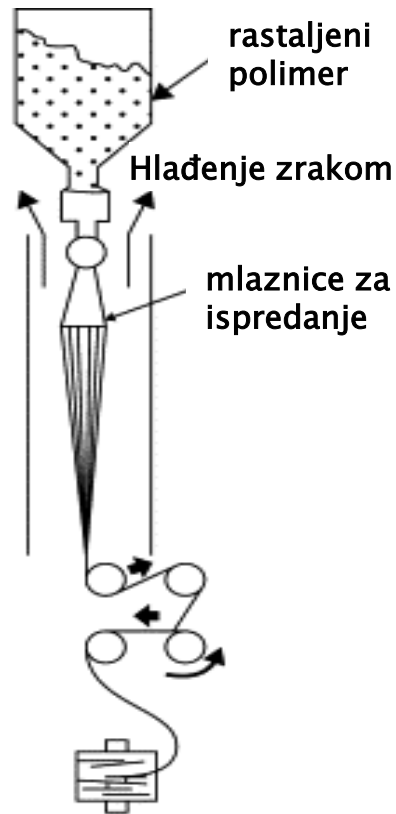
- ❑ Temperatura ekstruzije
- ❑ Protok mase kroz mlaznicu
- ❑ Brzina izvlačenja
- ❑ Uvjeti hlađenja



Proizvodnja vlakana

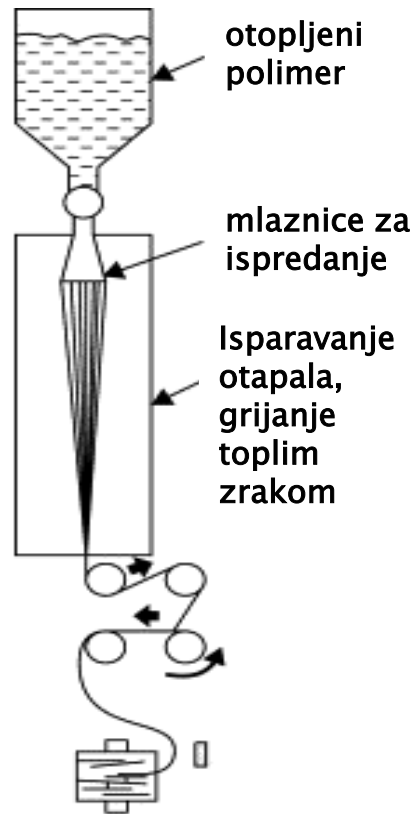
- Diskontinuirani proces – proizvodnja iz **taljevine** i **otopine** (suho/mokro)

