



FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

Zavod za polimerno inženjerstvo i organsku kemijsku tehnologiju

KARAKTERIZACIJA I IDENTIFIKACIJA PROIZVODA

Predmetni nastavnici:

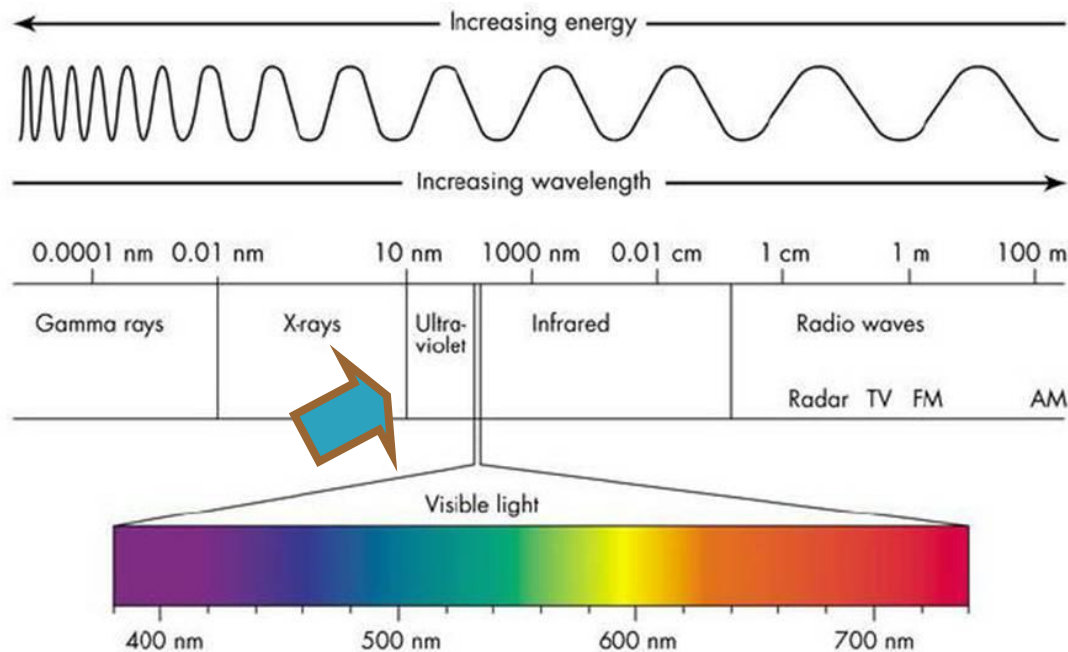
Doc. dr. sc. Zvonimir Katančić

Prof. dr. sc. Emi Govorčin-Bajsić

Prof. dr. sc. Mirela Leskovic

UV/VIS SPEKTROSKOPIJA

- UV/VIS spektroskopija je instrumentalna metoda karakterizacije koja kao medij koristi **ultraljubičasti i vidljivi dio spektra** elektromagnetskog zračenje
- Ultraljubičasto zračenje (engl.ultraviolet, UV) obuhvaća elektromagnetsko zračenje s valnim duljinama **manjim** od onih koje ima **vidljiva svjetlosti**, ali **većim** od onih koje imaju **X-zrake**
- UV zračenje u području valnih duljina 200 - 400 nm
- VIS dio spektra u području valnih duljina 400 – 800 nm
- UV zračenje počinje već na 10 nm, ali u spektroskopiji se koristi područje od 200 nm



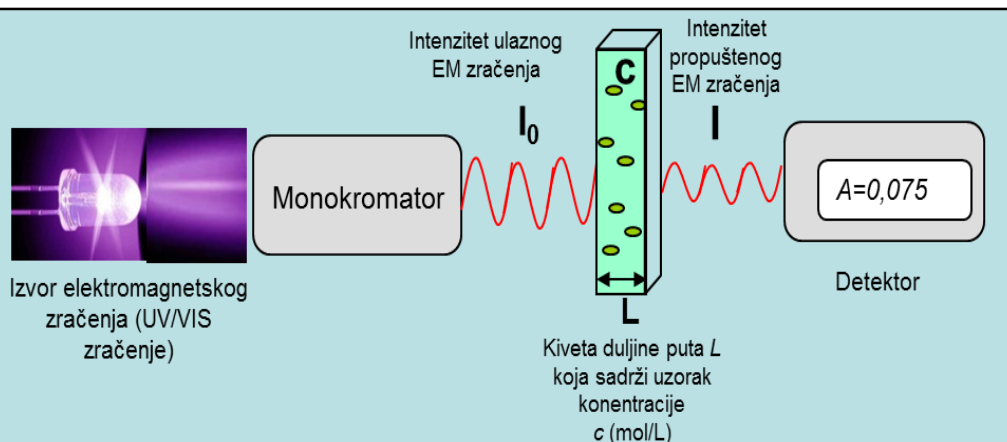
- UV/VIS spektrofotometar mjeri intenzitet svjetla koje je prošlo kroz analizirani uzorak (I) te ga uspoređuje s intenzitetom upadnog svjetla (I_0)
- Širenjem elektromagnetnoga zračenja kroz neko sredstvo, intenzitet zračenja opada zbog apsorpcije dijela svjetla, u homogenim optičkim medijima (plinovi, kapljevine)
- Uzorak će **apsorbirati zračenje samo** određene frekvencije, tj. koje **odgovara energiji točno određene veze u spoju** dok će ostalo zračenje proći nesmanjenog intenziteta
- Apsorpcijski spektri pokazuju najčešće apsorbanciju

Lamber-Beerov zakon

$$A = \log(I_0/I) = \epsilon bc$$

$$A = \log(1/T) \times 100\%$$

- Izvor zračenja – Deuterijska (D_2) lampa (UV dio), W lampa (VIS dio)



A - apsorbancija

I_0 - intenzitet upadnog svjetla

I - intenzitet propušenog svjetla

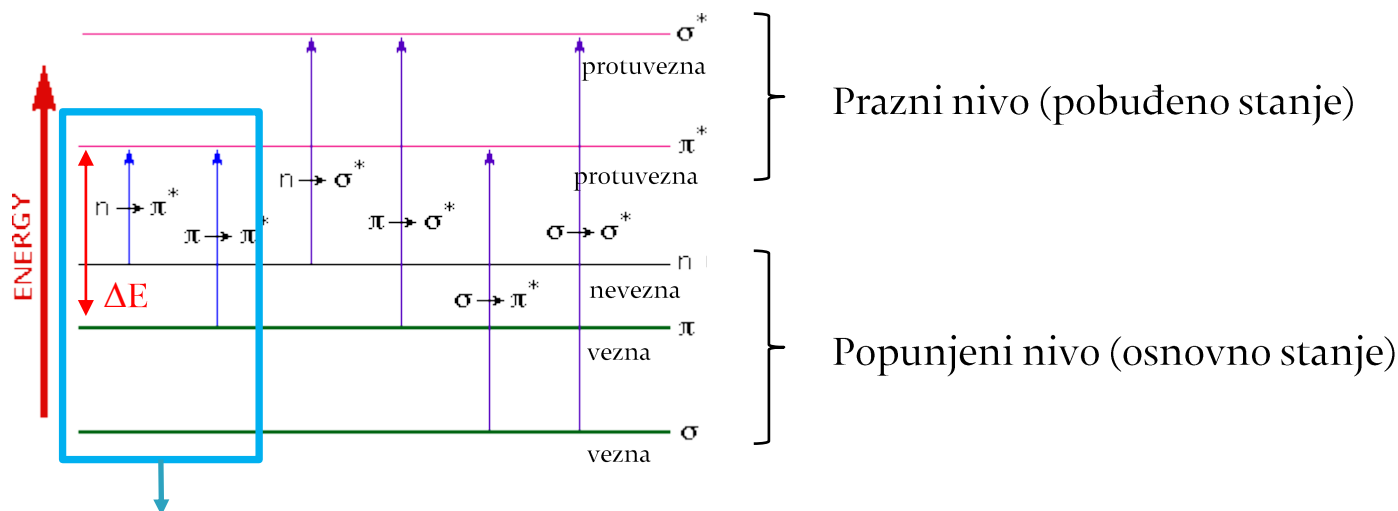
ϵ - molarni apsorpcijski (ekstinkcijski) koeficijent ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), karakterističan za svaku pojedinu molekulsku vrstu i ovisan je o valnoj duljini svjetlosti

c - konc. uzorka u otopini (mol/L)

b - duljina uzorka kroz koji prolazi svjetlo (cm)

UV/VIS spektroskopija

- Elektronska energija molekule mijenja se zbog apsorbirane energije u UV području, a rezultat su prijelazi elektrona, tj. pobuđivanje elektrona i prelasci iz nižih u više orbitale
- ΔE predstavlja razliku energija između popunjene orbitale (vezne - osnovno stanje) i prazne orbitale (protuvezne - pobuđeno stanje). Kada **energija dolazećeg fotona odgovara ΔE** , apsorbira se foton i **elektron iz popunjenog nivoa prelazi iz svog osnovnog stanja u pobuđeno stanje**



