

Vlastnosti polymerů - určeny jejich fyzikální a chemickou strukturou

izolované makromolekuly

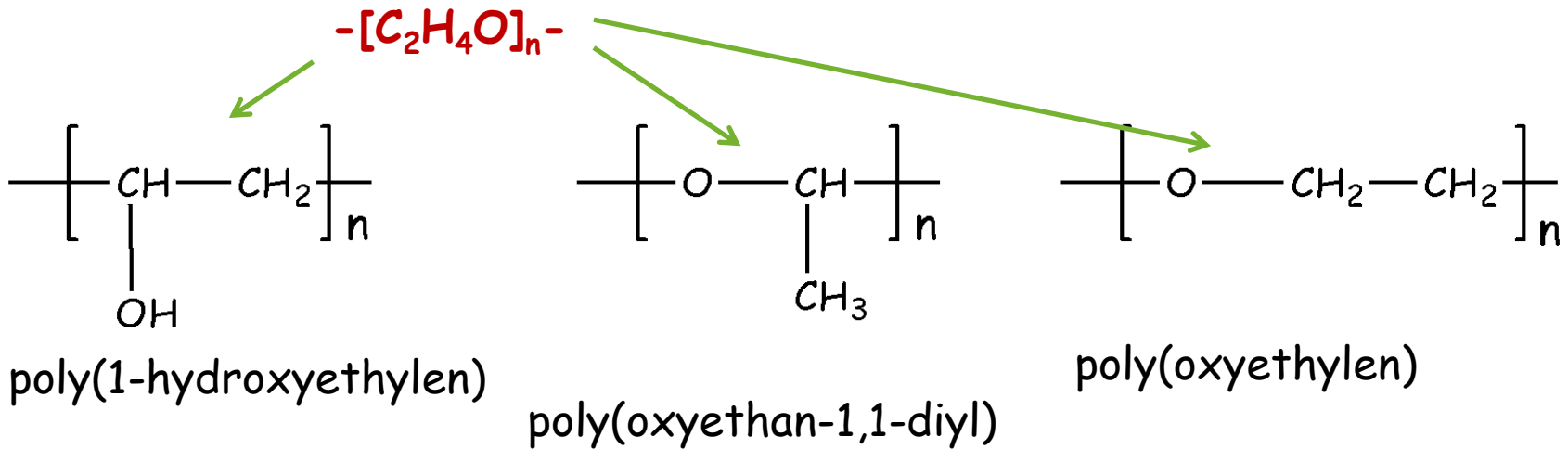
- **Konstituce**: typ a řazení jednotek, (**kovalentní, primární** struktura)
- **Konfigurace**: prostorové uspořádání sousedících atomů a skupin atomů v molekule (**sekundární** struktura)
- **Konformace**: prostorové uspořádání celé molekuly - volné (**terciální** struktura)

vzájemné uspořádání makromolekul

nadmolekulární, kvarterní struktura

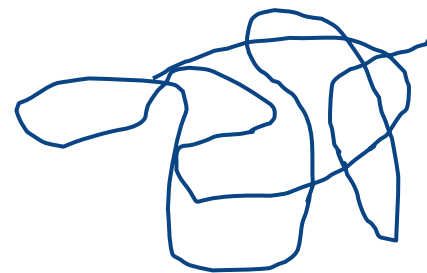
Konstituce (primární str.)

- způsob vazby jednotlivých atomů v molekule
- ISOMERY: stejné chemické složení X rozdílná konstituce



Konstituce

Lineární - propojení dvojfukčních monomerů
charakteristika - stupeň polymerace



Větvené - makromolekuly s postranními
řetězci

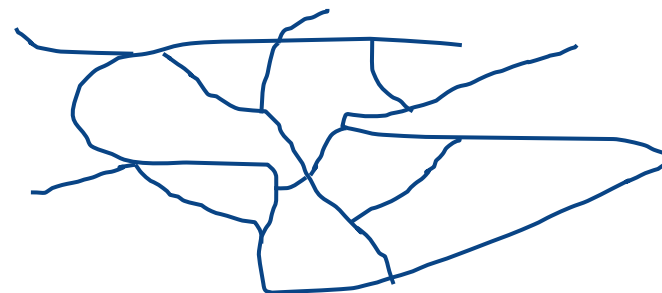
charakteristika - stupeň polymerace, délka
postranních řetězců



- polymerace troj- a vícefunkčních monomerů
- vedlejší rce při polymerizaci dvojfukčních momnomerů

Sít'ované - spojení řetězců větvených
molekul

Charakteristika - hustota sítě, délka
řetězce mezi místy zesítění

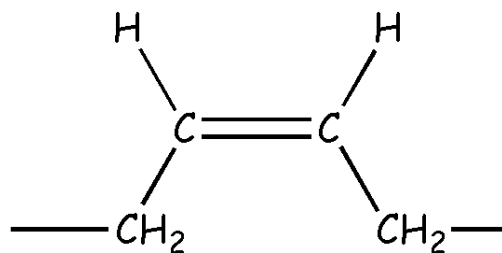


Konfigurace (sekundární str.):

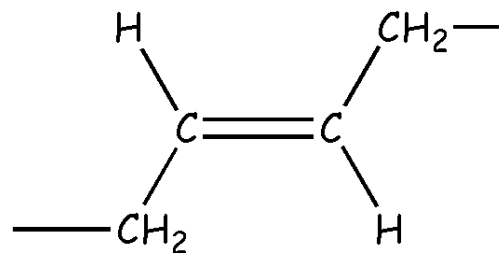
- vzájemné prostorové uspořádání atomů a skupin atomů v molekule
- trvalé - nelze měnit bez přerušování chemické vazby
- Prostorová izomerie
 - tetraedrické** uspořádání substituentů na asymetrickém atomu C
 - planární** uspořádání substituentů na C s dvojnou vazbou

Izomerie *cis- trans*

- konjugované dieny
- kaučuk (*cis* -1,4 polyisopren) x gutaperča (*trans* -1,4 polyisopren)



cis -1,4-polybutadien

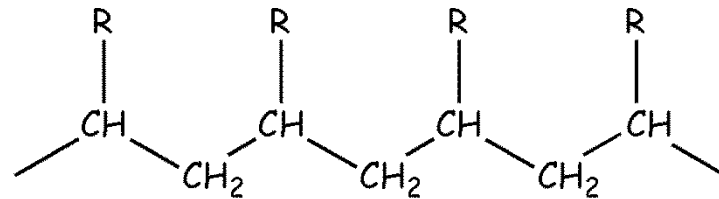


trans -1,4-polybutadien

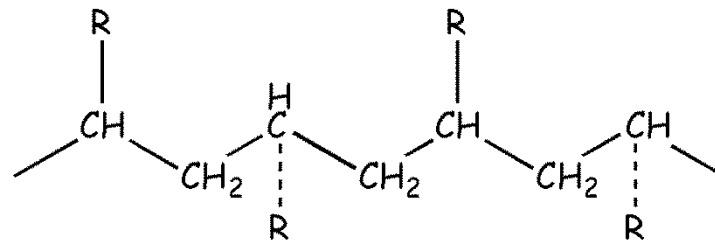
Stereospecifita

- atom C - stereoizomerní centrum
- **TAKTICITA** - uspořádání stereoizomerních center v hlavním řetězci
- Taktické polymery - mají vysoký stupeň pravidelnosti v uspořádání stereoizomerních center, **tvorba vláken a krystalů**

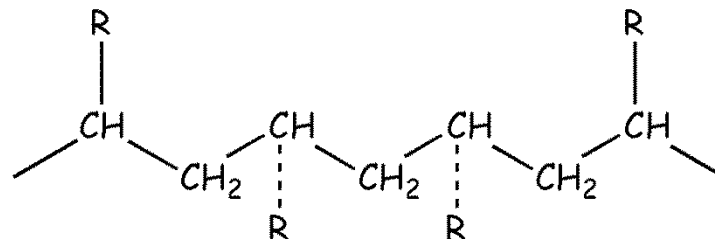
izotaktický - substituenty v jedné polorovině



syndiotaktický - substituenty střídavě v obou polorovinách



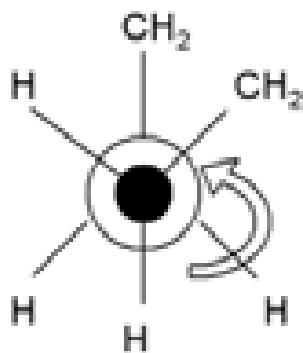
ataktický - nahodilá distribuce substituentů



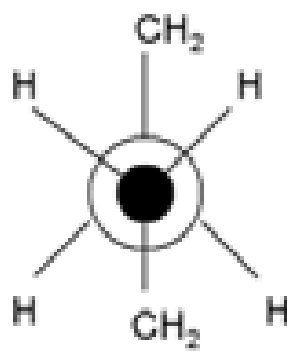
Konformace (terciální str.)

- prostorová uspořádání v makromolekule vyplývající z volné otáčivosti kolem jednoduché vazby mezi atomy
- volná rotace omezena: nevazebné interakce, odpuzivé/přitažlivé síly
- preference **energeticky nejvýhodnějších** konformací

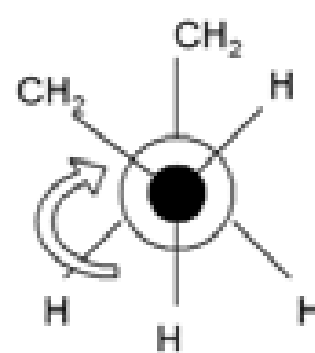
Př.: polyethylen
nejstabilnější konformace - *CIK-CAK*
trans konformace - **!není trans konfigurace!**



Gauche(-)



Trans



Gauche(+)

konformační monomery

- Nelze izolovat - identická chemická individua,
- určeny konstitucí, typem a velikostí substituentů (helix, napřímené, skládané)
- v dynamické rovnováze, statistické vyjádření
- neuspořádané (statistické) **více/méně husté klubko** (gaussovo klubko)
- rotace v **uzlech** => **segmenty** => OHEBNOST (čím menší segmenty, tím ohebnější molekula - elastomery seg. 4-10 jednotek) řetězců (termické vl., viskozita, kryst.)
- vliv okolních molekul (**slabé vazebné interakce**)

Mezimolekulární síly (slabé vazebná inerakce, síly van der Waalsovy, sekundární vazby)

Energie vazby: 21 - 42 kJ.mol⁻¹ (vazba C-C 347 kJ.mol⁻¹)

- Disperzní (Londonovy)
- Dipólové
- indukční (indukovaný dipól)
- Vodíkové můstky

Interakce mezi	Závisí		Výskyt
	na vzdálenosti	na teplotě	
disperzní – atomové dipóly	ubývají s r ⁷	slabě	u všech látek
dipólové – permanentní dipóly	ubývají s r ⁴	silně	u polárních látek
indukční – primární a indukované dipóly	ubývají s r ⁷	slabě	u polárních látek
H – můstky – Na, F, Cl, N, O		silně	u polárních, amidy apod.