Taljevina



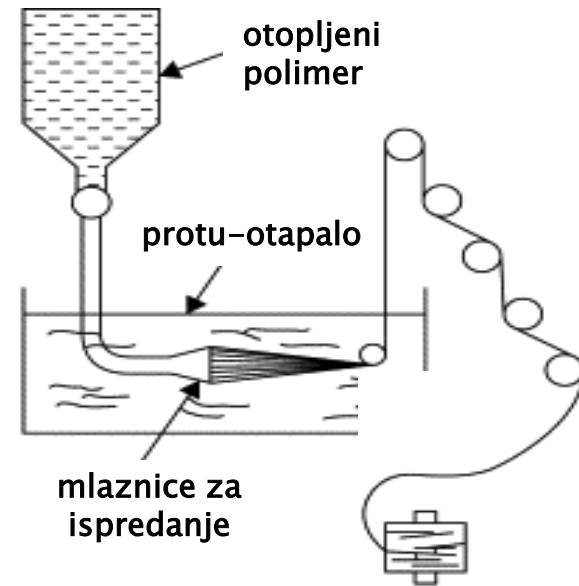
Ispredanje iz taljevine

Otopina Suhi postupak



Suho ispredanje

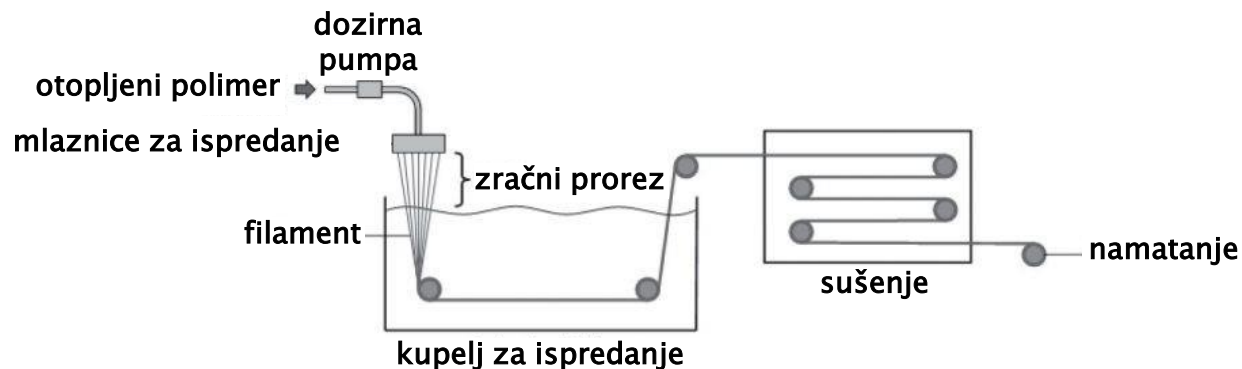
Otopina Mokri postupak



Mokro ispredanje

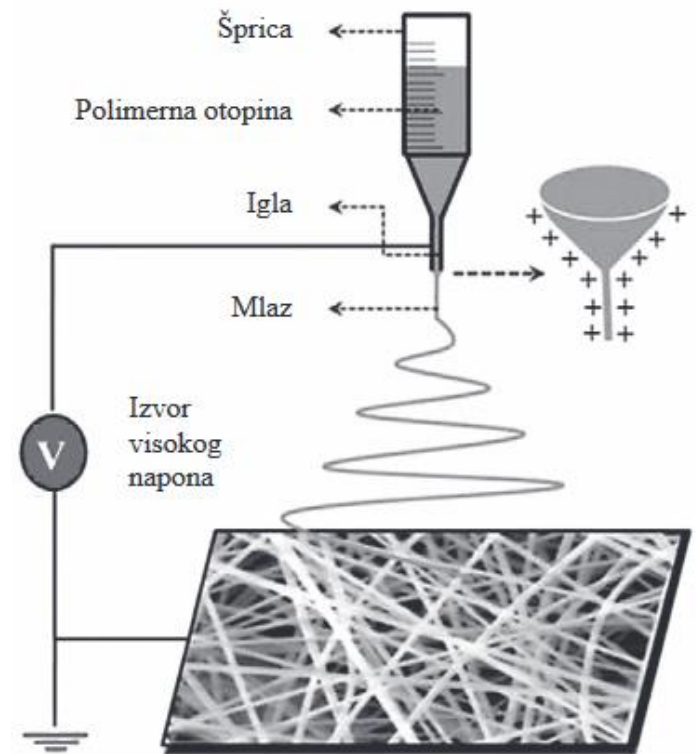
Proizvodnja vlakana

- Ostali procesi dobivanja vlakana
- **Gel ispredanje** – poznato i kao suho–mokro ispredanje
 - ❑ Mlaznica za ispredanje se nalazi iznad kupelji, kako bi se stvorio kratki zračni prorez (filament prolazi kroz zrak – slično kao suhi proces) a zatim ulazi u kupelj (poput mokrog postupka)



Proizvodnja vlakana

- Ostali procesi dobivanja vlakana
- **Elektroispredanje**
 - ❑ posuda s polimernom otopinom (šprica), mlaznica (igla ravnog vrha) povezana s izvorom visokog napona i kolektor vlakana povezan s drugim polom električnog polja
 - ❑ kada se polimerna otopina podvrgne električnom polju, oblikuje se kapljica koja se nabija električnim nabojem na površini
 - ❑ s povećanjem intenziteta električnog polja dolazi do istežanje kapljice u obliku konusa
 - ❑ kada razlika naboja između polimerne otopine i suprotne elektrode postane veća od površinske napetosti otopine dolazi do istežanja polimerne
 - ❑ gibanjem električki nabijenog mlaza dolazi do isparavanja otapala, te oblikovanja vlakna



<https://vimeo.com/736323852>

Uobičajena sintetska vlakna

- **Poliesterska vlakna**
- Uobičajeno je riječ o **PET vlaknima**, dominantna vlakna u industriji
- Niska cijena, trajna, lagana, lagano se bojažu
- U tekstilu i namještaju, tepisima, gumama, sigurnosnim pojasevima automobila, filterima, šatorima, jedrima



geotekstilne tkanine za
ojačanje podloge ceste



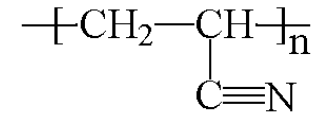
tkanene strukture

Uobičajena sintetska vlakna

- **Poliamidna vlakna (najlon PA6,6)**
- Jedna od najpopularnijih vlakana – visoka čvrstoća, otpornost na abraziju, otpornost na kemikalije i ulja, elastičnost, mekoća
- **Tekstil** – pletiva, čarape, donje rublje, kabanice, skijaška odjeća, odjeća za jedrenje na dasci, plivanje i biciklizam, za kućni namještaj, tepisi i zavjese
- **Industrija** – izvrsna mehanička svojstva i otpornost na zamor
- Upotreba u gumama za kamione i zrakoplove, tkanine za presvlake, sigurnosni pojasevi, padobrani, užad, ribolovna struna, mreže, vreće za spavanje, cerade, šatori

Uobičajena sintetska vlakna

➤ Akrilna vlakna (Poliakrilonitril – PAN)



- Vlakna građena su od linearnih makromolekula koje sadrže najmanje **85 % akrilonitrila** (ostalo su obično vinil–acetat ili metil–akrilat)
- Po prvi put je vlakno dobiveno 1941. godine pod imenom Orlon (DuPont)
- PAN polimer sintetiziran je i ranije, ali nije postajao odgovarajući tehnološki postupak ispredanja budući da je **PAN teško topljiv i ne tali se** (degradira prije nastajanja taljevine pa nije moguće ispredanje iz taljevine)
- Tehnološki proces polimerizacije PAN–a je u emulziji, otopini ili vodenoj suspenziji
- Proces polimerizacije i ispredanja je **kontinuiran**, iz dobivenog polimera direktno se nastavlja proizvodnja vlakna ispredanjem

Uobičajena sintetska vlakna

- **Akrilna vlakna (Poliakrilonitril – PAN)**
- **Zamjena za vunu** (umjetno krzno)
- Akrilna vlakna su topla, mekša za ruke, gusta i elastična
- Jeftinija, otpornija na abraziju i kemijske napade i **stabilniji prema razgradnji od svjetla i topline**, ne napadaju moljci i biološki agensi
- Vrijedna su u vanjskim primjenama, kao što su kabrioleti, šatori i tende



Uobičajena sintetska vlakna

- **Poliolefinska vlakna (HDPE, PP)**
- Izuzetno lagana ($0,90\text{--}0,96\text{ g/cm}^3$), imaju dobra rastezna svojstva, dobru otpornost na abraziju i izvrsnu otpornost na kemikalije, plijesan, mikroorganizme i insekte
- Poliolefinski tekstil slabo upija vlagu, ima dobru izolaciju i ugodan je za kožu pa se koriste za sportsku odjeću i zaštitnu odjeću
- Nedostaci su nisko talište (PE $120\text{--}125\text{ }^{\circ}\text{C}$, PP $160\text{--}165\text{ }^{\circ}\text{C}$), ne mogu se koristiti na visokim temperaturama, PP se ne mogu koristiti na vanjskim površinama jer su osjetljivi na foto-degradaciju, teško ih je bojati, imaju visoku zapaljivost
- Široka upotreba PP u medicini zbog izvrsne kemijske otpornosti i inertnosti, obloge rana, zavoji, kirurške mrežice (npr. mrežica za bruh), jednokratna bolnička oprema (maske, kirurške kute)