- UV zračenje ima energiju dovoljnu samo da izazove prijelaz između najbližih orbitala ($n \rightarrow \pi^*$ $\pi \rightarrow \pi^*$)
- Ovi prijelazi događaju se iz najviše popunjene molekulske orbitale (**HOMO**) u najnižu nepopunjenu molekulsku orbitalu (**LUMO**)

UV/VIS spektroskopija

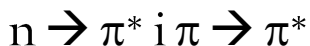
➤ Tri vrste elektronskih prijelaza



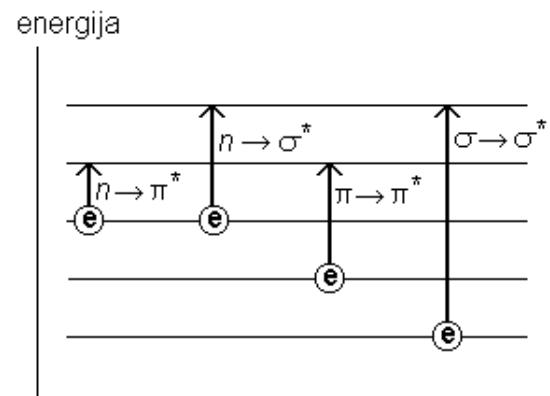
Potrebna je velika energija. Takvi prijelazi se odvijaju u dalekom UV području pa se ne vide na UV/VIS spektrometrima (200-800 nm). Npr. metan ima samo C-H veze, i time samo $\sigma \rightarrow \sigma^*$ prijelaze, apsorpcijski maksimum kod 125 nm



Zasićeni spojevi koji sadrže atome sa slobodnim elektronskim parovima (nevezni elektroni) sposobni su za n prijelaze, no takvih je organskih spojeva malo. Za ovakve prijelaze potrebno je manje energije nego za $\sigma \rightarrow \sigma^*$ prijelaze. Oni mogu biti inicirani zračenjem valnih duljina 150-250 nm



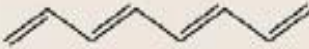




Organski spojevi s nezasićenim skupinama u molekuli imaju najviše prijelaza n ili π elektrona u pobuđeno stanje

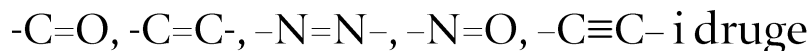


Apsorpcijski maksimumi

- λ_{\max} i ϵ povećava se sa povećanjem broja konjugiranih dvostrukih veza organskih spojeva

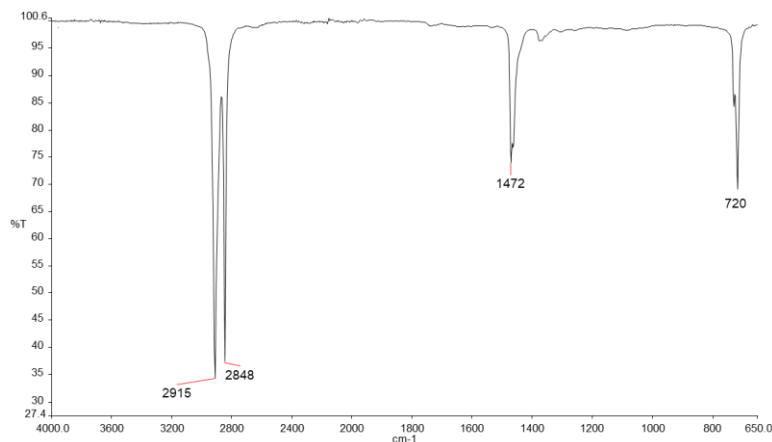
Compound	λ_{\max} (nm)	Molarna $\epsilon_{\text{apsortivnost}}$ (L/(mol cm))
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$	165	15,000
	217	21,000
	256	50,000
	290	85,000
	334	125,000
	364	138,000

- Skupine odgovorne za apsorpciju UV zračenja su **kromofori** budući da sadrže nezasićene veze kao na primjer:

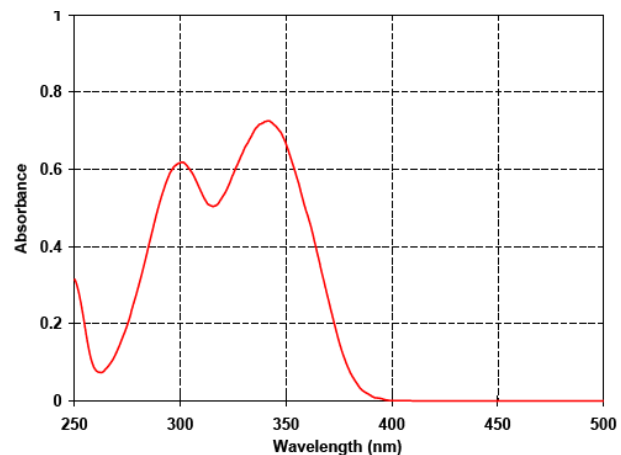


- **Kromofori** su funkcionalne skupine ili dijelovi molekula (s dvostrukim i trostrukim vezama) koji apsorbiraju elektromagnetsko zračenje

IR spektri v UV/VIS spektri

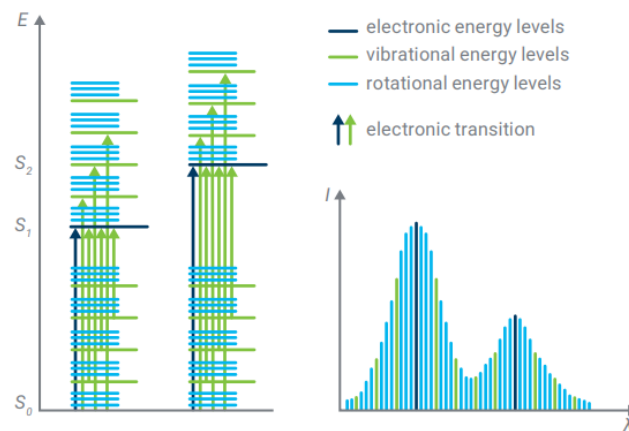


Uski pikovi



Široki pikovi

- Atomi u molekuli mogu rotirati i vibrirati, vibracije i rotacije također imaju određene energijske nivoe
- Nivoi su zato superponirani, kao posljedica se javljaju široki pikovi