Nadmolekulární struktura (kvarterní)

- Vzájemné uspořádání makromolekul
- Možnosti uspořádání - chemická struktura polymeru, vnější podmínky
- Morfologie polymerů (uspořádanost polymeru v nadmolekulární úrovni, nejlépe prostudována u krystalizujících polymerů)
- **Amorfní** (neuspořádaná struktura)/ **Semikrystalické** (neexistuje 100% krystalický polymer, krystalinita (%))

Faktory podporující krystalizaci	Faktory potlačující krystalizaci
Pravidelná, regulární struktura	Iregulární struktura
Lineární nerozvětvené molekuly	Rozvětvený řetězec, objemné substituenty
Silné sekundární vazby	Nepolární molekuly
Ohebné řetězce	Velmi dlouhé segmenty

podmínky krystalizace (rychlost chlazení, koncentrace, mechanické namáhání)

Molární hmotnosti polymerů

M [g/mol]

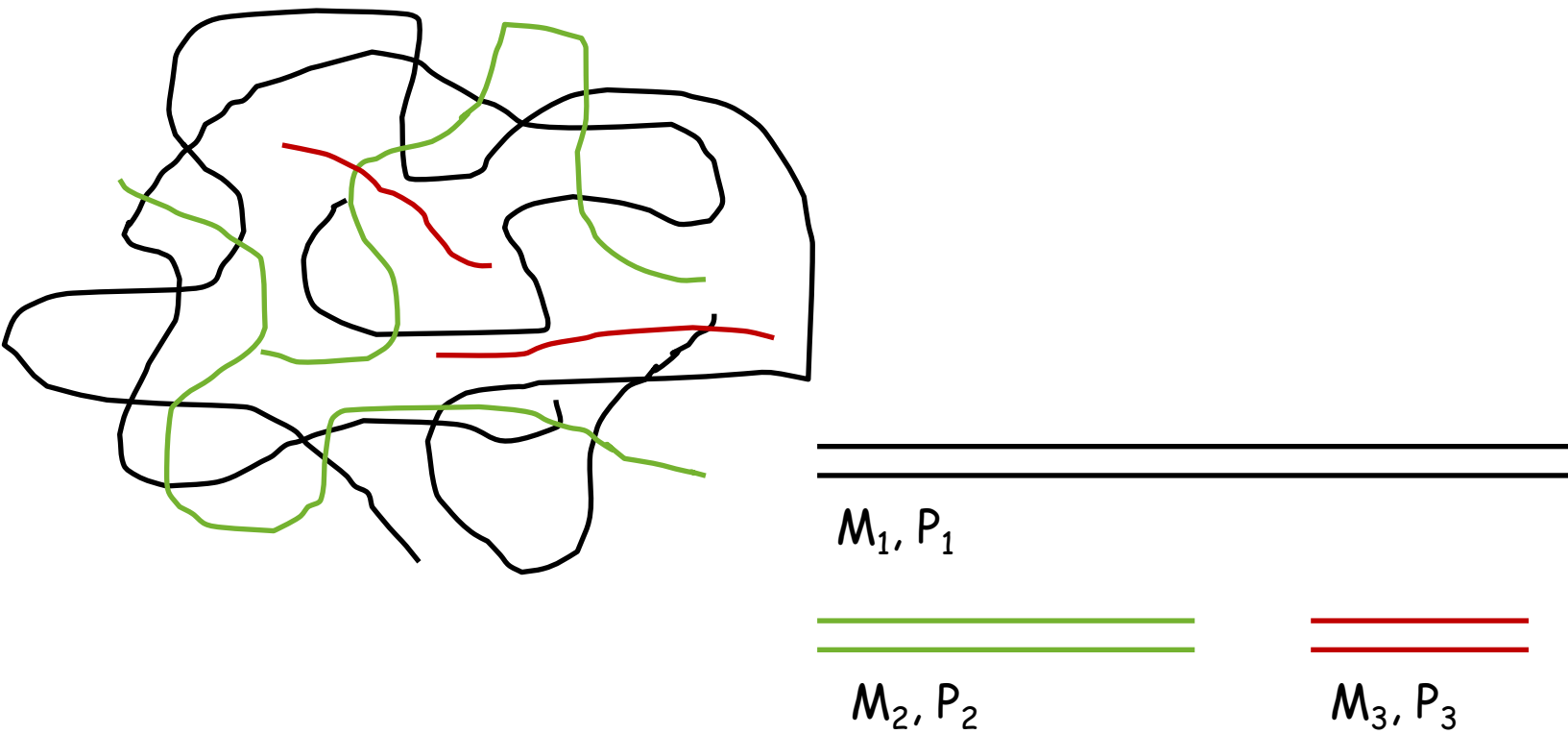
Látkové množství: **n [mol]**

je veličina, která byla zavedena pro popis stejnorodých látek, které mají částicovou strukturu. O takové látce pak tvrdíme, že má látkové množství 1 mol, právě když obsahuje stejné množství částic, jako je atomů ve 12 g nuklidu ${}^6_{12}\text{C}$. Bylo zjištěno, že v nuklidu ${}^6_{12}\text{C}$ o hmotnosti 12 g je přibližně $6,02 \cdot 10^{23}$ atomů.

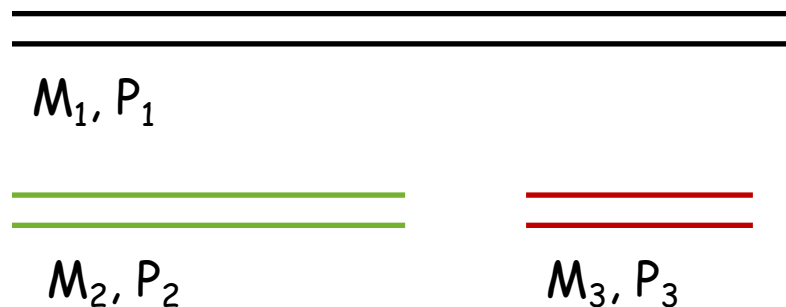
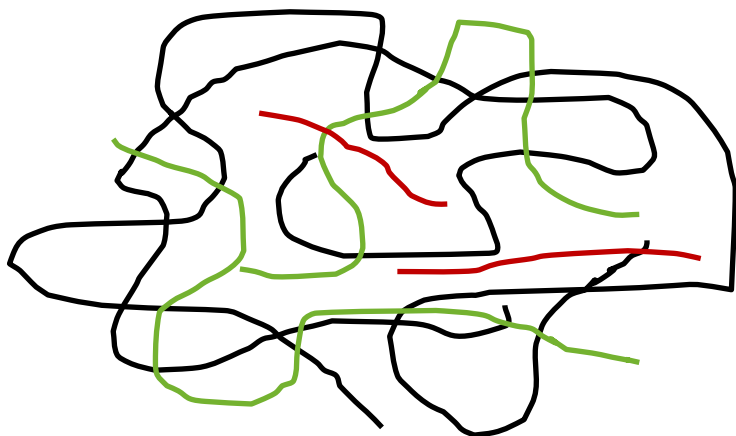
Relativní molekulová hmotnost **M_r [bezrozměrná]**

vyjadřuje poměr střední hmotnosti částice k 1/12 hmotnosti nuklidu ${}^{12}\text{C}$. Molární hmotnost s rozměrem g/mol má stejnou číselnou hodnotu jako relativní molekulová hmotnost.

Polymery jsou zpravidla složeny ze směsi různě dlouhých makromolekul
NEUNIFORMNÍ (polydisperzní) systém
POLYMERHOMOLOGY - makromolekuly se stejným chemickým složením, ale různou molární hmotností
syntetické polymery



uniformní monodisperzní systém - přírodní polymery (proteiny, NA)



$$x_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^{\infty} n_i}$$

Číselně střední molární hmotnost M_n

$$w_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^{\infty} m_i}$$

hmotnostně střední molární hmotnost M_w

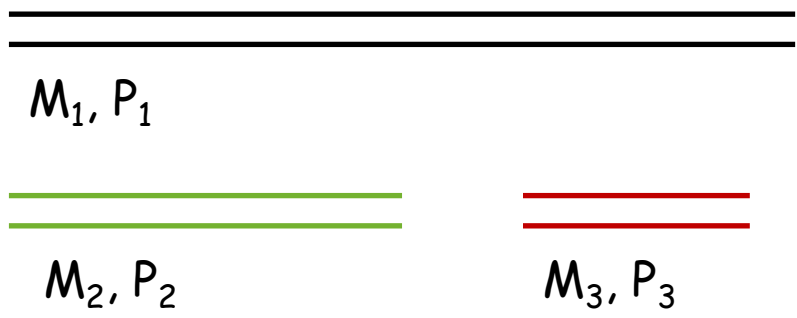
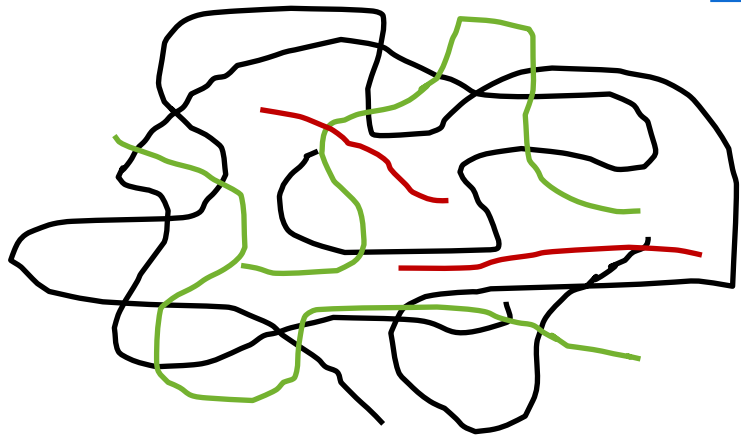
m_i - hmotnost makromolekul i-té frakce

n_i - látkové množství makromolekul i-té frakce

w_i - hmotnostní zlomek makromolekul i-té frakce

x_i - molární zlomek makromolekul i-té frakce

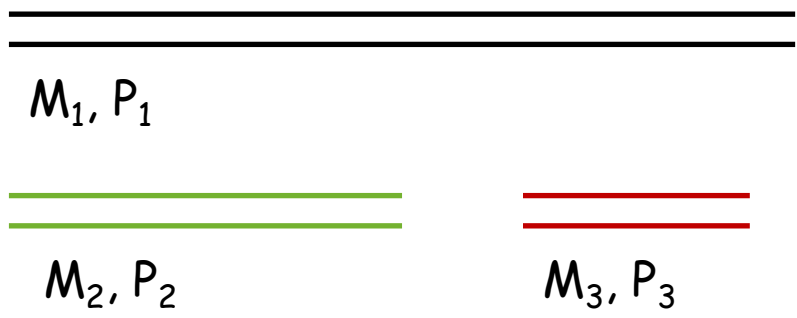
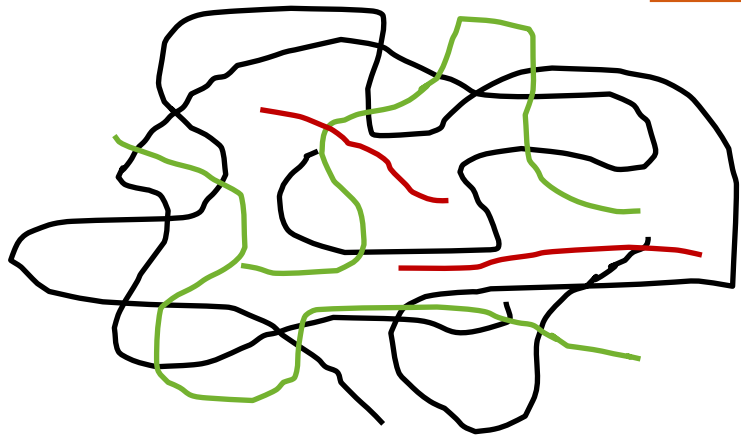
Číselně střední molární hmotnost



$$\bar{M}_n = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} n_i M_i}{\sum_{i=1}^{\infty} n_i} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} m_i}{\sum_{i=1}^{\infty} n_i} = \sum_i x_i M_i$$

- m_i - hmotnost makromolekul i-té frakce
- n_i - látkové množství makromolekul i-té frakce
- w_i - hmotnostní zlomek makromolekul i-té frakce
- x_i - molární zlomek makromolekul i-té frakce