Uobičajena sintetska vlakna

➤ Usporedba vlakana

Vlakno	Gustoća (g/cm ³)	Duljinska masa (tex)	Prekidno istezanje (%)	Zadržavanje vlage (%)
Polietilen (HDPE)	0,95	0,5–0,9	10–20	0
Polipropilen (PP)	0,90–0,91	0,2–0,9	15–50	0
Akril (PAN)	1,14–1,19	0,2–0,4	25–55	1,3–2,5
Poliamid	1,14	0,5–0,7	15–40	3,5–5
Poliester	1,38	1,0	25	0,4

Sintetska vlakna visokih performansi

- Vlakna koja imaju **jedno ili više izrazitih svojstava** kao što su elastičnost, otpornost na toplinu, čvrstoća potrebna za važne primjene
- Aramidna vlakna
- Poliuretanska vlakna
- Vlakna polietilena ultra visoke molekulske mase (UHMWPE)
- Zylon (poli(p-fenilen-2,6-benzobizoksazol), PBO) vlakna
- Polibenzoimidazol (PBI) vlakna

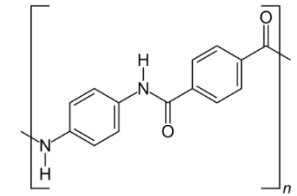
Sintetska vlakna visokih performansi

➤ Aramidna vlakna

➤ Aramidi su aromatski amidi (3. predavanje) – Kevlar i Nomex (DuPont)

➤ Kevlar je *p*-aramid

- ❑ Prsluci otporni na metke i ubode
- ❑ Zaštitne rukavice i zaštitna odjeća za rukovanje oštrim predmetima (statklo, metal, čelik,...)
- ❑ Ojačanje automobilskih guma umjesto čelika, ojačanja polimernih kompozita, brodska užad



BULLET / STAB
PROOF VESTS



DIVING GLOVES



WALKING BOOTS



CUT RESISTANT
GLOVES



BICYCLE TYRES

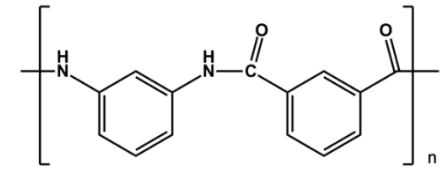


CAR TYRES



Sintetska vlakna visokih performansi

- **Aramidna vlakna**
- **Nomex je *m*-aramid**
- Jedinstvena kombinacija **otpornosti na plamen** s toplinskim i tekstilnim svojstvima
- **Vlakna** izrađena od ovih tkanina su **otporna na plamen**, ne tope se niti kapaju, zbog čega se naširoko koriste u **vojnim primjenama** (letačka odijela, kombinezoni za inženjerske posade borbenih vozila i brodova), **vatrogastvu**, **automobilskim utrckama** i u kemijskoj i petrokemijskoj industriji, gdje postoji opasnost od iznenadnog požara



Sintetska vlakna visokih performansi

- **Aramidna vlakna**
- **Nomex** – usporedba gorivosti s tkaninom od poliestera/pamuka



<https://www.youtube.com/watch?v=1k9Zr2SCsC8>

Sintetska vlakna visokih performansi

- **Poliuretanska vlakna**
- Odlikuju se visokim **elastičnim oporavkom** (do 99 %) i **visokom istezljivošću** (do 500 %)
- Komercijalizirana 1930. godine od strane tvrtke DuPont pod trgovačkim imenom **Spandex** (ili **Elastan**), danas postoje još pod trgovačkim nazivom **Lycra** od tvrtke Invista
- Posebna svojstva PU vlakana su izvrsna otpornost na oksidaciju i otapala za kemijsko čišćenje, dobra sposobnost bojanja, otpornost na UV svjetlo
- Primjena za **elastični tekstil**, aktivna sportska odjeća, medicinski tekstil i elastična udobna rastezljiva odjeća



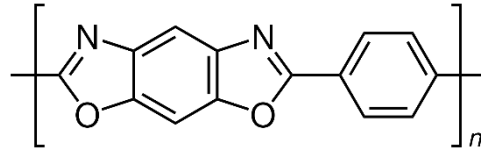
Sintetska vlakna visokih performansi

- **Vlakna polietilena ultra visoke molekulske mase (UHMWPE)**
- Razvijena su 1960., od strane tvrtke DSM (naziv Dyneema)
- Proizvode se **gel ispredanjem**
- **Super snažna vlakna**, do 15 puta veća rastezna čvrstoća od čelika, do 40 % od aramida (po težini), lagana su (gustoća manja od vode), otporna na vodu, vlagu, UV zračenje i kemikalije
- Za izradu **specijalnih užadi** (sportska, za šumare, drvosječe), zadržavaju mehanička svojstva u rasponu temperatura od –100 do 70 °C, vodo nepropusna su što ih čini trajnijima i ne postaju teži u vlažnim uvjetima
- Koriste se i za **vojnu i policijsku svrhu**, za izradu **opreme koja štiti od metaka i uboda** (poput Kevlara)



Sintetska vlakna visokih performansi

- PBO vlakna (poli(p-fenilen-2,6-benzobizoksazol)), Zylon

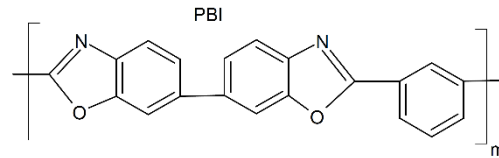


- Termoset, razvijen 1980-ih
- Vlakna imaju **najveću rasteznu čvrstoću i modul među vlaknima visokih performansi**, gotovo dvostruko višu nego *p*-aramid, imaju i 100 °C višu temperaturu razgradnje od *p*-aramida
- Koristi se u **balonima za velike visine**, u motosportu (Formula 1) kao veze koje sprječavaju da kotači odlete u publiku u sudaru, u padobranima za svemirske letove



Sintetska vlakna visokih performansi

- **Polibenzoimidazol (PBI) vlakna**
- **Iznimno otporna na toplinu**, sastoje se od **potpuno aromatičnih poliamida**, dugolančani aromatski polimer s imidazolnim skupinama u glavnom lancu



- Vlakna su relativno **skupa i teška za proizvodnju**, zbog svoje potpuno aromatične strukture, PBI ima vrlo staklište (425 °C) i nema talište, izvrsna kemijska otpornost (ugljikovodici, klorirana otapala, H₂S,...)
- **Temperatura razgradnje je iznad 700 °C**, što ga čini pogodnim za širok raspon primjena na visokim temperaturama
- Primjena za izradu svemirskih i vatrogasnih odijela