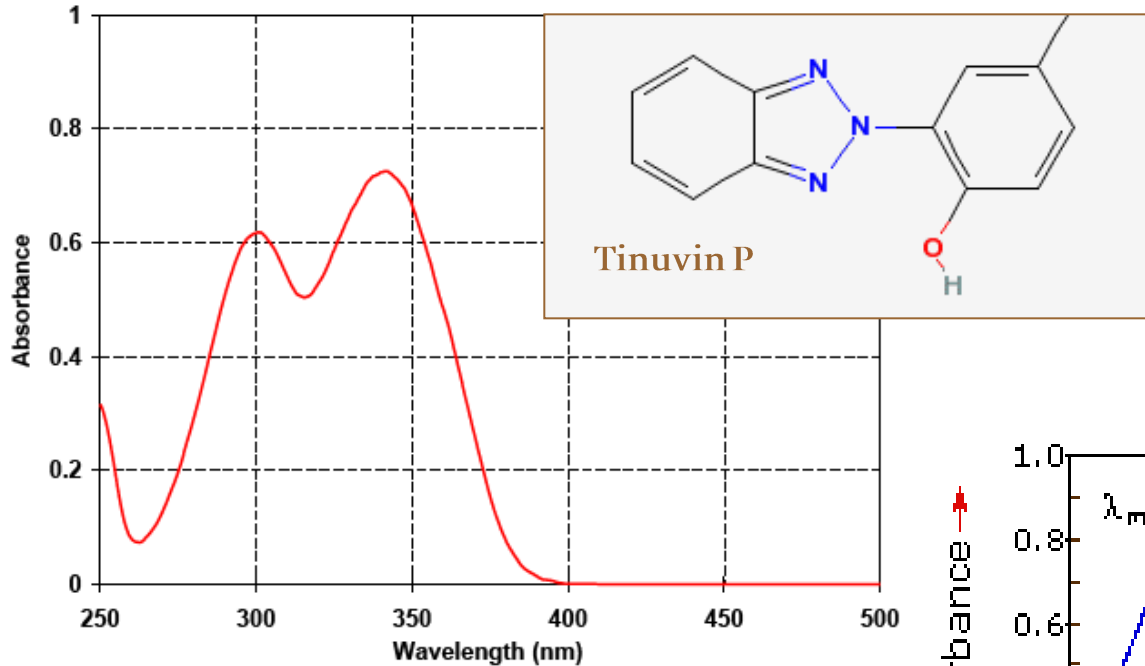


Spektralni apsorpcijski dijagrami - primjer

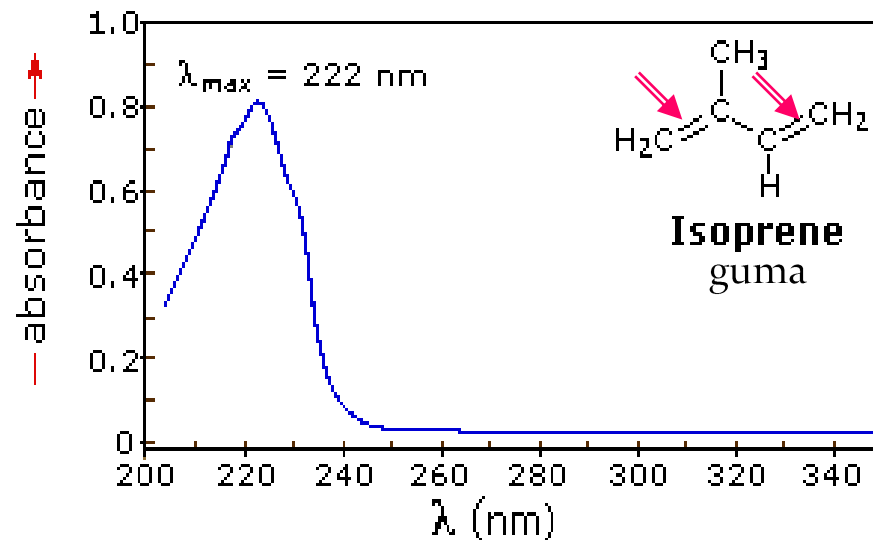
UV stabilizator

2-Hydroxy-4-Methoxy Benzophenone (Benzophenone-3)
(Tinuvin® P)

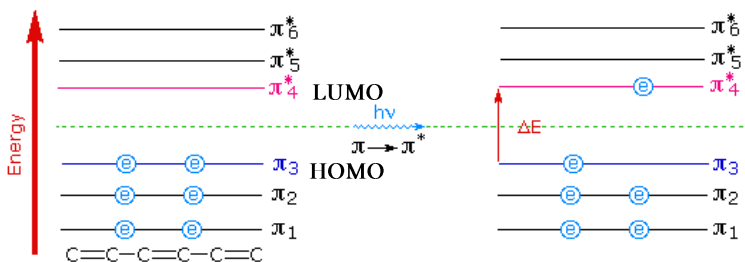
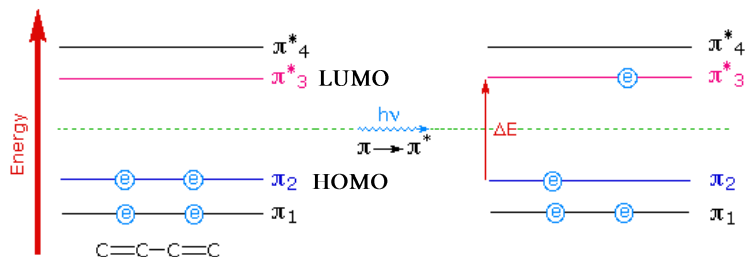
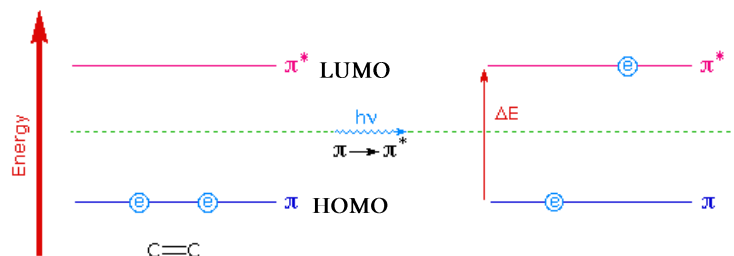
Absorption Spectrum (10 mg/l, Chloroform)



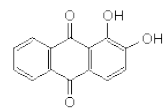
®TINUVIN P exhibits strong absorbance in the 300-400 nm region and minimal absorbance in the visible region (> 400 nm) of the spectrum. The absorption maxima are at 301 nm and 341 nm ($\epsilon = 16150 \text{ l/mol}\cdot\text{cm}$) in chloroform solution.



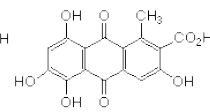
UV/VIS spektroskopija



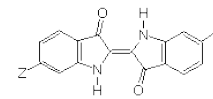
- Povećanje konjugacije (broja dvostrukih veza) smanjuje razliku energije HOMO* i LUMO** orbitala
- Za pobuđivanje elektrona potrebno manje energije → vidljivo zračenje
- Organski pigmenti apsorbiraju vidljivo zračenje jer imaju veliki broj konjugiranih veza



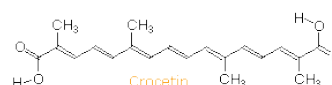
Alizarin
from madder root



Kermesic Acid
(Carminic Acid)
from the insect *Coccus cacti*

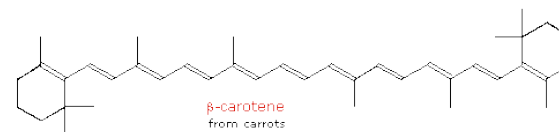


Z=H
Indigo
from *Isatis tinctoria* (woad)



Crocetin
from saffron

Z=Br
Punicin or Tyrian Purple
from mollusks of the genus *Murex*

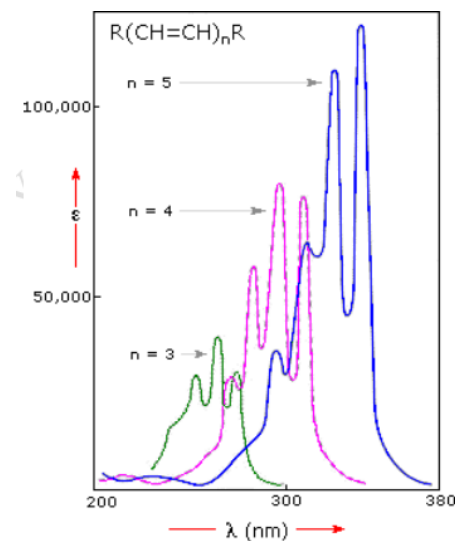
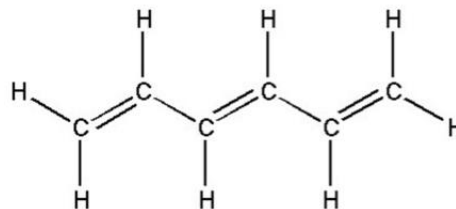
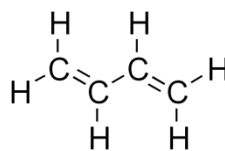
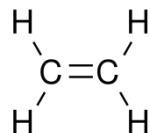
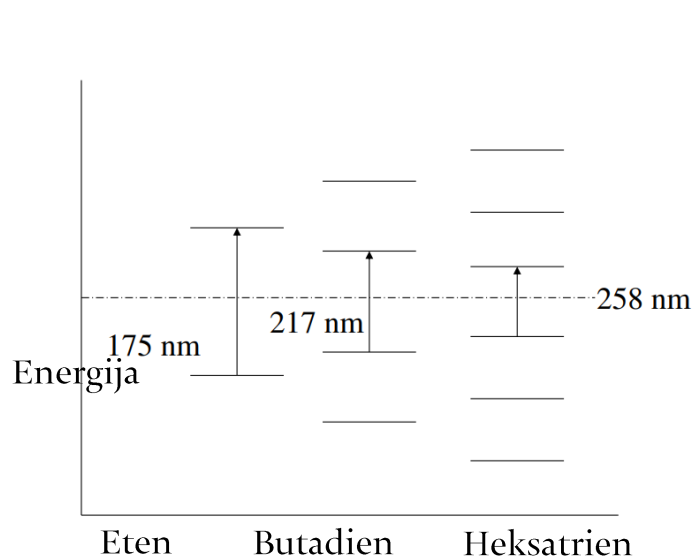


β -carotene
from carrots

* Highest Occupied Molecular Orbital
** Lowest Unoccupied Molecular Orbital

UV/VIS spektroskopija

Utjecaj konjugacije



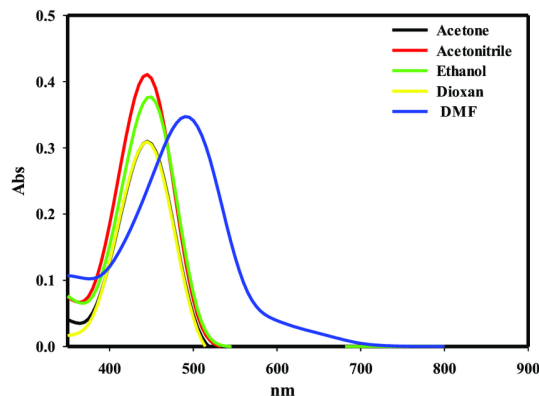
- **Batokromni pomak** – pomicanje apsorpcijskog maksimuma prema većim valnim duljinama (**crveni pomak**)