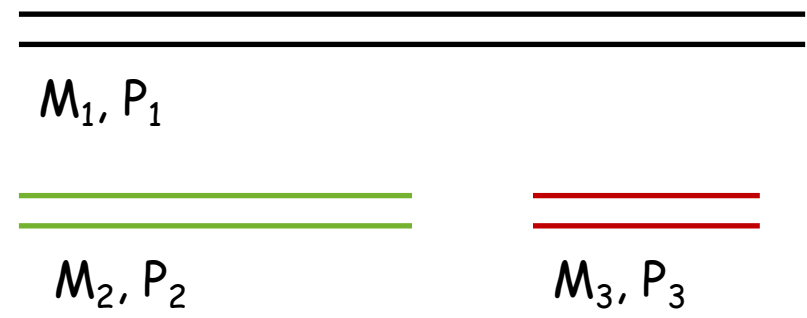
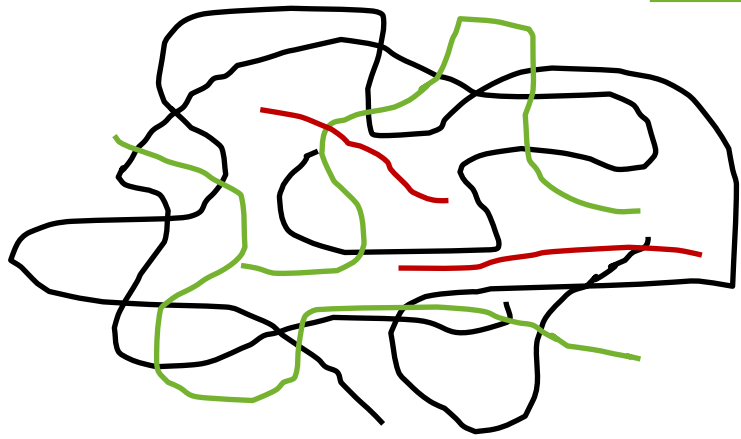
hmotnostně střední molární hmotnost



$$\bar{M}_w = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} m_i M_i}{\sum_{i=1}^{\infty} m_i} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} n_i M_i^2}{\sum_{i=1}^{\infty} n_i M_i} = \sum_i w_i M_i$$

- m_i - hmotnost makromolekul i-té frakce
- n_i - látkové množství makromolekul i-té frakce
- w_i - hmotnostní zlomek makromolekul i-té frakce
- x_i - molární zlomek makromolekul i-té frakce

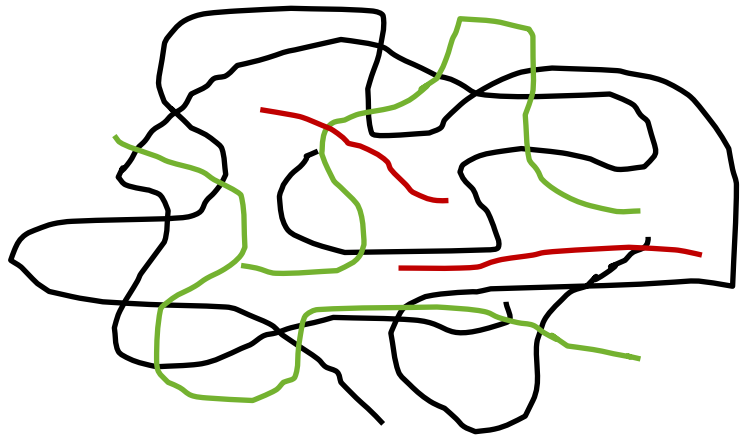
viskozitní průměr molární hmotnosti



$$\bar{M}_v = \left[\sum_i w_i M_i^\alpha \right]^{\frac{1}{\alpha}}$$

- α - konstanta tabelovaná (polymer-rozpouštědlo-teplota)
- m_i - hmotnost makromolekul i-té frakce
- n_i - látkové množství makromolekul i-té frakce
- w_i - hmotnostní zlomek makromolekul i-té frakce
- x_i - molární zlomek makromolekul i-té frakce

Polymerační stupeň



$$M_i = M_0 P_i$$

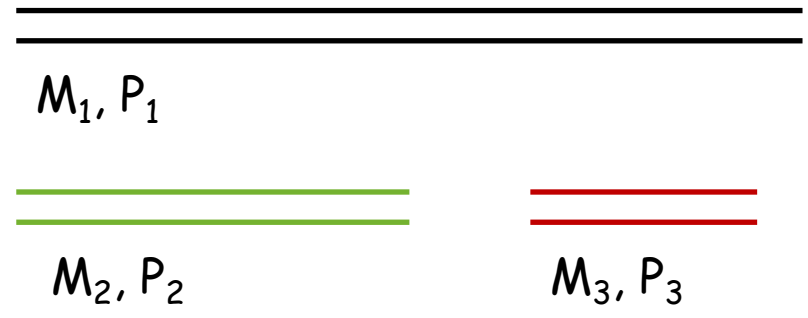
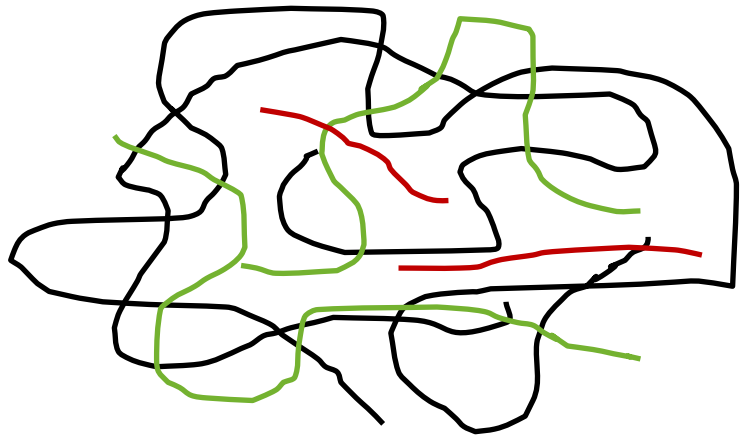
$$\overline{M}_n = M_0 \overline{P}_n$$

$$\overline{P}_n = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} n_i P_i}{\sum_{i=1}^{\infty} n_i} = \sum x_i P_i$$

$$\overline{M}_w = M_0 \overline{P}_w$$

$$\overline{P}_w = \sum w_i P_i$$

M_0 - molární hmotnost monomerní jednotky



Neuniformní polymer

$$\overline{M}_n < \overline{M}_w$$

Uniformní polymer

$$\overline{M}_n = \overline{M}_w$$

Index neuniformity (polydisperze)
uniformní polymer $Z=1$

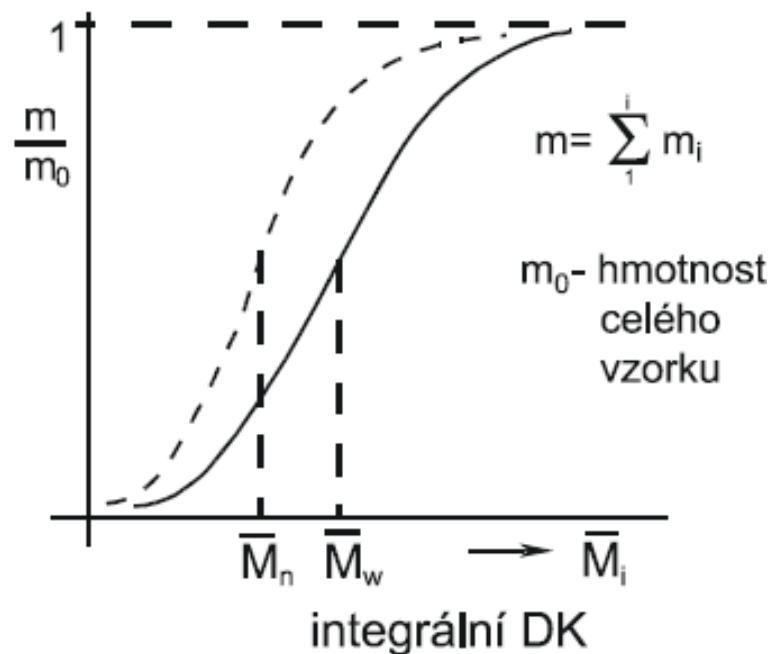
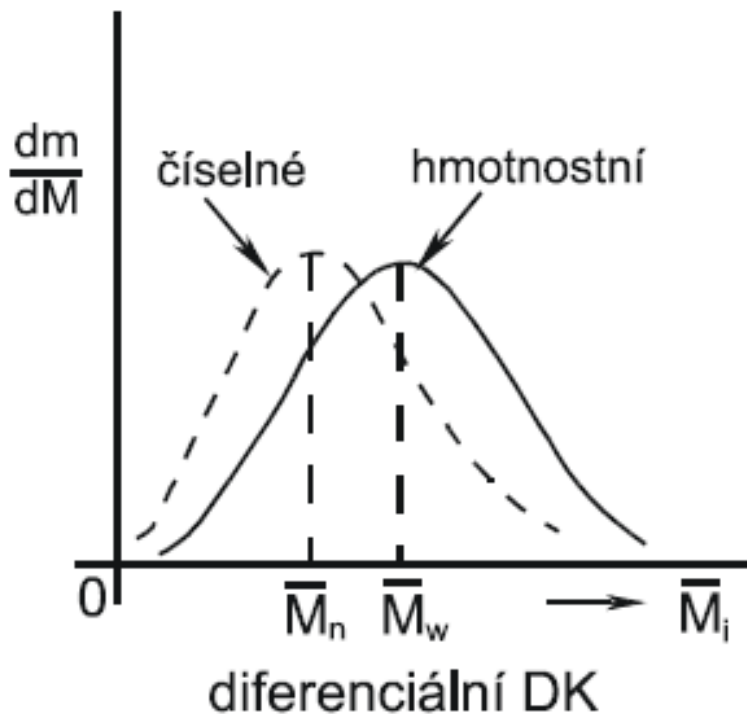
$$Z = \frac{\overline{M}_w}{\overline{M}_n}$$

Distribuce molárních hmotností

Distribuce polymerizačních stupňů, polydisperzita

Podle způsobu vyhodnocení naměřených výsledků můžeme získat dva druhy **DISTRIBUČNÍ KŘIVKY** (DK):

- diferenciální DK (podíl jednotlivých frakcí - není normální roz.)
- integrální DK (součet frakcí)



Metody stanovení molárních hmotností

Metody:

absolutní

relativní (kalibrace polymerem o známé mol. hmotnosti)

Výstupy:

číselně střední molární hmotnost M_n

kryoskopie (snížení bodu tání)

ebulioskopie (zvýšení bodu varu)

osmometrie

metoda stanovení koncových skupin

hmotnostní spektrometrie

hmotnostně střední molární hmotnost M_w

rozptyl světla

sedimentace

frakcionace

viskozitní průměr molární hmotnosti M_v

viskozimetrie

Metoda koncových skupin

- Absolutní, stanovení M_n
- polymery, které mají na konci makromolekul skupiny vhodné pro přesné analytické stanovení (titrace, radioizotopy, chromo/fluorofory)
- Citlivost metody klesá se vzrůstajícím M
- Pouze pro lineární (případně hvězdicové) polymery.



osmometrie

Absolutní, stanovení M_n

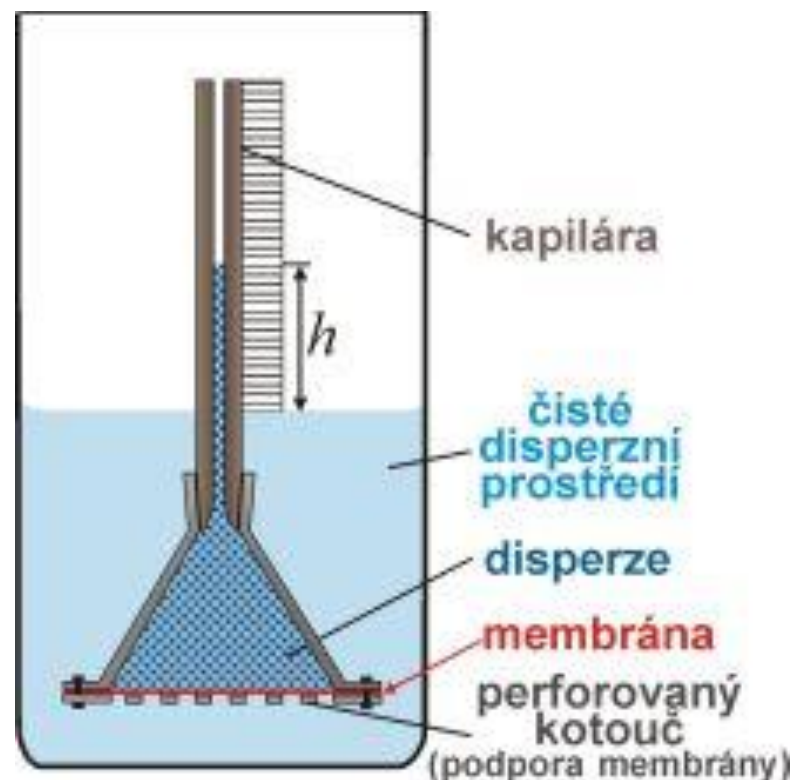
Membránová osmometrie

- závislost osmotického tlaku na molární hmotnosti
- nevhodná pro polymery s velmi malou nebo naopak velmi velkou M
- NEČISTOTY!
- Hladina se zvyšuje tak dlouho, dokud se nevyrovná hydrostatický a osmotický tlak $\pi = \rho \cdot g \cdot \Delta h$

$$\left(\frac{\pi}{c} \right)_{c=0} = RT \left(\frac{1}{M_n} + A_2 c + A_3 c + \dots \right)$$

Osmometrie v parní fázi

- snížení tenze par nad roztokem vzhledem k čistému rozpouštědлу
- hodí se pro nízkomolekulární polymery



π - osmotický tlak
 c - koncentrace (g/l)
 ρ - hustota (g/cm³)
 A - viriální koeficient, závisí na interakcích polymeru s rozpouštědlem

Ebulioskopie a kryoskopie

absolutní, stanovení M_n

Pro stanovení molárních hmotností 20 - 40 tisíc.