PREMAZI



- **Premazna sredstva** ili “boje” (engl. paint) i „lakovi” (engl. lacquer) su materijali koji se koriste za prekrivanje površina (metali, mineralne podloge, drvo, plastika,...)
- Fizikalnim ili kemijskim promjenama (sušenje) stvaraju prevlake, odnosno tanki film na nekoj podlozi → **Premaz/Nalič** (engl. coating)
- **Uloga** – zaštita (od korozije, starenja proizvoda, habanja, abrazije,...) **dekoracija** (izgled proizvoda, sjaj, mat, nijanse boja), i specifična funkcionalna svojstva



- Premazna sredstva su materijali gdje su različite tvari dispergirane u vezivu, a nanose se na podlogu u tankom sloju
- Sastav premaznih sredstava:
 - ❑ veziva – polimeri (smola)
 - ❑ otapala (otapa vezivo, regulira viskoznost)
 - ❑ pigmenti (bojilo, TiO_2)
 - ❑ aditivi (antioksidansi, UV stabilizatori,...)
 - ❑ punila (talk, CaCO_3 , ...)
- Lakovi **većinom** ne sadrže pigment (bezbojni), imaju veću glatkoću, sjaj i tvrdoću od boja
- Približan sastav
 - ❑ otapalo 45–50 %
 - ❑ **vezivo 25 % (određuje primjenu i kvalitetu premaza)**
 - ❑ pigment 25 %
 - ❑ aditivi 1–5 %

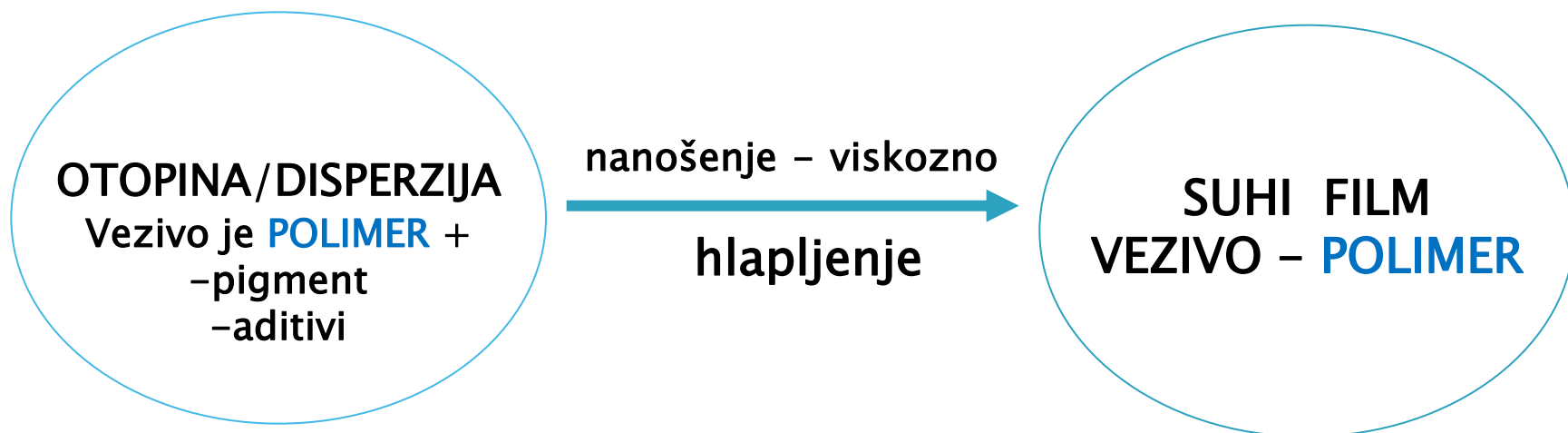
Proces nastajanja suhog premaza (filma)

- Nakon nanošenja premaznog sredstva na podlogu – tvari koje čine vezivo poprimaju konačni oblik – stvara se film – premaz (prevlaka)
- Proces nastajanja premaza naziva se sušenje
 1. hlapljenje otapala iz otopine
 2. hlapljenje vode ili organskih otapala iz disperzije
 3. hlađenje taljevine
 4. otvrdnjavanje prevlake kemijskom reakcijom

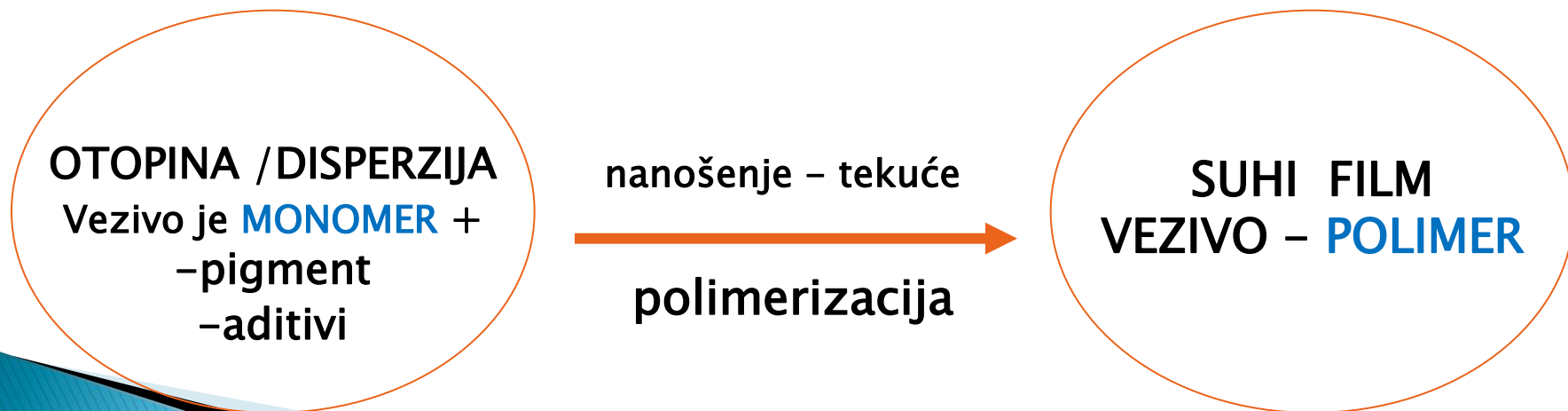
1,2,3 – FIZIKALNO SUŠENJE

4 – KEMIJSKO SUŠENJE

FIZIKALNO SUŠENJE



KEMIJSKO SUŠENJE



➤ Fizikalno sušenje

- Vezivo u premaznom sredstvu je **polimer** → **jednokomponentni premaz**
- Čini ga jedna komponenta, vezivo je stabilna komponenta i nalazi se u obliku u kojem se i primjenjuje
- **Sušenje isparavanjem** – nastajanje filma
- **Otopine** – homogeni jednofazni sustavi