UV/VIS spektroskopija

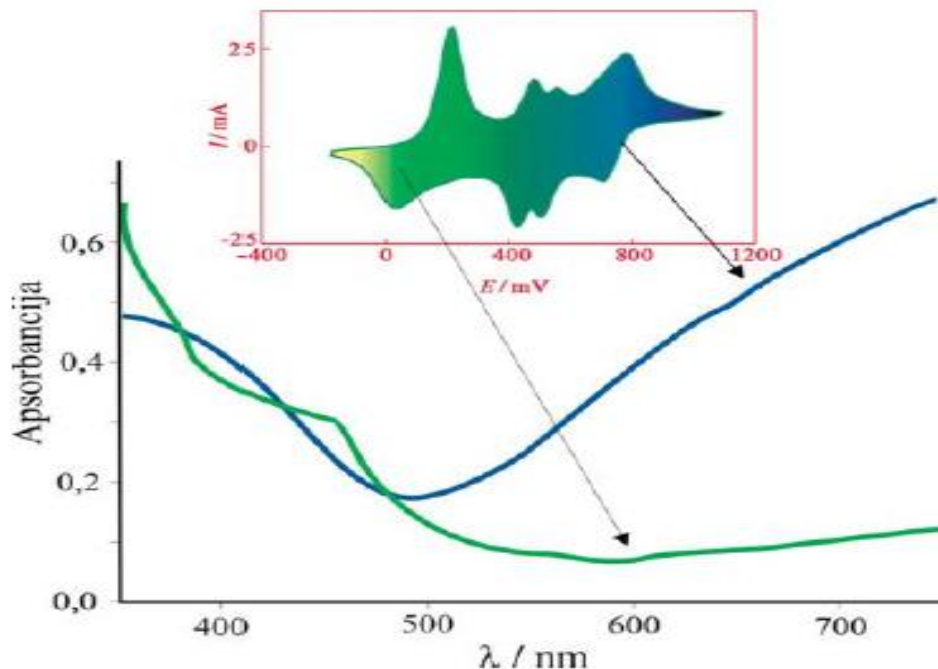
Utjecaj otapala

- Otapalo u kojem je otopljen uzorak obično utječe na spektar
- Kako se **povećava polarnost otapala**, pikovi koji su rezultat $n \rightarrow \pi^*$ prijelaza pomaknuti su prema kraćim valnim duljinama (**hipsokromni - plavi pomak**), zbog slobodnog elektronskog para, koji snižava energiju n orbitale
- Kako se **povećava polarnost otapala**, pikovi koji su rezultat $\pi \rightarrow \pi^*$ prijelaza su često pomaknuti na **veće** valne duljine (**batokromni - crveni pomak**), zbog privlačnih polarizacijskih sila između otapala i apsorbirajuće vrste, koji snižava energiju pobuđenog i nepobuđenog stanja. Kako je razlika u energiji između pobuđenog i nepobuđenog stanja smanjena – rezultat je mali crveni pomak
- Ovaj efekt također utječe na $n \rightarrow \pi^*$ prijelaze, ali je prekriven plavim pomakom koji je rezultat slobodnog elektronskog para

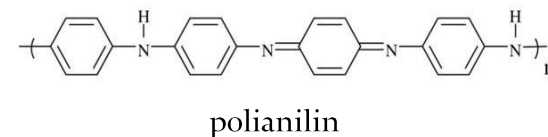
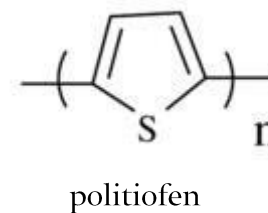
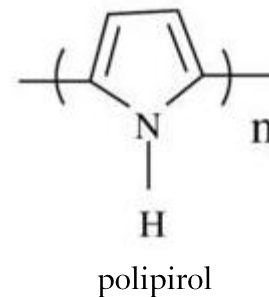
Utjecaj otapala na UV/VIS spektar



- Apsorpcija polianilina (PANI) elektrovodljivog polimera u VIS području zračenja



Elektrovodljivi polimeri apsorbiraju u vidljivom području zbog konjugirane strukture



UV-Vis spektar polianilina u ovisnosti o oksidacijskom stanju

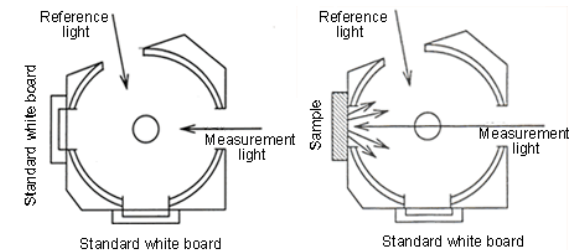
- Različito oksidacijsko stanje PANI polimera
 - Neutralni emeraldin → zelen
 - Oksidirani Pernigranilin → plavo-ljubičast
- Apsorpcije zračenja različite valne duljine u VIS području

- UV/VIS spektroskopija je analitička metoda za kvantitativnu identifikaciju različitih tvari kao na primjer visoko **konjugiranih** organskih tvari i **bioloških** makromolekula
- Uzorci za mjerenja pripremaju se kao otopine, ali su moguća mjerenja i praškastih uzoraka (difuzna reflektancijska spektroskopija, DRS)

- tehnika koja se često ne primjenjuje u karakterizaciji polimera budući da samo pojedine kemijske veze u molekuli polimera imaju energiju veze koja odgovara valnim duljina UV zračenja (= veze)



kiveta

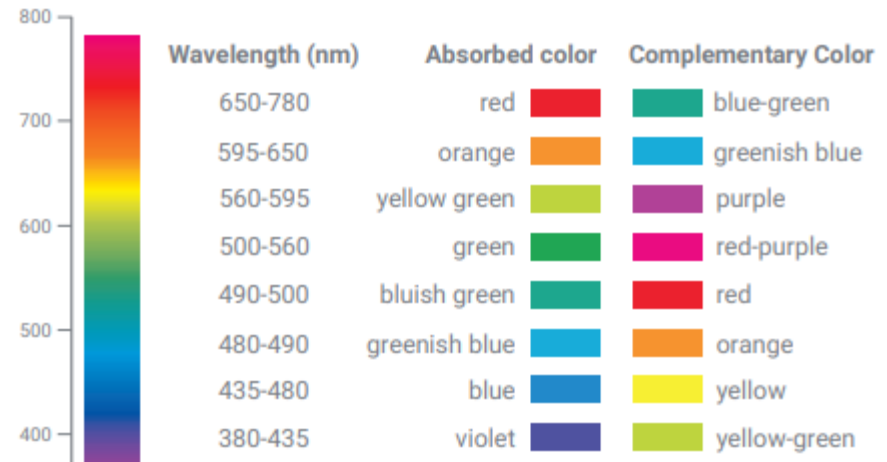
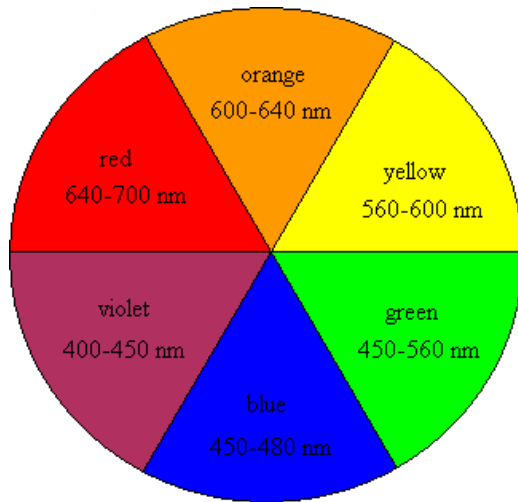


Integrirajuća sfera

PRIMJENA

- identifikacija nepoznatih komponenata u uzorku
- koristi za praćenje procesa **degradacije polimera**, određivanje **aditiva** i **stabilizatora**
- Određivanje koncentracije određene molekule u otopini
- Karakterizacija refleksijskih svojstava površine i mjerenje boje materijala