Ebulioskopie

- sleduje zvýšení bodu varu rozpouštědla ΔT_b v závislosti na změně koncentrace polymeru v roztoku

Kryoskopie

- sleduje zvýšení bodu tání rozpouštědla ΔT_f v závislosti na změně koncentrace polymeru v roztoku

Hmotnostní spektrometrie

Absolutní, stanovení M_n

Limit: 100 000 pro syntetické polymery, 1 000 000 pro některé proteiny
metoda, kterou lze stanovit hmotnosti atomů, molekul a molekulových fragmentů po jejich převedení na ionty

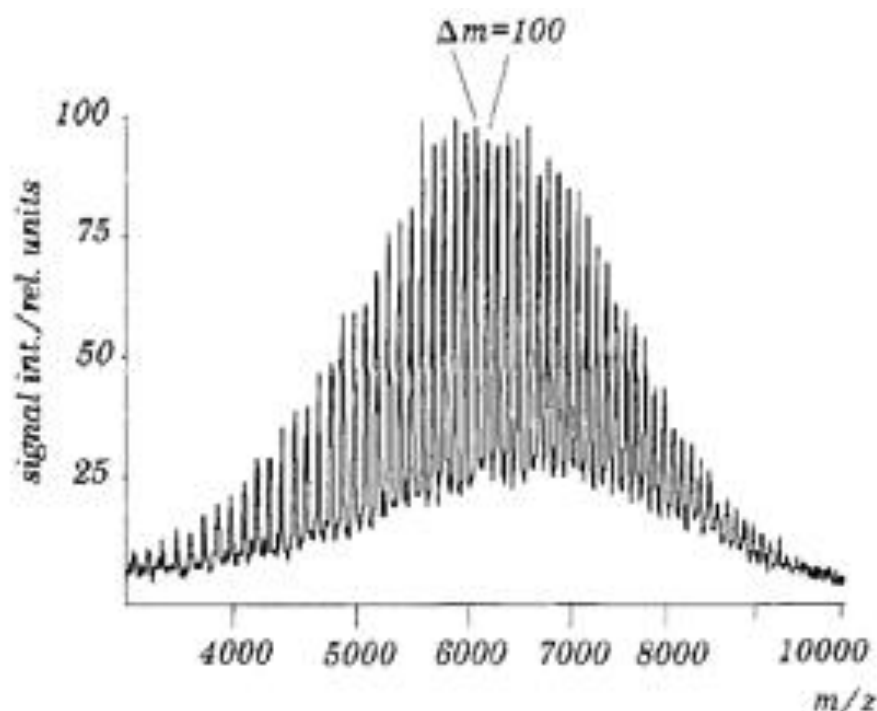


Figure 4. Matrix-LDI spectrum of PMMA 7100. Instrument: Vision 2000. Matrix: DHB, 355-nm wavelength.

1. Tvorba iontů (ionizace)
2. Filtrace iontů
3. Měření četnosti iontů v závislosti na hodnotě m / z

m - relativní molekulová hmotnost vzniklého iontu
 z - počet nábojů vzniklého iontu (1, 2, 3, 4, 5, 6

4. Hmotnostní spektrum
 - * osa x přísluší hodnotě m / z
 - * osa y přísluší četnosti iontů (intenzitě signálu)

MALDI TOF

Matrix-**A**ssisted **L**aser **D**esorption **I**onization
TOF detektor

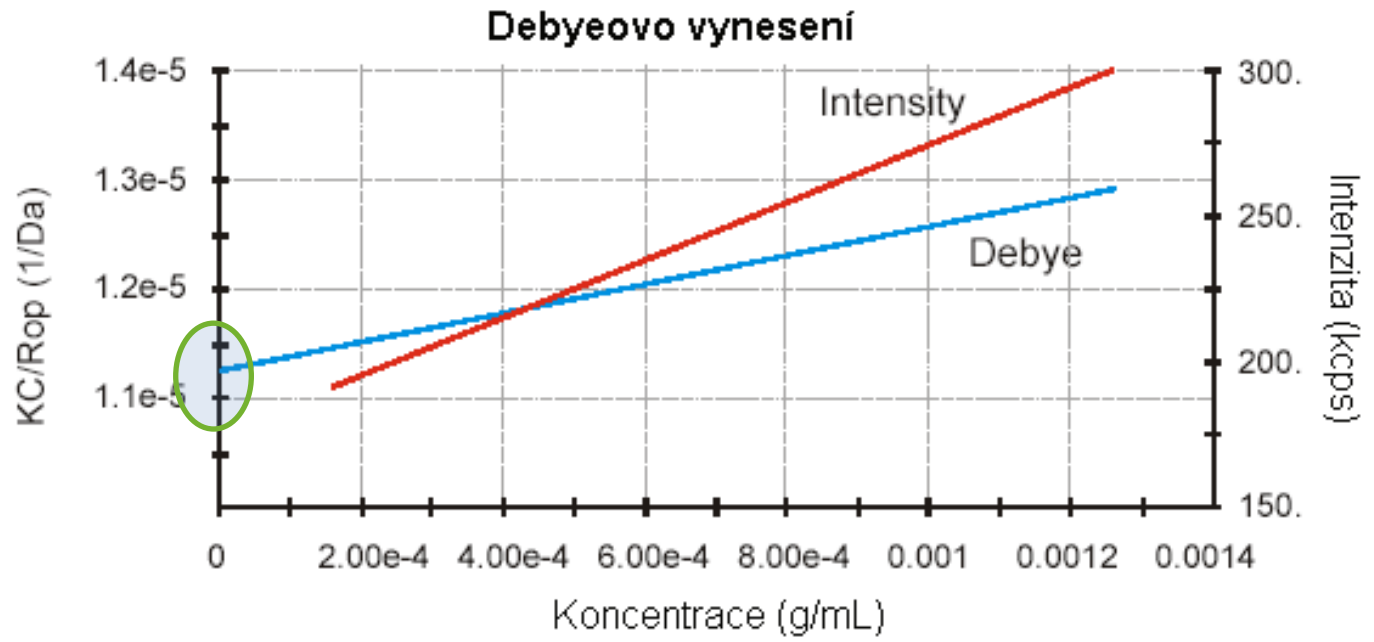
Rozptyl světla

- absolutní, stanovení M_w
- **Rayleighova rovnice** - Molekulová váha se stanoví měřením vzorku při různých koncentracích. Rovnice popisuje intenzitu světla rozptýleného částicí v roztoku.
- malé částice ($< \lambda$, do 25nm)

$$R_\nu = K \cdot c \cdot M$$

R_ν - rayleighův poměr
 K - optická konstanta (
 c - koncentrace absorbující látky
 M - M_w [Da]

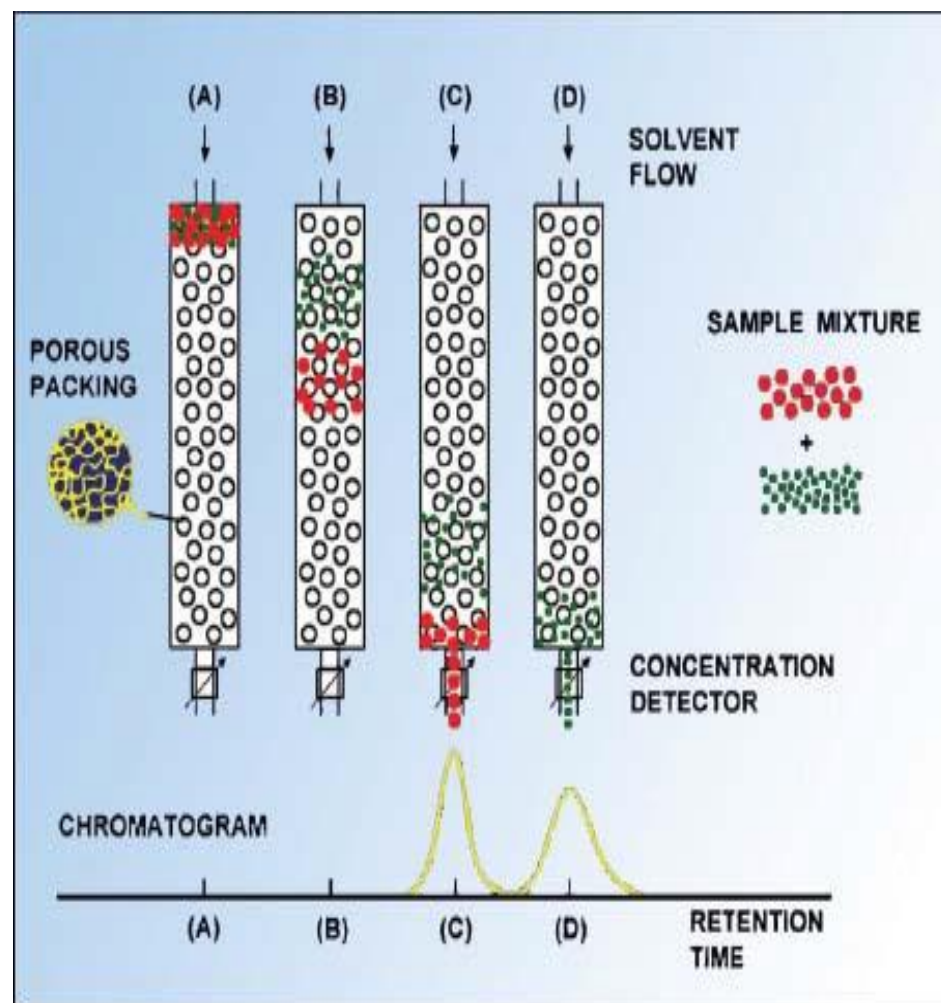
Intenzita rozptýleného světla



Frakcionace

Gelová permeační chromatografie

- relativní, stanovení M_w
- dělení molekul podle jejich velikosti a tvaru.
- stacionární fáze: **gelové částice s póry**
- mobilní fáze: rozpouštědlo
- makromolekuly se zachytávají v pórech náplně
- z kolony **nejprve** vycházejí **největší makromolekuly**, které se nezachytávají v pórech náplně a postupně se z kolony vymývají frakce menších makromolekul



Viskozimetrie

- relativní, stanovení M_v
- Roztoky makromolekul mají zvýšenou viskozitu ve srovnání se samotným rozpouštědlem
- Zvýšení viskozity roztoků polymerů o známé koncentraci je používáno ke stanovení M_v
- Metody: kapilární, metoda padající kuličky, rotační viskozimetrie

$$[\eta] = KM^\alpha$$

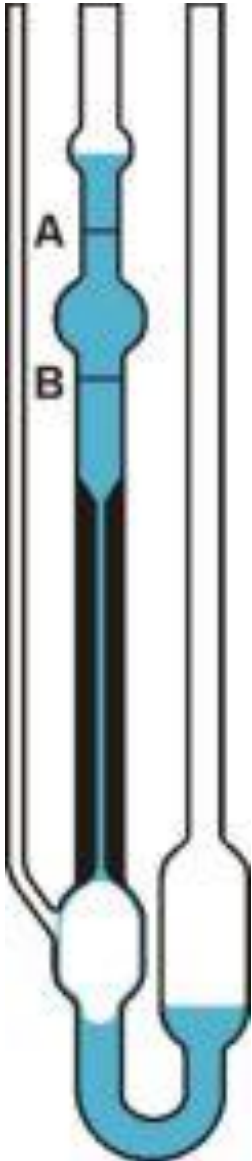
Mark-Houwingova rovnice:

$[\eta]$ - limitní viskozitní číslo

α, K, m - konstanty závislé na struktuře polymeru i rozpouštědla

M - M_v , viskozitně průměrná molekulová hmotnost

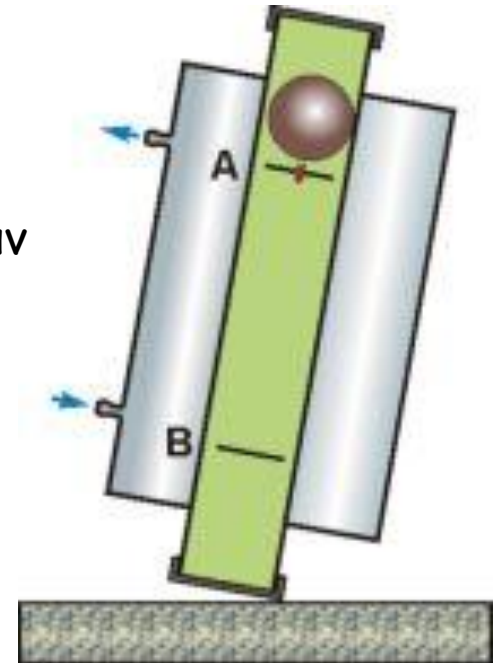
Viskozimetrie



Ubbelohdeův
kapilární viskozimetr

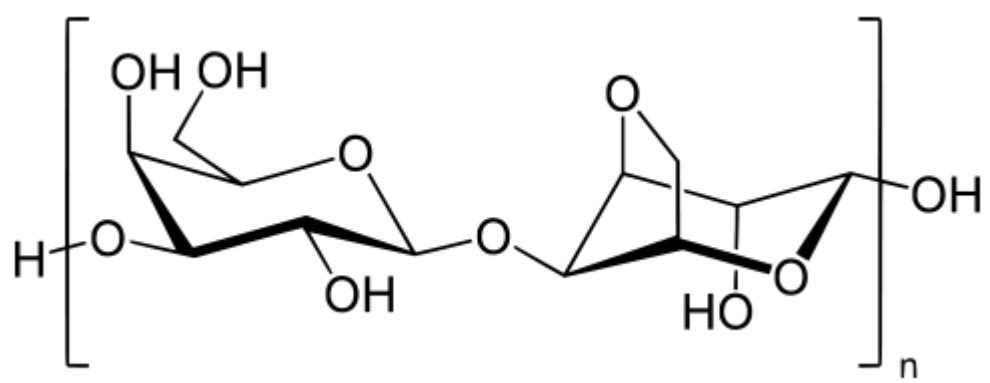
- Viskozimetrie není přímá metoda, vztah mezi $[\eta]$ a M_v je nutno zjistit kalibrací pomocí absolutní metody (rozptyl světla)
- Kapilární viskozimetr - kinetická viskozita
- kuličkový viskozimetr (tělískové)
- Rotační viskozimetr

Metoda padající kuličky: Höpplerův viskozimetr

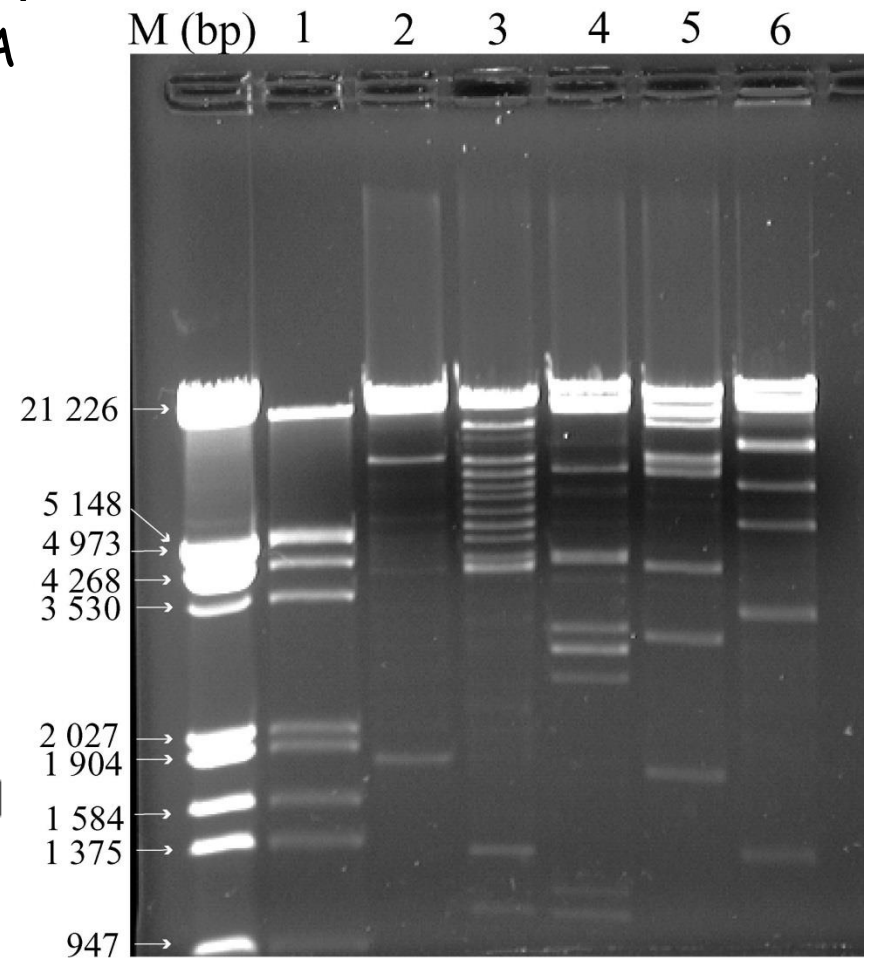


Molekulová hmotnost biomakromolekul (NA, proteiny)

- Relativní metoda
- rozdělení makromolekul dle mobility v elektrickém poli - ELEKTROFOREZA
- **DNA** - záporně nabitá
- vizualizace - interkalační činidla, fluorofory (Et-Br excitace UV, toxický!)
- Marker : DNA o známé mol. Hmotnosti
- Nosič: agaróza, PAGE

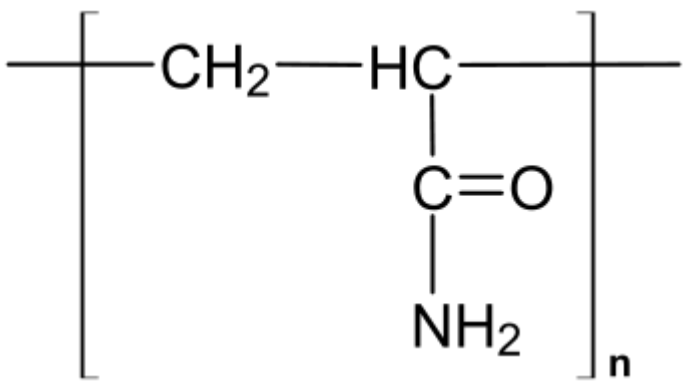


galaktóza a 3,6-anhydrogalaktóza

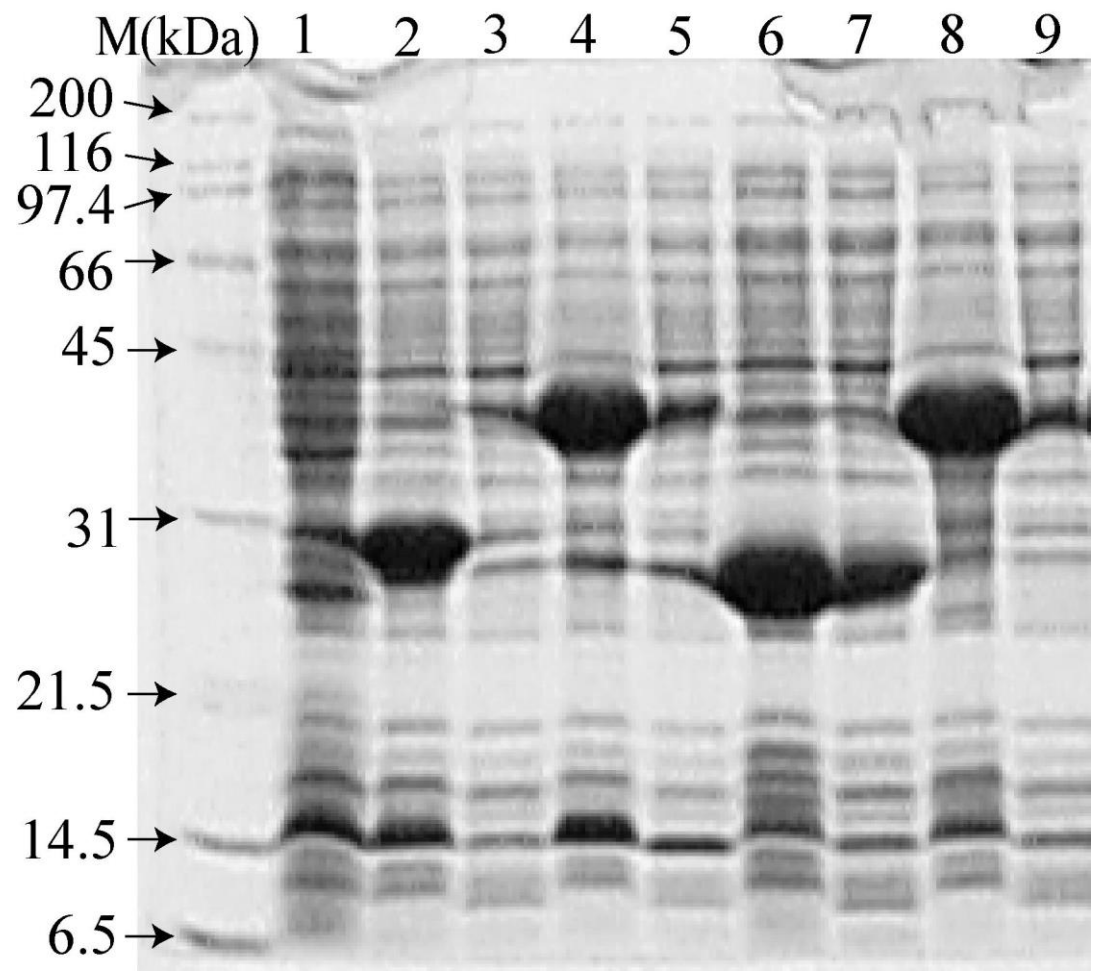


Molární hmotnost

- **Proteiny** - prostředí SDS (dodecylsulfát sodný) => záporný náboj
- nosič: polyakrylamid (PAGE)
- Marker: směs proteinů o známé mol. Hmotnosti
- Vizualizace : barvení coomassie blue, stříbro



PAGE: poly(2-propenamid)



Makromolekulární látky

~~Krystalické~~

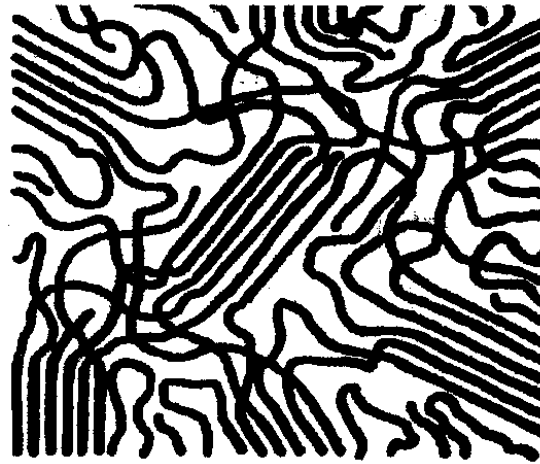


Amorfní

Semikrystalické polymery

Obsahují jak amorfní, tak i krystalickou fázi.