➤ Kemijsko sušenje

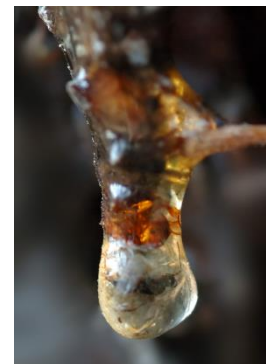
- Vezivo u premaznom sredstvu je **monomer** → kemijskom reakcijom polimerizacije prelaze u polimer tek nakon nanošenja na podlogu
- Najčešće su to **dvokomponentni premazi** budući da se vezivo u premaznom sredstvu najčešće sastoji od **2 različita monomera**
- Reakcije polimerizacije su **autooksidativna**, **kondenzacijska** i **adicijska**
- Premazi koji se **suše na zraku** (reakcija s kisikom – autooksidacija)
- Premazi koji **nastaju** adicijskom (linearni) ili kondenzacijskom polim. (umreženi)

VEZIVA PRIRODNOG PORIJEKLA

- Prirodne smole
- Biljna ulja

- **Prirodne smole**

- Nastaju biosintezom u biljkama – drva četinjača, osim smole **šelak** – životinjskog porijekla (insekt *Tachardia lacca*)
- Smole razlikujemo:
 - ❑ recentne (suvremene)
 - ❑ fosilne
- **Recentna smola** – izlučuje se iz živog drveća kao gusta ljepljiva masa – hlapivi dio ispari na zraku, a ostatak polagano oksidira, tj. polimerizira, dolazi do **otvrđnjavanja**
- **Fosilne smole** su nastale iz smola izumrlih šuma i nalaze se u zemlji na dubini većoj od 1 metra, kao kruti, čvrsti materijal



Važnije prirodne smole

➤ Kolofonij

- Najvažnija je industrijska prirodna smola, dobiva se od balzama crnogoričnog drveća smolarenjem, iz drveta se cijedi **balzam** nazvan terpentin
- **Balzam** terpentina je ljepljiv i mirišljiv, a sastoji se od terpentinskog ulja i kolofonija u omjeru 30:70
- Osnova svjetske proizvodnje terpentinskog ulja i kolofonija



➤ Kopal

- Zajednički naziv za **više prirodnih smola**, većinom **fosilnih**
- **Najvažniji fosilni kopali** su:
 - ❑ **Kongo** – nalazi se u dolini rijeke Kongo
 - ❑ **Kauri** – Novi Zeland, Australija
 - ❑ **Manila** – Filipini, Indonezija



Važnije prirodne smole

➤ Jantar

- Fosilna smola, najveća nalazišta nalaze se na obalama Baltičkog mora, Poljskoj, Litvi, Rusiji i na obali Crnog mora
- Jantar je **najtvrdža prirodna smola**
- Koristi se za izradu nakita, moguće oblikovanje brušenjem zbog visoke tvrdoće



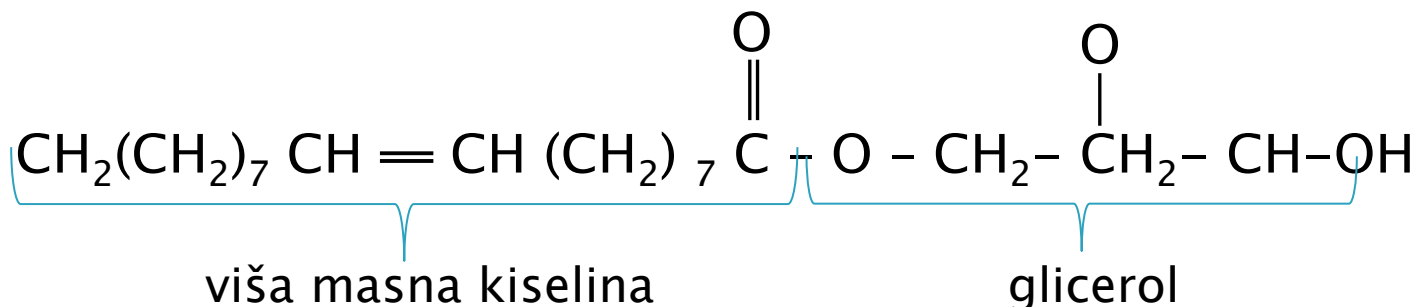
➤ Šelak

- Jedina prirodna smola životinjskog podrijetla
- To je smolasta izlučina **štitne uši** iz porodice dudova, može se naći u Indija, Mianmar, Tajland
- Važno svojstvo šelaka je da je **žilav** i elastičnost na niskim temperaturama (nije lomljiv)
- Crvene je boje (od kukaca), ispiranjem s vodom i alkoholom, te pretaljivanjem mogu se dobiti i svjetlije nijanse



Biljna ulja

- Dobivaju se iz sjemenki i plodova biljaka
- Po kemijskom sastavu to su esteri viših masnih kiselina s glicerolom, a više masne kiseline su oleinska, linolna, linolenska



- Podjela ulja za primjenu u vezivima je prema broju dvostrukih veza u molekuli viših masnih kiselina
 - ❑ sušiva ulja – s dvije ili tri dvostruke veze
 - ❑ polusušiva ulja – s jednom ili dvije dvostruke veze
 - ❑ nesusšiva ulja – s jednom ili niti jednom dvostrukom
- Dvostruke veze omogućuju autooksidacijsku polimerizaciju tijekom sušenja premaza (sušenje na zraku)