Boja materijala



- Boja materijala odgovara valnoj duljini koju površina reflektira

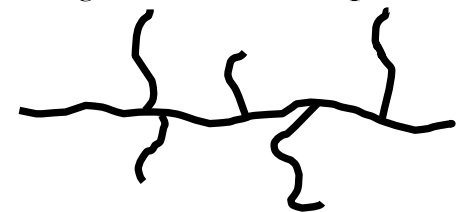
MOLEKULSKE MASE I RASPODJELA MOLEKULSKIH MASA

- **Molekulska masa** - jednoznačna karakteristika niskomolekularnih spojeva
- **Sintetski polimeri - smjese** makromolekula
 - to je posljedica različitog stupnja polimerizacije (DP), odnosno statistički raspoređenog **različitog broja monomernih jedinica (n)** u molekuli polimera
 - $[\text{CH}_2 - \text{CH}_2]_n$ -
 - to svojstvo polimera naziva se **disperznost** ili **neuniformnost**
- **Neuniformnost podrazumijeva:**
 - različitu **duljinu** polimernog lanca
 - različiti **stupanj** razgranatosti
 - različit **broj konformacija**
 - različitu **raspodjelu** ponavljanih jedinica u kopolimerima

linearna molekula polimera



razgranata molekula polimera



- Neuniformnost (disperznost) sustava karakterizira se s dva statistička parametra:
 - prosječnom molekulskom masom
 - raspodjelom molekulskih masa

- Prosječna molekulska masa određuje se:
 - Kromatografijom na poroznom gelu (GPC)
 - Viskozimetrijskom metodom razrijeđenih otopina
 - Bubrenjem ili testom naprezanje-istezanje (molekulske mase mreže –umreženi polimeri)

➤ Vrste prosjeka molarnih masa:

➤ brojčani prosjek molekulskih masa (M_n)

- odredi se masa ukupnog uzorka i broj molekula te se izračuna molarni udio
- n_i molovi, M_i molekulska masa svake molekule

$$\bar{M}_n = \frac{n_1 M_1 + n_2 M_2 + \dots}{n_1 + n_2 + \dots} = \frac{\sum n_i M_i}{\sum n_i}$$

➤ maseni prosjek molekulskih masa (M_w)

- odredi se masa ukupnog uzorka i broj molekula i izračuna se maseni udio (w_i) polimera

$$\bar{M}_w = \frac{n_1 M_1}{\sum n_i M_i} \cdot M_1 + \frac{n_2 M_2}{\sum n_i M_i} \cdot M_2 + \dots = \frac{\sum n_i M_i^2}{\sum n_i M_i}$$

Što zapravo predstavljaju Mn i Mw?

Koja je prosječna veličina grada?

Brojčani prosjek je aritmetička sredina broja stanovnika

Zagreb	790.017 stanovnika
Đakovo	27.745 stanovnika
Pazin	8.638 stanovnika
Senj	7.182 stanovnika

$$Pros_j. = \frac{790.017 + 27.745 + 8.638 + 7.182}{4} = \frac{833.582}{4} = \mathbf{208.395}$$

U gradu koje veličine živi prosječna osoba unutar populacije?

Maseni prosjek uzima u obzir da u Zagrebu živi više stanovnika nego u ostalim gradovima

$$Zagreb = \frac{790.017}{833.582} = 0,9477 * 790.017 = 748.728$$

$$Đakovo = \frac{27.745}{833.582} * 27.745 = 923$$

$$Pazin = \frac{8.638}{833.582} * 8.638 = 90$$

$$Senj = \frac{7.182}{833.582} * 7.182 = 62$$

749.803

- viskozni prosjek molekularnih masa (\bar{M}_v)

$$\bar{M}_v = \left(\frac{\sum n_i M_i^{1+a}}{\sum n_i M_i} \right)^{1/a}$$

- Z - prosjek molekularnih masa (\bar{M}_z)

$$\bar{M}_z = \frac{\sum n_i M_i^3}{\sum n_i M_i^2}$$

z – zentrifugen (njem.)

Određena sedimentacijom u ultracentrifugi

$$\bar{M}_n < \bar{M}_v < \bar{M}_w < \bar{M}_z$$

- Disperznost (\bar{D}) - \bar{M}_w/\bar{M}_n - definira raspodjelu molekularnih masa polimera

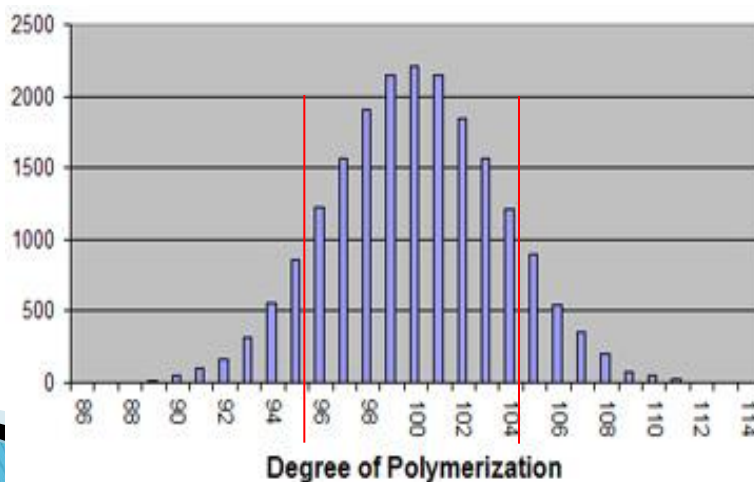
$\bar{M}_w/\bar{M}_n=1$	monodisperzni sustav
$\bar{M}_w/\bar{M}_n \leq 1,5$	kontrolirane radikalne polimerizacije
$\bar{M}_w/\bar{M}_n=1,5$	lančana polimerizacija, reakcija terminacije rekombinacijom
$\bar{M}_w/\bar{M}_n=2$	polimeri dobiveni stupnjevitom ili lančanom polimerizacijom
$\bar{M}_w/\bar{M}_n=2-5$	polimeri dobiveni lančanom polimerizacijom s visokom konverzijom
$\bar{M}_w/\bar{M}_n=10-50$	polimeri s razgranatim molekulama

Raspodjela: - široka → \bar{M}_w/\bar{M}_n disperznost velika
 - uska → \bar{M}_w/\bar{M}_n disperznost mala

- **Raspodjela molekulskih masa**
- Opisuje učestalost pojavljivanja molekula pojedinog određenog stupnja polimerizacije (DP) u uzorku
- **Raspodjela molekulskih masa** polimernog uzorka opisuje se **distribucijskim funkcijama**, kao molarni, x_i ili maseni, w_i udio molekula molekulne mase M_i , odnosno DP
- Molarni udio povezan je s masenim udjelom izrazom

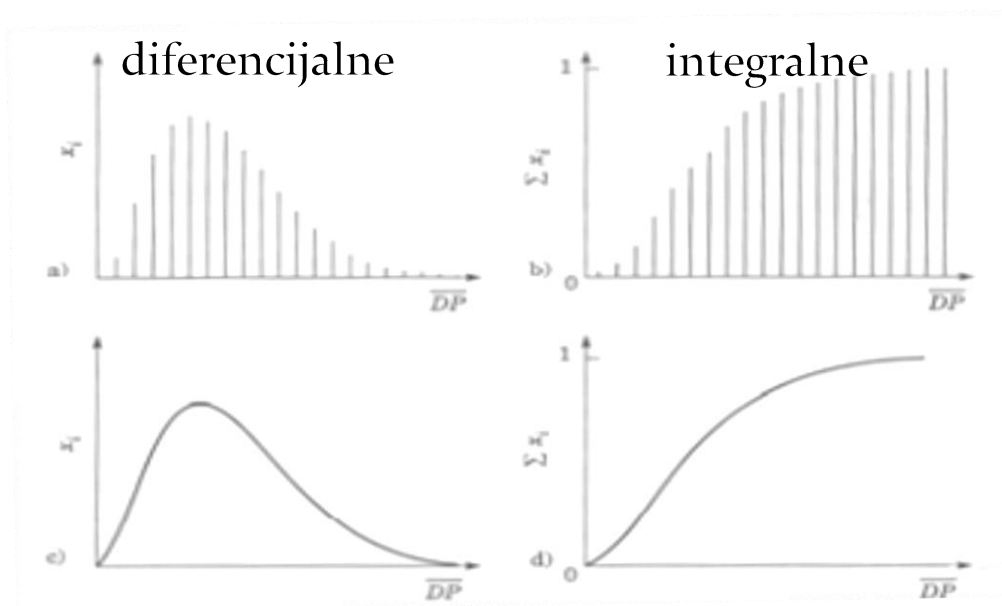
$$w_i = x_i [(DP_n)_i / \overline{DP_n}]$$