V literatuře jsou semikrystalické polymery běžně nazývány jako krystalické polymery.



Polymery v pevném stavu - rozmanitý vzhled, vlastnosti (optické -PE/PET , pevnost PA, křehkost PS nadmolekulová struktura!)

Překpoklady vzniku semikrystalických polymerů

- Stéricky pravidelná struktura (takticita)
- Lineární nerozvětvené makromolekuly (velké sub. zabraňují kryst.)
- Vhodná konformace
- Dostatečně silné sekundární vazby (mezi segmenty)
- Dostatečně ohebné řetězce (uložení v kryst. oblastech)
- Vhodné podmínky přípravy (rychlost chlazení)

Polymer	Krystalinita %
polyethylen lineární	80 až 95
polyethylen rozvětvený	50 až 60
polyvinylidenchlorid	75
polyvinylchlorid	10
polyakrylonitril	40
polyethyltereftalát	55 až 75
polykaprolaktam	50 až 60
bavlněná celulóza	70
viskóзовé hedvábí	40
polystyren ataktický	0

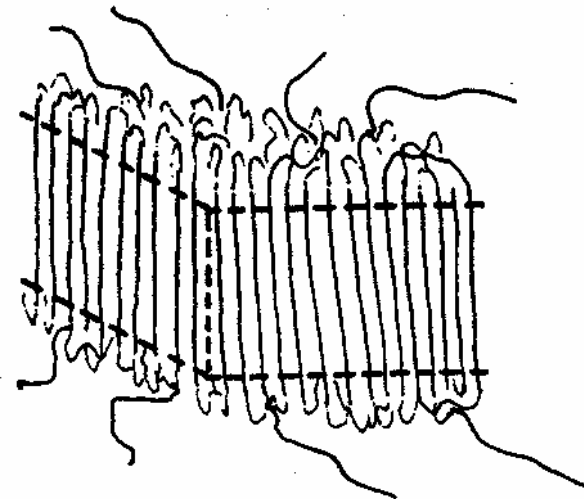
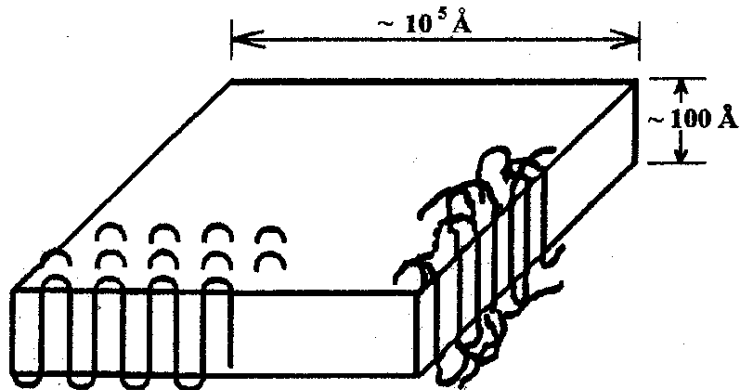
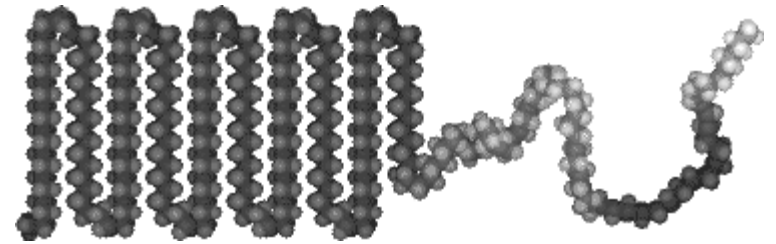
Monokrystal polymeru

Také nazýván lamela

Šířka ~ desítky mikrometrů

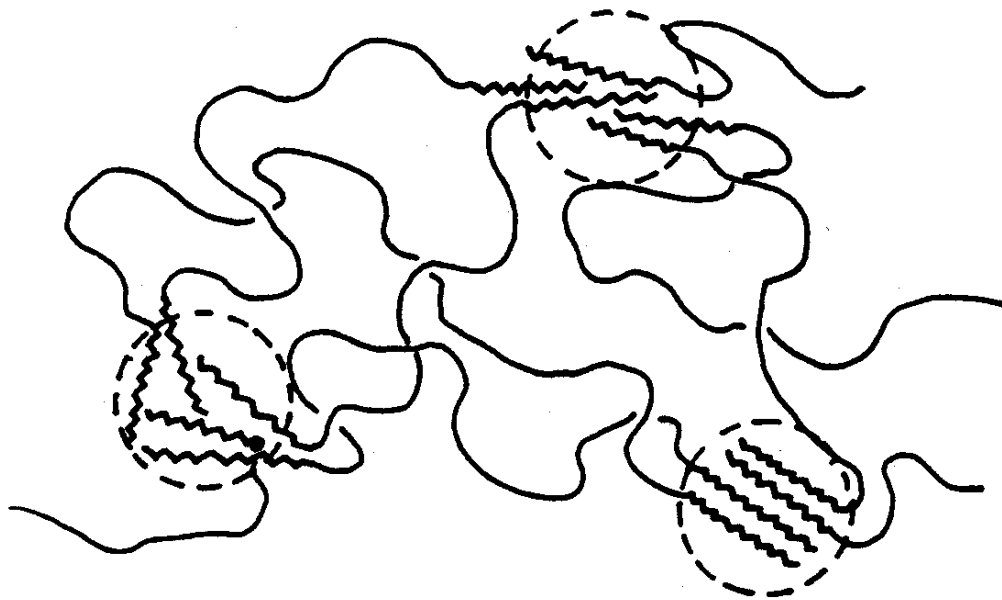
Tloušťka ~ 10 nanometrů

Makromolekuly jsou uloženy kolmo na osu krystalu.



Srovnání amorfních a semikrystalických polymerů

Semikrystalické polymery - krystalická fáze je rozptýlena ve fázi amorfní (dvoufázový systém).



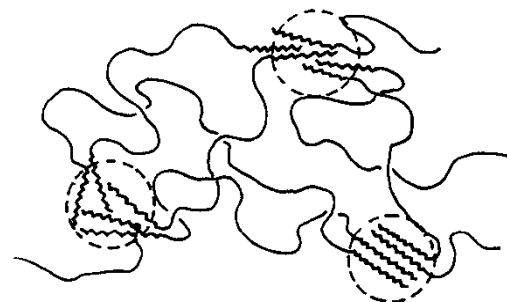
Kryst. fáze - těsnější uložení makromolekul - roste hustota
(měřítko stupně krystalinity)

Srovnání amorfních a semikrystalických polymerů

Makromolekuly jsou v krystalické fázi více uspořádané než ve fázi amorfní.

S obsahem krystalické fáze v polymeru se:

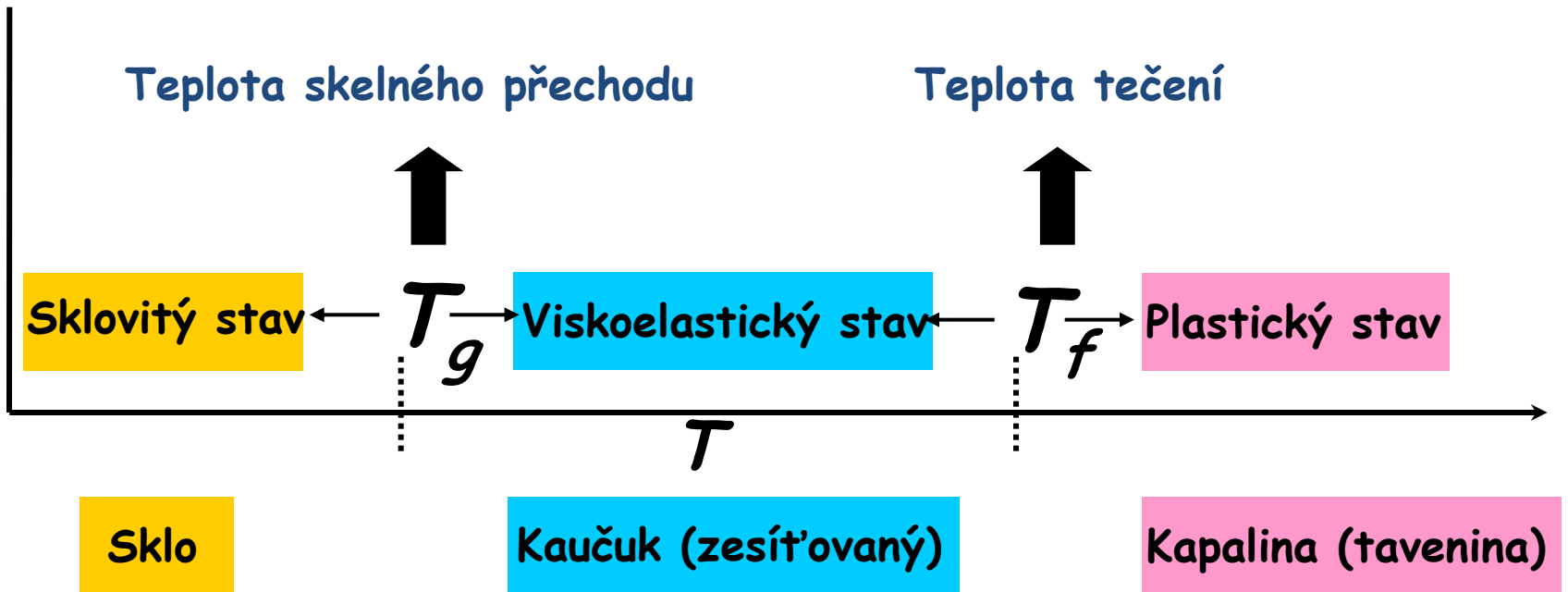
- zvyšuje hustota
- mění se mechanické vlastnosti (zvyšuje pevnost, tuhost)
- snižuje rozpustnost
- Optické vlastnosti (PS)
(zhoršuje transparentnost, přísady)
- výrazně se mění termické chování



Termické chování polymerů

Termické chování amorfních polymerů

Stavy amorfního polymeru v závislosti na teplotě - určeno ch. strukturou

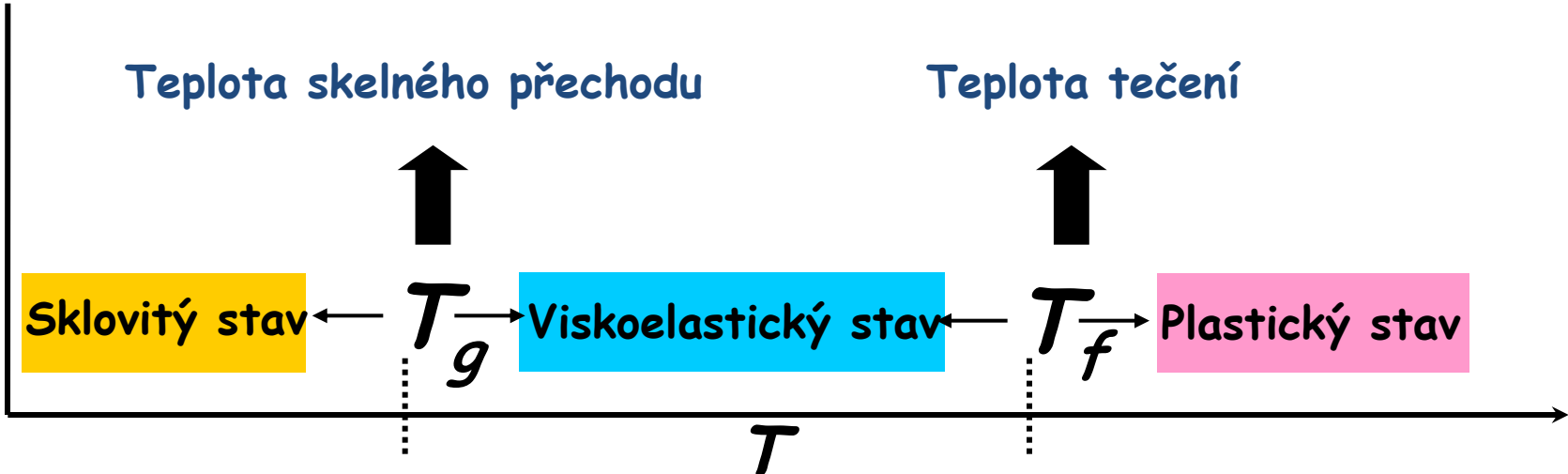
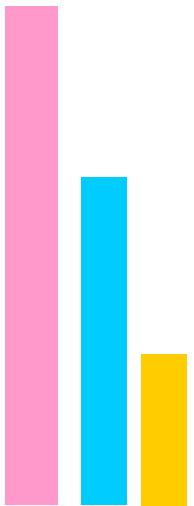


- roomT - sklovitý (PET, PS, plexi) (T_g -120°C)
- kaučukovitý (cis-1,4-polybutadien, cis-1,4-polyisopren) (T_g - kap. N₂)

Termické chování amorfních polymerů

Druhy tepelného pohybu v amorfních polymerech:

- Vzájemný pohyb celých makromolekul - tok materiálu
(makromolekuly po sobě klouzají)
- Pohyby segmentů makromolekul - elasticita
(dovoluje částečné rozbalování makromolekuly, ohyb částí)
- Pohyb atomů v hlavním a vedlejším řetězci
- Rovnovážné vibrace atomů



Může sklo téct?