➤ Vrste viših masnih kiselina u biljnim uljima

	Laneno ulje	Sojino ulje	Tungovo ulje*	Broj dvostrukih veza
	mas%			
Oleinska kis.	20	25	7	1
Linolna kis.	20	50	–	2
Linolenska	50	10	7	3
Eleostearinska	–	–	80	3

*Tungovo ulje ili kinesko ulje za drvo je ulje koje se dobiva prešanjem sjemena iz oraha stabla tunga (*Vernicia fordii*)

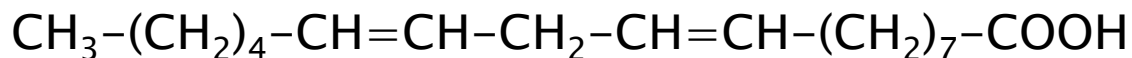


➤ **Kemijska strukturna formula viših masnih kiselina**

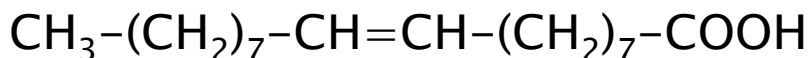
➤ **Nezasićene kiseline**



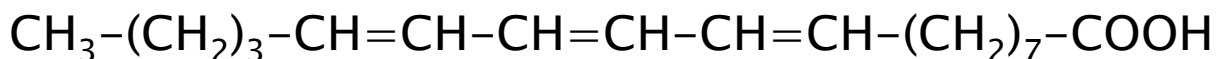
Linolenska



Linolna

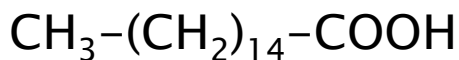


Oleinska

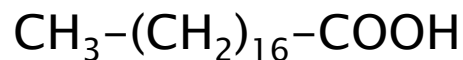


Eleostearinska

➤ **Zasićene kiseline**



Palmitinska



Stearinska

SINTETSKE SMOLE (VEZIVA)

- Sintetske smole su danas najvažnija **veziva** suvremenih lakova i boja
- Dobivaju se reakcijama polimerizacije, gdje je mehanizam reakcije različit (kondenzacijska, adicijska) tijekom kemijskog povezivanja monomera
- Veziva se međusobno razlikuju prema kemijskom sastavu i strukturi lanca, a to im određuje svojstvima i područje primjene
- **Sintetske smole**
 - ❑ Poliesterske smole
 - ❑ Alkidne smole
 - ❑ Akrilne smole
 - ❑ Poliuretanske smole
 - ❑ Silikonske smole
 - ❑ Vinilne smole
- Termoplasti – jednokomponentni premazi
- Termoseti (duromeri) – dvokomponentni premazi

Poliesterske smole

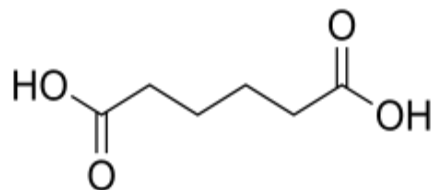
- Najzastupljenija grupa umjetnih smola u premazima
- Dobivaju se kondenzacijskom polimerizacijom **više funkcionalnih alkohola (polialkohola)** i **više funkcionalnih organskih kiselina**

➤ Viševalentni alkoholi

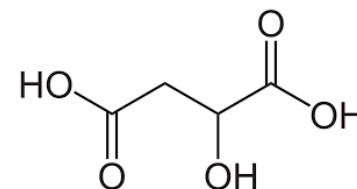
- ❑ Etilen-glikol $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$
- ❑ Propilen-glikol $\text{HO}-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{OH}$