- sve su raspodjele molekulskih masa diskontinuirane



moгу se u potpunosti zamijeniti s **kontinuiranom** krivuljom

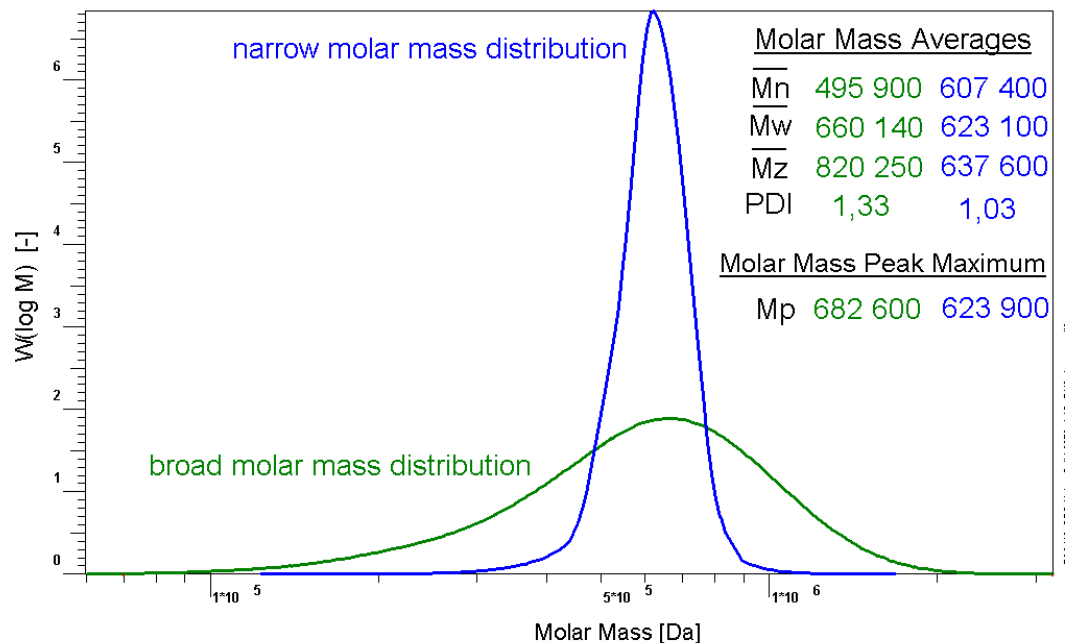
- Dobivene krivulje molekulskih masa su diskontinuirane jer opisuju polidisperzni sustav, prevode se u kontinuirane - diferencijalne ili integralne krivulje



diskontinuirane

kontinuirane

- Široka raspodjela molekulskih masa podrazumijeva **malu učestalost pojavljivanja** molekula sličnog stupnja polimerizacije (DP) u uzorku
- Uska raspodjela molekulskih masa podrazumijeva **veliku učestalost pojavljivanja** molekula sličnog stupnja polimerizacije (DP) u uzorku

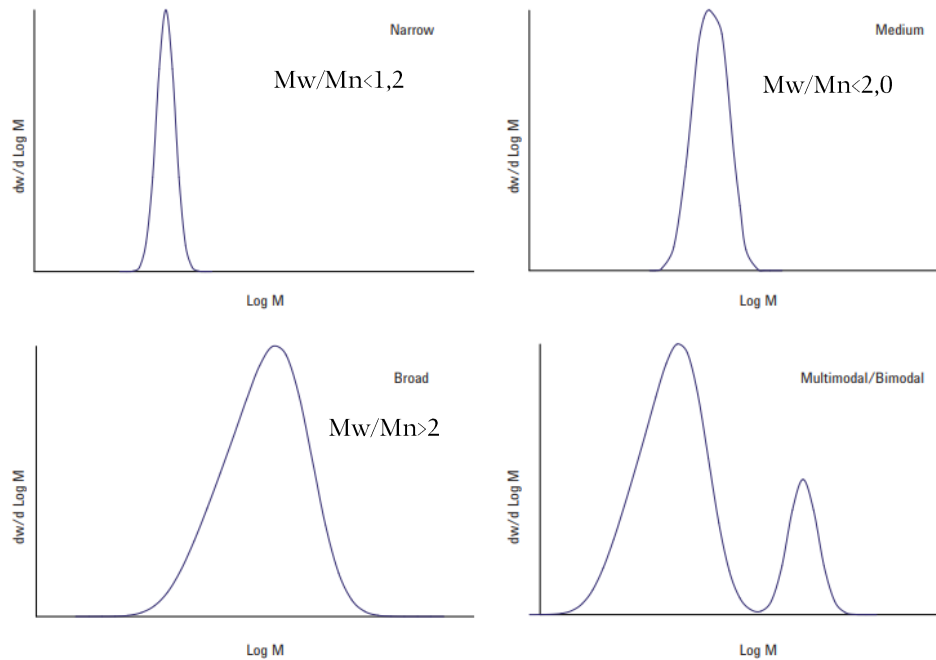


Uska raspodjela - svojstva

polimer tvrd, veće viskoznosti, sporo teče, teško preradljiv

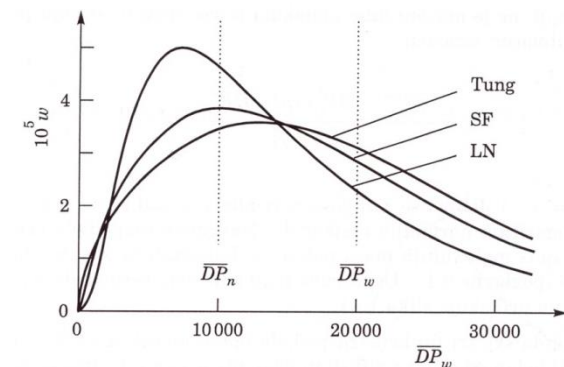
Široka raspodjela - svojstva

polimer elastičan, manje viskozan, lakše teče, lakše preradljiv



➤ Krivulje raspodjele mogu biti Gausove ili s pomakom prema višim ili nižim molekulskim masama, opisuju se jednačbama tih krivulja:

- Schulz-Floryieva (SF) ili najvjerojatnija raspodjela
- Poissonova raspodjela
- Kubinova raspodjela
- Tungova raspodjela (Tung)
- Logaritam normalna (LN)



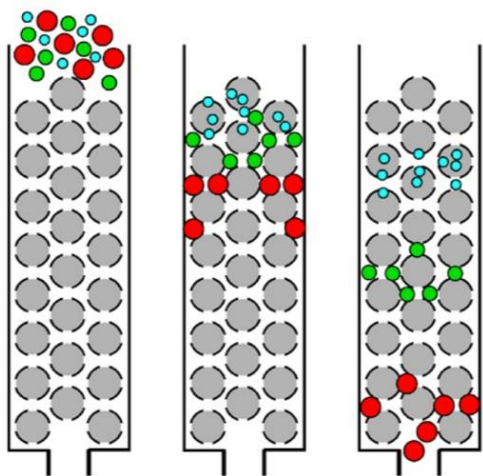
Kromatografija na propusnom gelu (GPC) ili Kromatografija isključivanja po veličini (SEC)

(GPC – Gel permeation chromatography, SEC - Size exclusion chromatography)

- Instrumentalna tehnika razdvajanja molekula polimera po veličini, kojom se određuju molekulske mase i raspodjela molekulskih masa polimera
- Kromatografska je tehnika razdvajanja molekula polimera po veličini, na principu različitog hidrodinamičkog volumena makromolekula u otopini
- Metoda se temelji na ulasku molekula analita (otopine-mobilna faza) u pore stacionarne faze (gel) i različitom vremenu zadržavanja
- Metoda se naziva **gel filtracija** kada je stacionarna faza hidrofilna, a **mobilna faza je vodena**, a **gel-permeacijska kromatografija** kada je stacionarna faza hidrofobna, a **mobilna faza organsko otapalo**

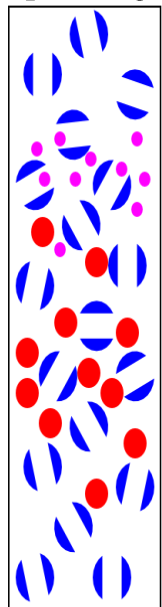


Hidrodinamički
volumen



- Otopina polimera propušta se kroz kolonu kapilarnih dimenzija (ispunjenu poroznim gelom) dolazi do razdvajanja (frakcioniranja) molekula po veličini
- Veličine pora definiraju (**exclusion limit**) koje molekule prolaze kroz, a koje između pora

Kolona s propusnim gelom



Shema kolone



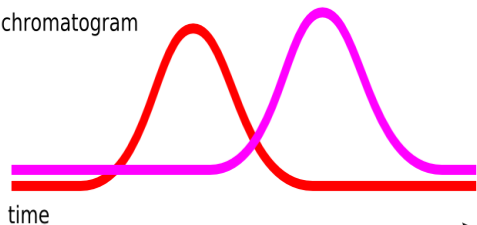
Large particles cannot enter gel and are excluded. They have less volume to traverse and elute sooner.



Small particles can enter gel and have more volume to traverse. They elute later.