Ano, ale trvá to
nějaký ten čas.

10^{32} let.

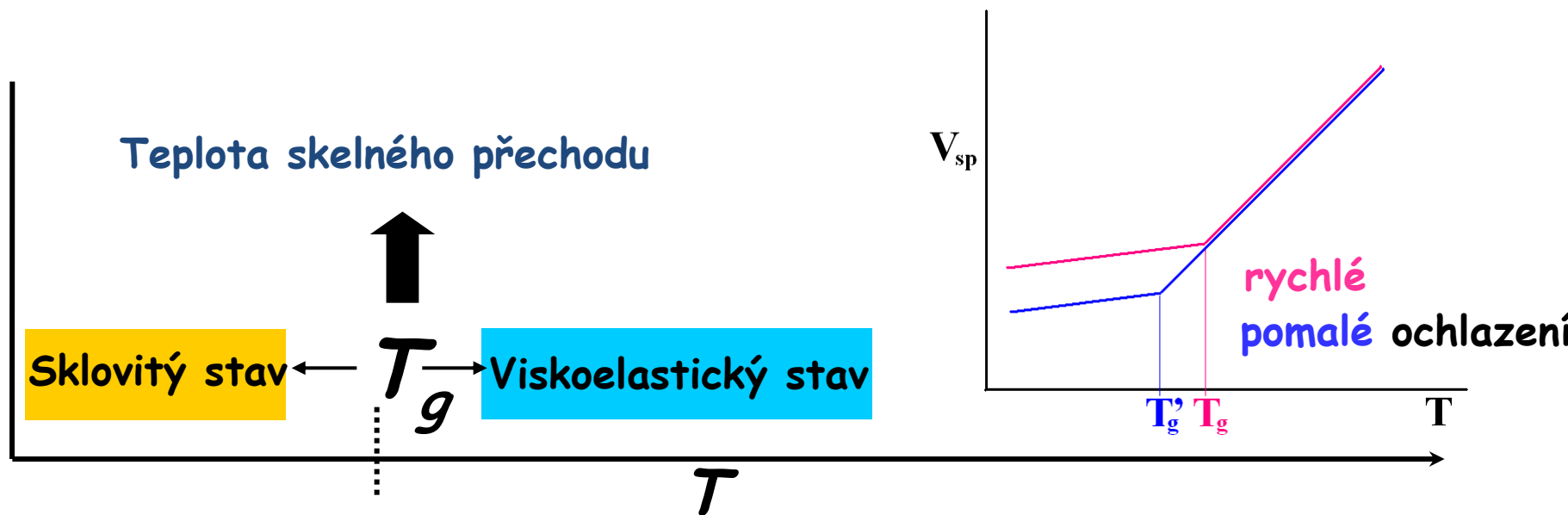
Pohyby segmentů makromolekul - Teorie volného objemu

Každý segment makromolekuly zaujímá určitý prostor = *vyloučný objem*

Mezi segmenty makromolekuly je prostor, v němž atomy segmentu vibrují kolem svých rovnovážných poloh = *volný objem*

Zvyšování teploty vede k zvýšení vibrací atomů a tím k zvyšování volného objemu.

Teplota, při níž je dosaženo takového volného objemu, že může dojít k pohybu segmentu a zároveň teplota, při které **tepelný pohyb překoná mezimolekulární interakce** = *teplota skelného přechodu T_g* (není spojeno s fázovým přechodem, změna vlastností)



Pohyby segmentů makromolekul - Teorie volného objemu

Teplota skelného přechodu T_g tedy závisí na:

- Velikosti *volného objemu*
 - ohebnost makromolekuly, možnost rotace kolem vazeb
 - velikost postranních substituentů (malé, symetrické rozmístění)
- Mezimolekulárních interakcích
- Molární hmotnosti (délka segmentu)
- Přítomnosti nízkomolekulárních látek (rozpuštědla, změkčovadla)

Seřad' následující polymery
podle vzrůstající T_g .

Polyethyltereftalát = $+67^{\circ}\text{C}$

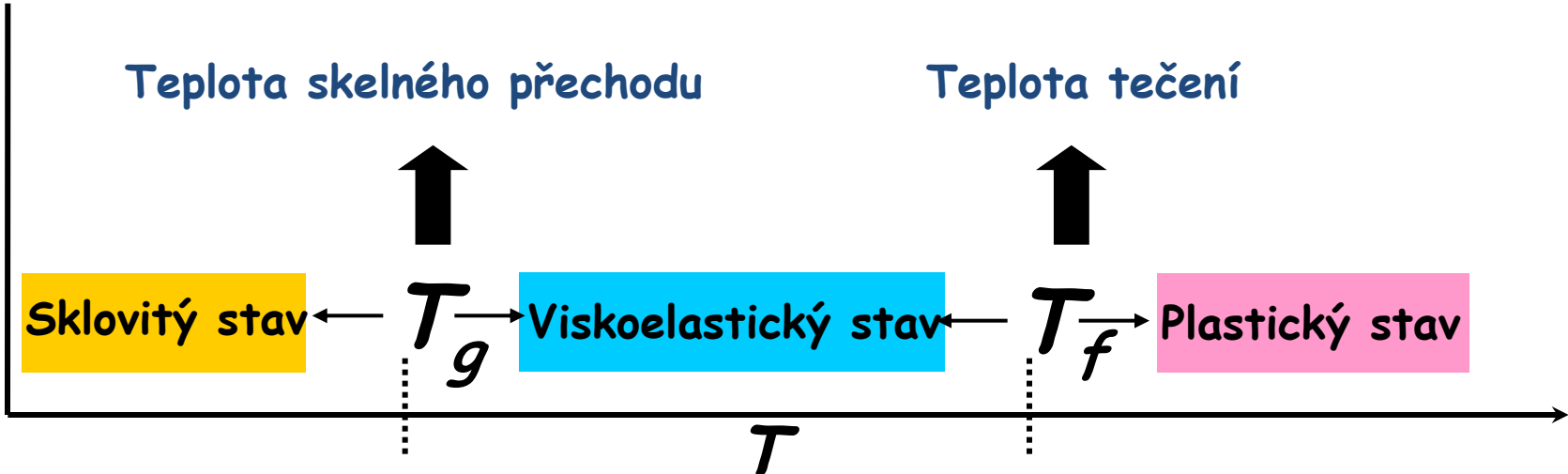
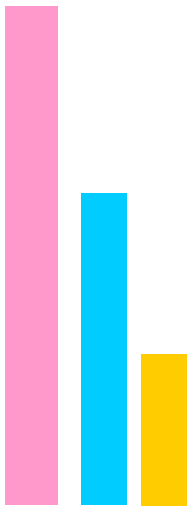
cis-1,4-polybutadien = -114°C

polystyren = $+100^{\circ}\text{C}$

Termické chování amorfních polymerů

Druhy tepelného pohybu v amorfních polymerech:

- Vzájemný pohyb celých makromolekul
(makromolekuly po sobě klouzají)
- Pohyby segmentů makromolekul
(dovoluje částečné rozbalování makromolekuly)
- Pohyb atomů v hlavním a vedlejším řetězci
- Rovnovážné vibrace atomů



Viskoelastický (kaučukovitý) stav

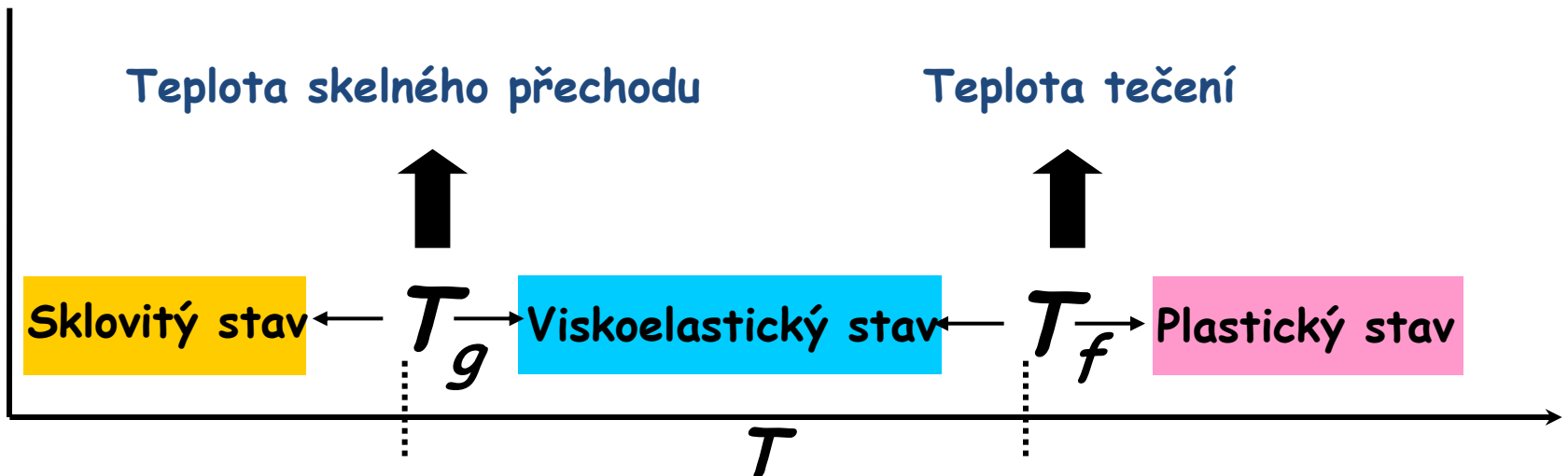
Působením napětí na polymer v kaučukovitém stavu je vyvolána deformace, která má dvě složky:

- **vratná (elastická)** - působením síly dochází k vzájemnému pohybu segmentů v rámci jednoho polymerního klubka, po uvolnění se segmenty vrací do původního stavu (není posun celých makromolekul)

- **nevratná (viskózní tok)** - působením síly dochází k částečnému pohybu makromolekul vůči sobě (toku - uvolnění zapletenin)

(pohyb segmentů, při vysokých P makromolekuly „zahákovány“)

T_f - plastický stav (zpracování polymerů)



Kaučukovitá elasticita polymerů

- **Mimořádně velká vratná (elastická) DEFORMACE**-působením síly dochází k vzájemnému pohybu segmentů v rámci jednoho polymerního klubka, po uvolnění se segmenty vrací do původního stavu - Zvýšení zastoupení elastické složky je dosaženo **zesít'ováním lineárních řetězců**. (hustota síťování)
- **Modul pružnosti E** (MPa) - elastické materiály nízké hodnoty (
- Amorfní polymery, vysoká M
- Ovlivněna faktory, které **OMEZUJÍ** pohyb segmentů (silné interakce, velké substituenty)