➤ Organske kiseline

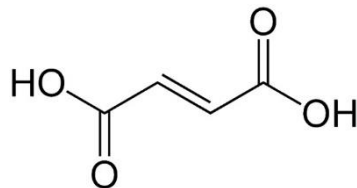
- ❑ Adipinska



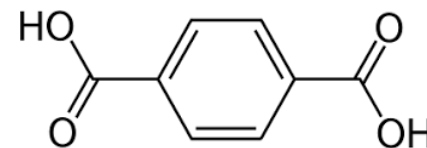
- ❑ Maleinska



- ❑ Fumarna



- ❑ Tereftalna

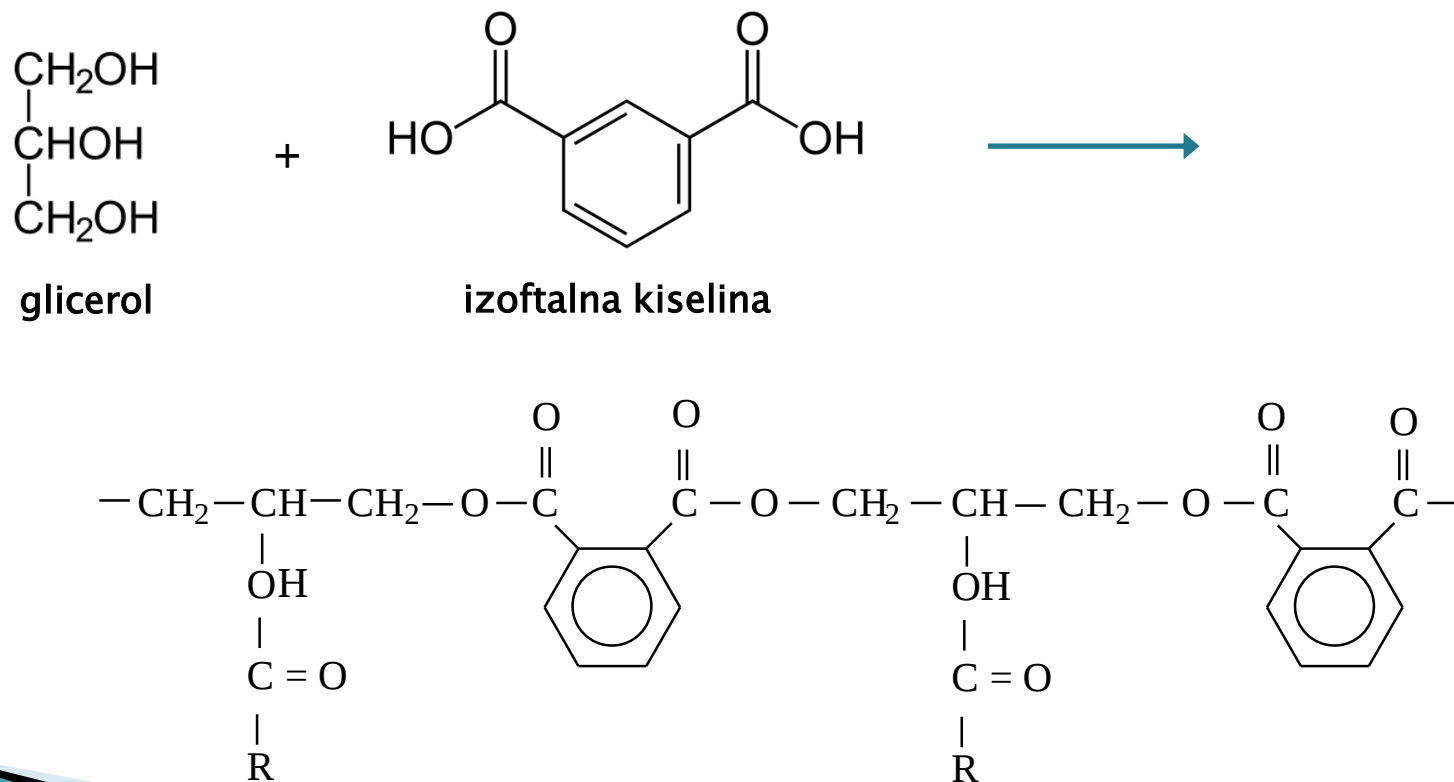


Poliesterske smole

- Upotrebljavaju se kao premazi za drvo (namještaj), metal (automobile) te kao armirane plastične mase za izradu plovila
- Otvrđavaju (polimeriziraju) s organskim peroksidima i umrežavaju se s prisutnim monomerom stirena
- **Podjela**
- **Poliesterske smole – isključivo nezasićene smole**
- **Alkidne smole – zasićene i modificirane poliesterske smole**

Alkidne smole

- Poliesteri modificirani masnim kiselinama
- Najvažnija grupa sintetskih veziva zbog svoje široke primjene
- Alkidi nastaju kondenzacijskom polimerizacijom **polialkohola** (glicerol, pentaeritritol) i **polikarboksilne kiseline** (ftalne ili izoftalne kiseline ili njihova anhidrida) i modifikacijom uljima



na preostale slobodne hidroksilne
grupe alkohola vežu se masne kiseline

Alkidne smole

➤ Alkidne smole sušive na zraku

- Kad su modificirane sušivim i polusušivim biljnim uljima
- Razlikujemo alkidne smole prema:
 - ❑ veličini molekulskih masa viših masnih kis. (VMK) u uljima
 - ❑ udjelu viših masnih kiselina

Smole	Ulja	% viših masnih kis.
Polumasne alkidne	S velikim mol. masama	55–68
Masne alkidne	S vrlo velikim mol. masama	>68

- Alkidne smole **sušive su na zraku zbog velikog broja dvostrukih veza** prisutnih u molekulama VMK (autooksidacijska polimerizacija uz kisik iz zraka), zagrijavanjem brzina sušenja znatno se povećava
- **Upotrebljavaju se za reparativne boje za automobile i za izradu antikorozijskih temeljnih boja**, u građevinarstvu za vanjske i unutarnje bojanje zidova

Alkidne smole

- Alkidne smole nesusive na zraku
- Modificirane uljima koja sadrže VMK gotovo bez dvostrukih veza
- Smole se suše zagrijavanjem (200 °C), uz prisutnost katalizatora

ulja	% viših mas. kis
sa srednje velikim molekul. VMK	43– 54

- Najšira primjena od svih alkidnih smola
- Upotrebljavaju se za osnovne–temeljne boje metala, automobile, razne aparate i opremu
- Premazi za namještaj



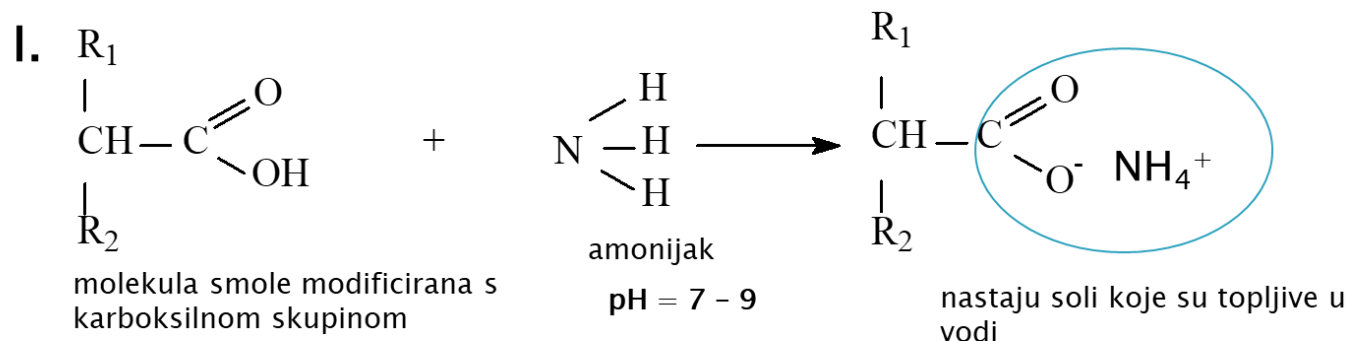
Alkidne smole

- **Vodotopljive alkidne smole**
- **Vodotopljivi premazi** nastaju tako da se stvaraju soli koje su onda topljive u vodi
- Takvi polimeri sadrže karboksilne ili amino grupe koje su ugrađene u polimerni lanac tijekom sinteze, a koje se prevode u soli neutralizacijom s odgovarajućom lužinom ili kiselinom
- Zbog prisustva vode ovi premazi sporo se suše, a dodatkom amino soli pospješuje se proces sušenja na nižim temp. ili na zraku
- Njihovom primjenom smanjuje se opasnost od požara jer su organska otapala lako hlapiva i zapaljiva, smanjuju se emisije lako hlapivih organskih tvaru (VOC) čime se smanjuje negativan pritisak na okoliš