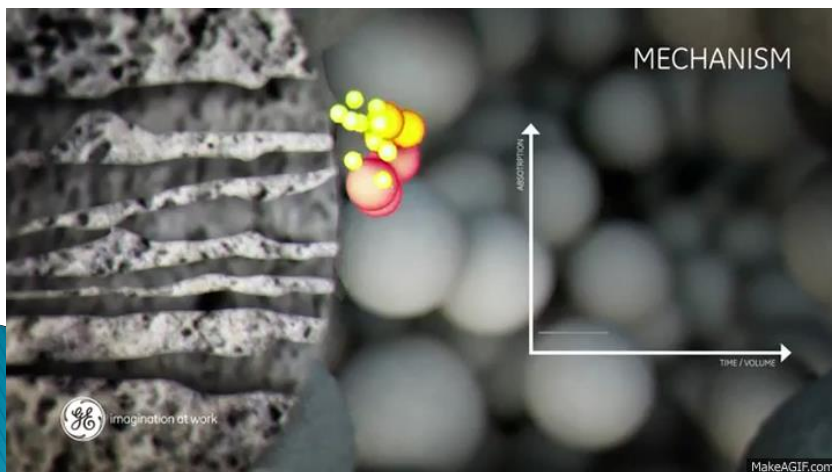


chromatogram



Vrijeme

- **velike** molekule **ne mogu** ući u pore gela i isključuju se iz kolone ranije
- imaju kraći put
- veću brzinu prolaza kroz kolonu
- izlaze prve
- **male** molekule ulaze u pore gela
- imaju dulji put
- nižu brzinu protjecanja
- kasnije se isključuju iz kolone



➤ Otapalo:

- tetrahidrofuran (THF), kloroform, dimetil formamid (DMF), toluen
- mora u potpunosti otopiti uzorak (filtriranje prije injektiranja)
- koristi se mala količina uzorka (5 - 25 mg) i razrijeđena otopina (m:m = 1:75) uz male volume injektiranja (cca 300 µL)

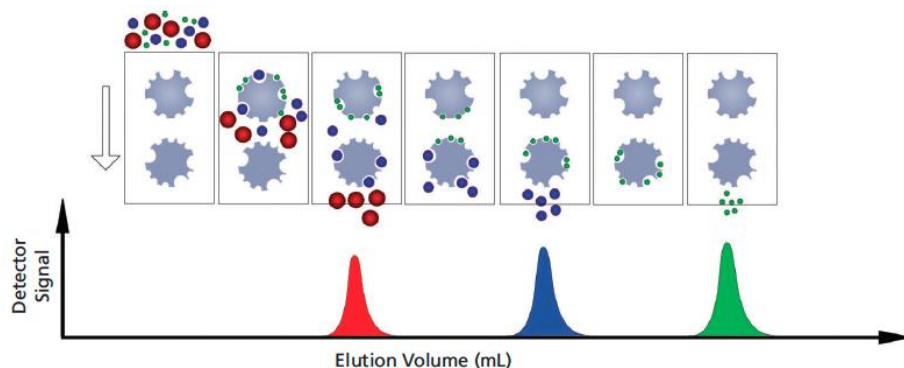
➤ Stacionarna faza (gel):

- umreženi polimer, kontrolira se gustoća umreženja kako bi se dobile pore različitih veličina za različite uzorke
- Dextran – glukozni umreženi polimer
- Poliakrilamid, poli(metil-metakrilat)

Column	Effective MW Range	Part No. THF	Part No. DMF	Part No. Toluene
Styragel HR 0.5	0–1,000	WAT044231	WAT044232	WAT044230
Styragel HR 1	100–5,000	WAT044234	WAT044235	WAT044233
Styragel HR 2	500–20,000	WAT044237	WAT044238	WAT044236
Styragel HR 3	500–30,000	WAT044222	WAT044223	WAT044221
Styragel HR 4	5,000–600,000	WAT044225	WAT044226	WAT044224
Styragel HR 4E	50–100,000	WAT044240	WAT044241	WAT044239
Styragel HR 5	50,000–4,000,000	WAT054460	WAT054466	WAT054464
Styragel HR 5E	2,000–4,000,000	WAT044228	WAT044229	WAT044227
Styragel HR 6	200,000–10,000,000	WAT054468	WAT054474	WAT054470
Styragel Guard Column 4.6 x 30 mm	—	WAT054405	WAT054415	WAT054410

- HT (high-temperature) kolone za polimere koji su teško topljivi (npr. polietilen je topljiv na 120 °C u toluenu)

- **Detektor**
- Koncentracija molekula polimera na izlazu iz kolone određuje se najčešće mjerenjem indeksa loma svjetla

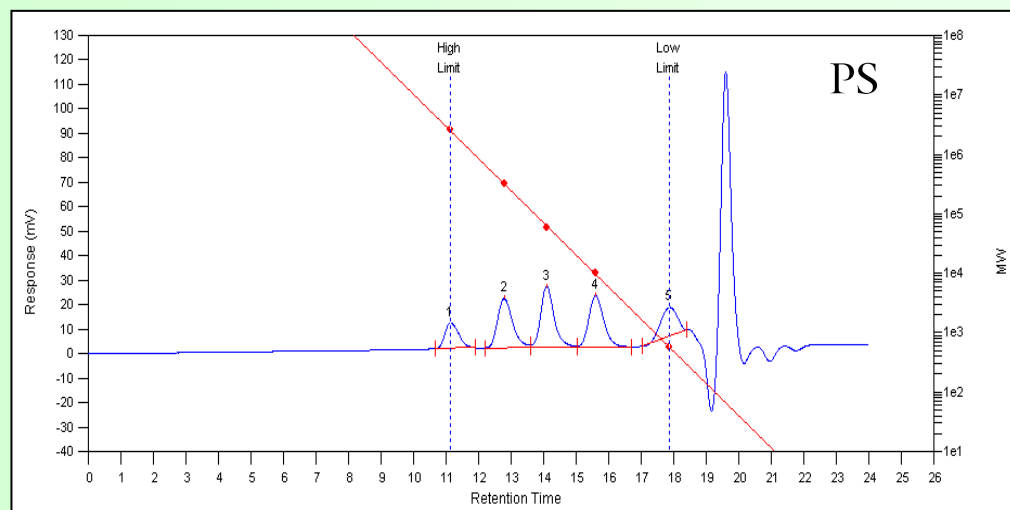


- **Vrste detektora**

- Refrakcijski indeks (RI) detektor – najčešći, određuje razliku indeksa loma između otapala i otopine, niska osjetljivost i stabilnost
- Ultraljubičasti (UV) apsorpcijski detektor – visoko osjetljiv i stabilan, ne može detektirati polimere koji ne apsorbiraju u UV/VIS području
- Kombinacija različitih detektora, light scattering, NMR, MS,...

➤ GPC kalibracija

- kalibracija s uzorkom polimera poznate i uske raspodjele molekulskih masa (PS, PMMA, PEO), $M_w/M_n \sim 1,05$
- PS = 1-2 \$/kg, GPC standard PS = 180 \$/g



- Iz kalibracijske krivulje onda je moguće odrediti molekulske mase ispitivanog uzorka polimera

Viskozimetrijska metoda

- Određivanja prosječni viskoznih molekulskih masa (M_v) iz razrijeđenih otopina polimera
- Mjeri se vrijeme (t) protjecanja određenog volumena razrijeđene otopine kroz kapilaru viskozimetra (oznaka od A do B)
- mjerenje brzine protjecanja kroz kapilaru
- brzina protjecanja dana je Hagen-Poiseuilleovim zakonom

$$v = \frac{\pi r^4 p t}{8 l \eta}$$

v = volumen otopine koji u vremenu t proteče kroz kapilaru

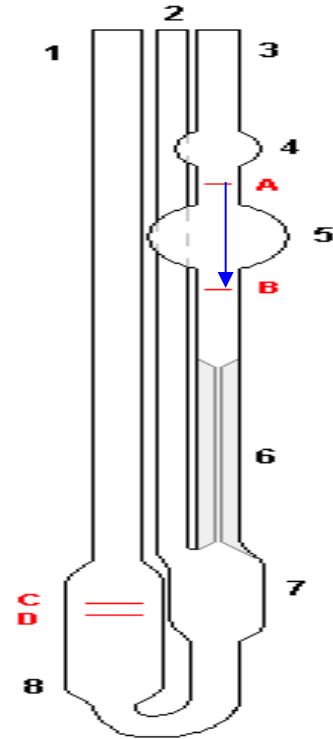
t = vrijeme protjecanja

l = dužina kapilare

r = promjer kapilare

p = hidrostatski tlak

η = dinamička viskoznost, Pas



Viskoznost polimerne otopine

$$\eta = \frac{\pi r^4 g h \rho t}{8 \nu l}$$

Viskoznost otapala

$$\eta_0 = \frac{\pi r^4 g h \rho_0 t_0}{8 \nu_0 l}$$

$$\rho_0 = \rho$$

Gustoća otapala = gustoći otopine
Vrijedi jer je otopina polimera razrijeđena

$$\eta_{rel} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{\rho t}{\rho_0 t_0} = \frac{t}{t_0}$$

relativna viskoznost (η_{rel})

$$\eta_{sp} = \frac{t - t_0}{t_0} = \eta_{rel} - 1$$

specifična viskoznost (η_{sp})

$$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{\gamma}$$

reducirana viskoznost (η_{red})