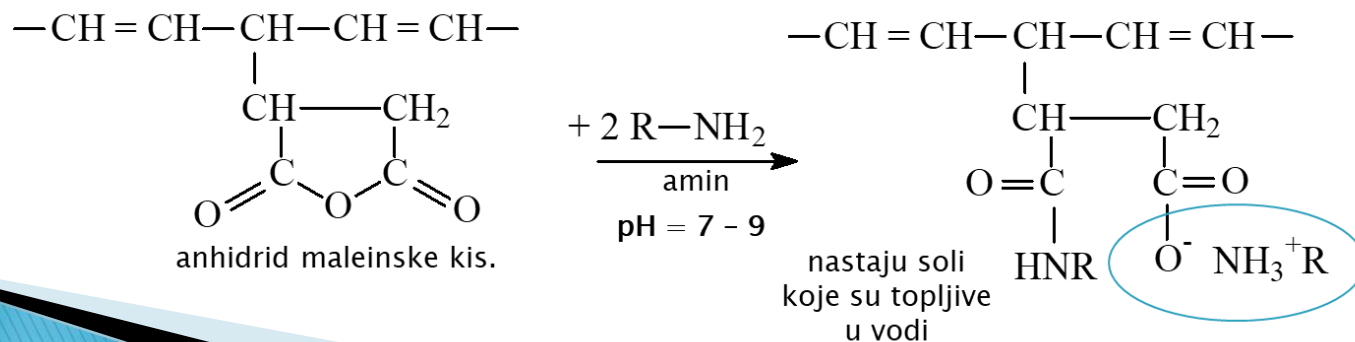
Alkidne smole

- Vodotopljive alkidne smole
- Princip nastajanja vodotopljivih smola
- Smola se modificira adicijom karboksilne skupine ili anhidrida maleinske kiseline na dvostruke veze u molekuli smole

Karboksilne grupe prevode se u topljive soli



II.



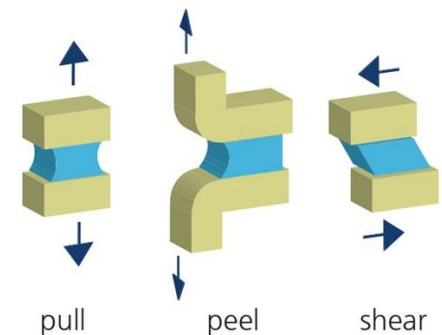
Adhezivi (Ljepila)

- Materijali koji povezuju **dva druga materijala**, zato se još zovu adhezivi, adhezivna komponenta u ljepilu je polimer
- Ljepila se mogu podijeliti s obzirom na kemijski sastav ili prema tipu polimera i njihovim svojstvima
- Adhezivni materijali sastoje se:
 - ❑ adheziva/ljepila (**polimera**)
 - ❑ modifikatora (plastifikator)
 - ❑ punila i otapala
- Adhezivi mogu biti **termoplasti** i **termoseti**
- Prednosti Ljepila u usporedbi sa ostalim metodama povezivanja je jednolika raspodjela naprezanja



Adhezivi (Ljepila)

- Ljepila se **primjenjuju kao viskozne tekućine**, prednost je kada su niske viskoznosti
- Ljepila tijekom primjene podvrgavaju se **promjeni faze**, tj. prelaze iz **viskozne u krutu fazu** (dolazi do isparavanja otapala ili do kemijske reakcije), nastaje kruto ljepilo i čvrsto spoja dva materijala
- Kruto ljepilo mora imati zadovoljavajuću (potrebnu) **čvrstoću da podnese naprezanja tijekom primjene** budući da vrijedi pravilo da je materijal čvrst koliko je čvrst njegov spoj
- **Dvije su komponente čvrstoće ljepila**
 - ❑ **adhezija** – veza između ljepila i površine nakon očvršćivanja
 - ❑ **kohezija** – unutarnja snaga ljepila, sposobnost da se održi i odupre vanjskim silama
- Snaga prijanjanja se mjeri **testovima razvlačenja, smicanja i ljuštenja**
 - ❑ **razvlačenje** – maksimalno naprezanje koji materijal može izdržati dok se rasteže
 - ❑ **smicanje** – otpornost ljepila na smična naprezanja
 - ❑ **ljuštenje** – otpor kada se podloga ljušti s rubova



Adhezivi (Ljepila)

➤ Podjela Ljepila po reaktivnosti

1) Nereaktivna

- **Sušuća Ljepila** – mogu se primjenjivati kao **otopine** (vodene ili u organskim otapalima) ili **disperzije** polimera
 - ❑ nakon hlapljenja otapala nastala krutina je ljepilo koje povezuje dva materijala
 - ❑ vrlo često bazirana na poli(vinil–acetatu)
- **Ljepila za vruće lijepljenje** – **termoplastični polimeri** koji zagrijavanjem prelaze u viskozne **taljevine** i nakon primjene se **hlade**, nastaje **kruto ljepilo**
 - ❑ vrlo često bazirana na etilen–vinil acetatu (EVA)



2) Reaktivna

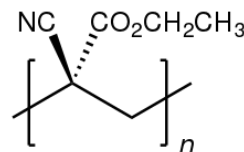
- **Očvršćavaju nakon kemijske reakcije**
- **Bazirana na termosetima**
 - ❑ epoksidna, poliuretanska, akrilna

Adhezivi (ljepila)

➤ Popularne vrste ljepila

➤ Cijanoakrilatna – “Super ljepilo”

- ❑ snažno, brzo očvršćuje, <5 min
- ❑ reagira s vlagom iz zraka
- ❑ loša adhezija s glatkim površinama (staklo)



➤ Poli(vinil–acetatna) – ljepilo za drvo

- ❑ vodena disperzija PVAc
- ❑ očvršćuje sušenjem, 18–24 h
- ❑ snažno ljepilo, veća čvrstoća od drva



➤ Epoksidna

- ❑ najčešće dvokomponenta (epoksi i očvršćivalo)
- ❑ najsnažnija ljepila, očvršćuju reakcijom, 24–36 h