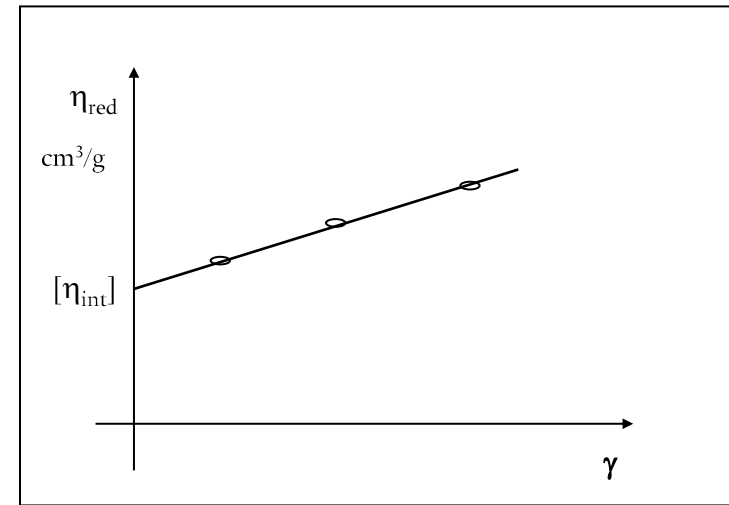
← Koncentracija polim. otopine

$[\eta_{int}]$ – intrinzička viskoznost tj. granični viskozni broj

↳ Ekstrapolacija η_{red} na $\gamma = 0$

Intrinzička viskoznost i molekulska masa polimera povezane su Mark-Houwink-ovom relacijom

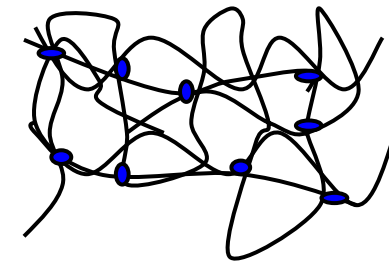
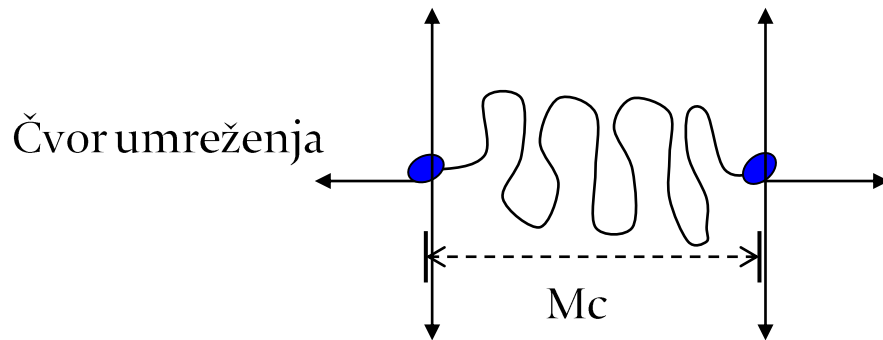
$$[\eta_{int}] = K * M_v^\alpha$$



K i α su konstante definirane za određen sustav otapalo-polimer

Molekulske mase mreže (M_c) umreženih polimera

- Umrežene polimere nije moguće otopiti, pa se ne mogu mjeriti molekulske mase na GPC ili viskozimetrijski, moguće je odrediti molekulsku masu između dva čvora umreženja



Umreženi polimer-mreža

$$M_c = 1/n$$

gdje je

- n gustoća umreženja u polimeru
- M_c molekulske mase mreže

M_c je moguće odrediti:

mjerenjem ravnotežnog bubrenja
testom naprezanje-istezanje

$$\nu = 2C_1RT$$

$2C_1$ - Mooney Rivlinova konstanta,
određuje se testom naprezanja

Seminar

	Grupa	Datum zadavanja 1. zadatka	Datum predaje 1. zadatka
Arambašić, Baća, Bilmez	A	10.10.	17.10.
Crnac,Gugo, Kovačević	B		
Janković-Miloš, Klemar, Koščević	C		
Frljak, Krešić, Martinović	D		
Plavčić, Povrženić, Švegović, Tičić	E		
Tomić, Večenaj, Vezjak Fluksi, Zaninović	F		

Seminarski zadatak poslati na mbozicevi@fkit.unizg.hr (Marin Božičević, mag. ing. cheming.)
Ne pojedinačno, za cijelu grupu!

Seminar

ZADATAK 1: VISKOZIMETRIJSKO ODREĐIVANJE MOLEKULSKE MASE

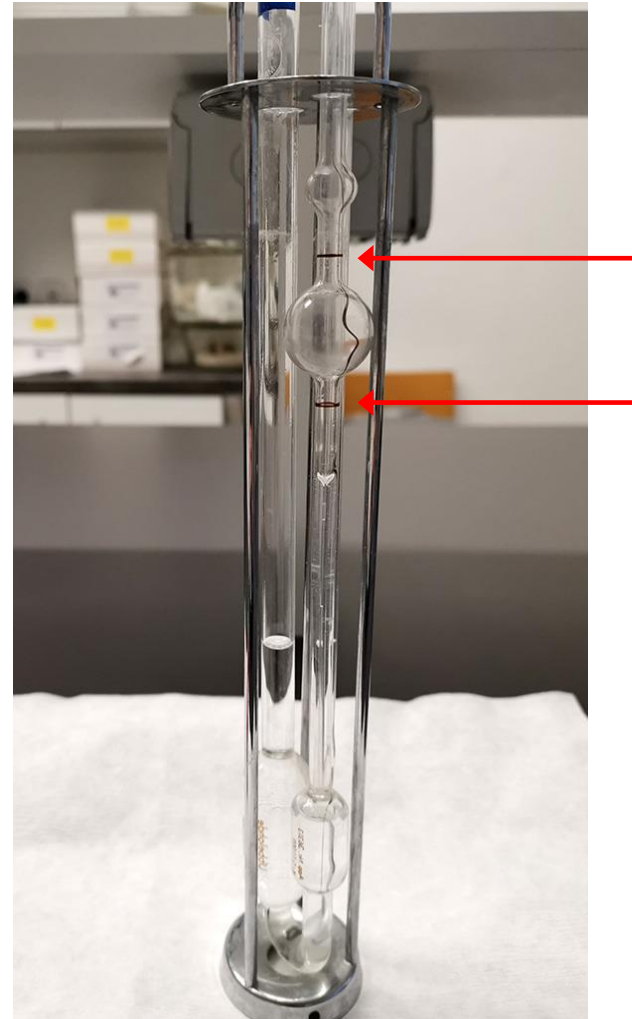
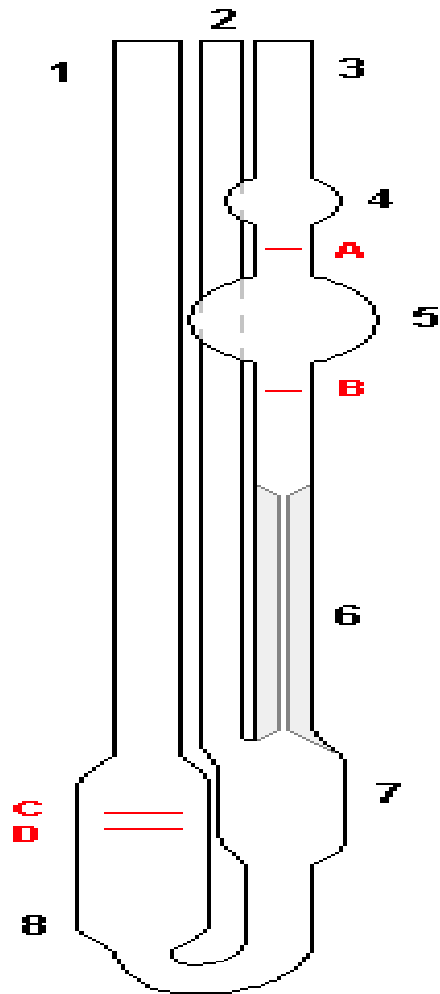
Izračunaj prosječnu viskoznu molekulsku masu **polimera** otopljenog u **otapalu** (svaka grupa različit sustav polimer-otapalo) na temelju podataka o tri vremena protjecanja otapala i otopine kroz kapilaru viskozimetra:

γ (g/cm ³)	Vrijeme protjecanja (s)			Srednje vrijeme protjecanja (s)
	1	2	3	
otapalo	30	28	28	
otopina konc 1	70	71	70	
otopina konc 2	132	129	131	
otopina konc 3	209	213	212	

γ (g/cm ³)	η_{rel}	η_{sp}	η_{red} (cm ³ /g)
otopina konc 1			
otopina konc 2			
otopina konc 3			

- Ispuniti tablicu, dati primjer izračuna, nacrtati graf ovisnosti γ - η_{red} , odrediti η_{int} , izračunati mol. masu

Seminar



Seminar



<https://youtu.be/aJJDoFzor-8>