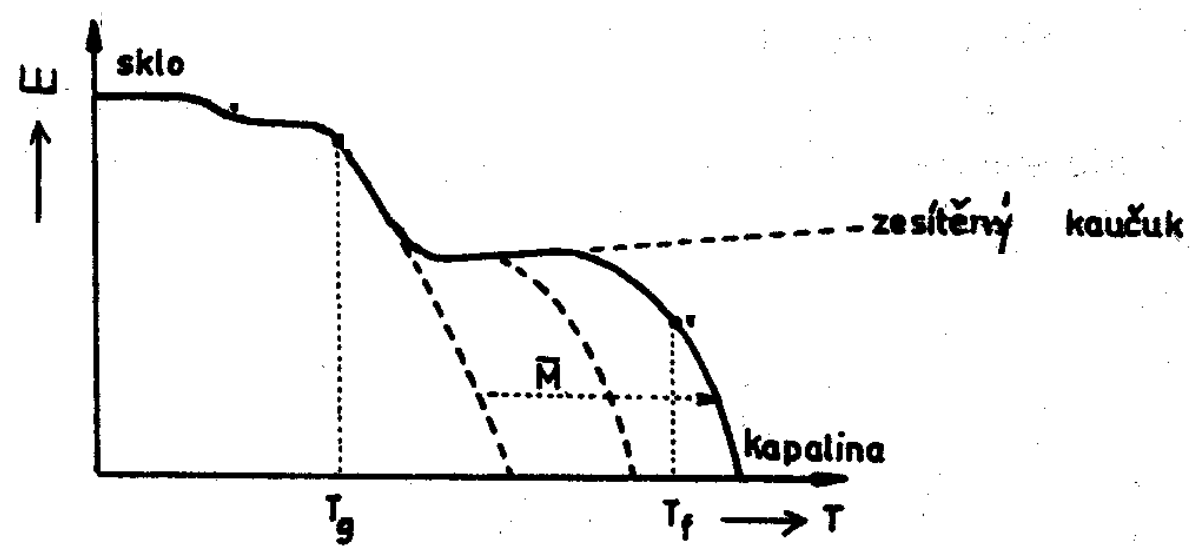
$$E [Pa] = \frac{\sigma \text{ (napětí v tahu, tlaku)}}{\varepsilon \text{ (deformace)}}$$

Kaučuky- 1MPa, plasty 10^3 MPa, vlákna 10^4 MPa, kovy 10^5 MPa

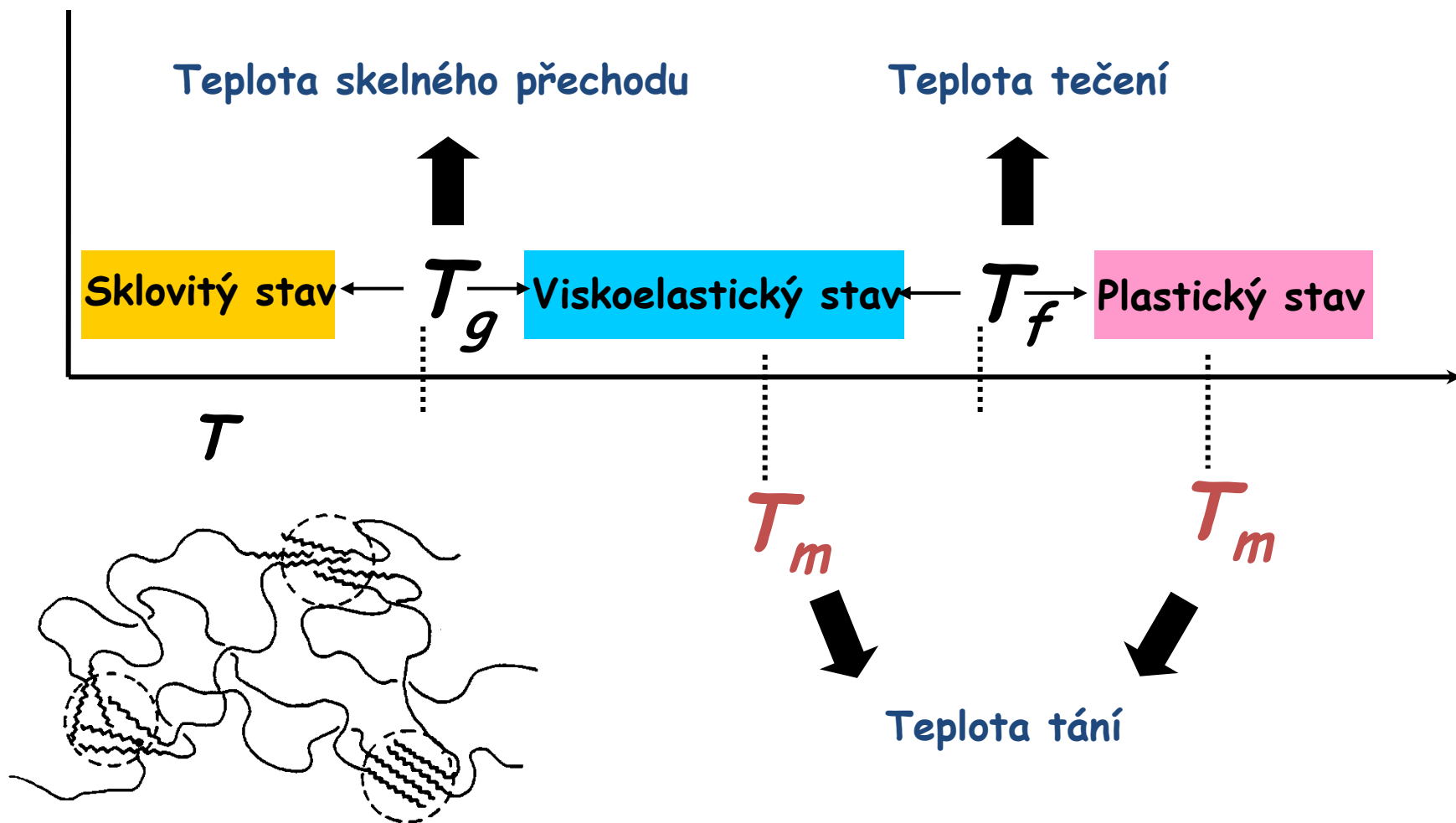
Vliv T_g na fyzikální vlastnosti polymeru

Při teplotě skelného přechodu se výrazně mění všechny fyzikální vlastnosti polymeru: Modul pružnosti E , index lomu, specifická tepelná kapacita, entalpie, volný objem.

$$E [Pa] = \frac{\text{Napětí v tahu [Pa]}}{\text{Relativní prodloužení}}$$

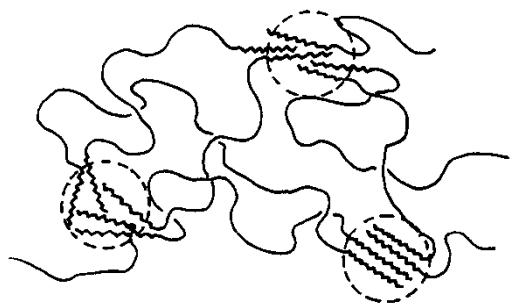
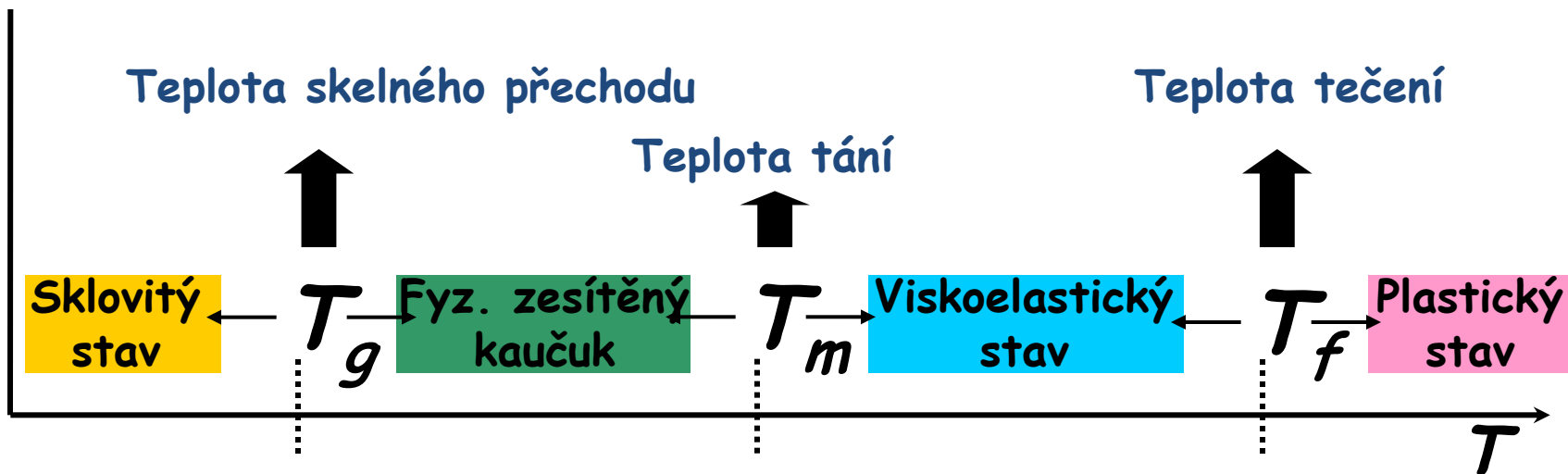


Termické chování semikrystalických polymerů

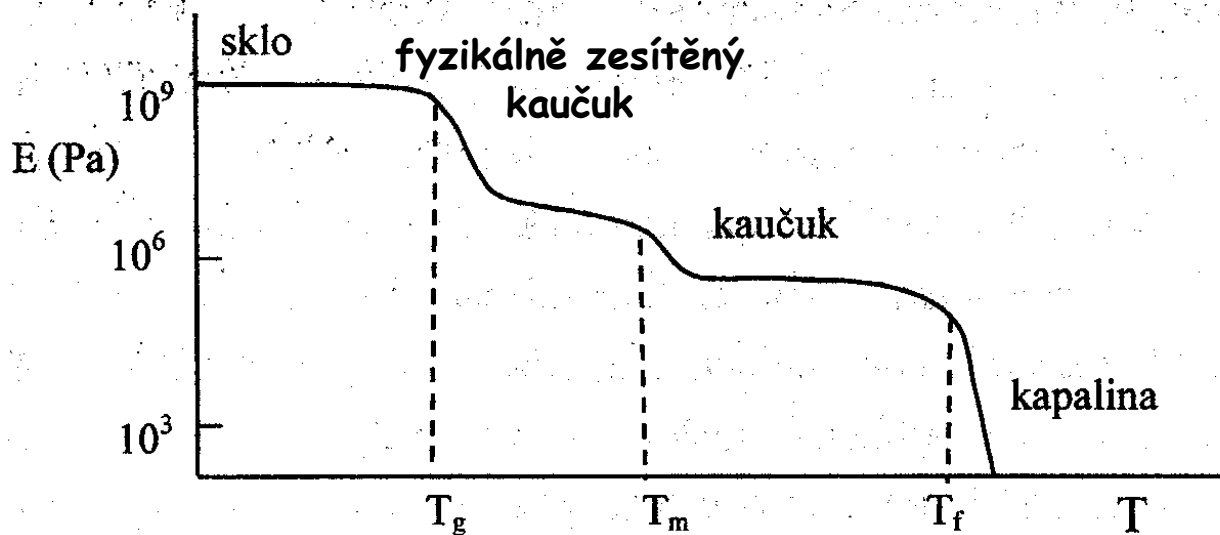


100% krystalický - T_m (krystalický stav - fixované pozice X tekutina) - neexistuje, uplatňuje se u krystalického podílu

Termické chování semikrystalických polymerů



$T_f < T_m$
 $T_f > T_m$



teplotní závislost modulu pružnosti semikrystalického polymeru

Pohyby segmentů makromolekul - Teorie volného objemu

Teplota skelného přechodu T_g tedy závisí na:

Velikosti *volného objemu*

- ohebnost makromolekuly, možnost rotace kolem vazeb
- velikost postranních substituentů

Mezimolekulárních interakcích

Molární hmotnosti

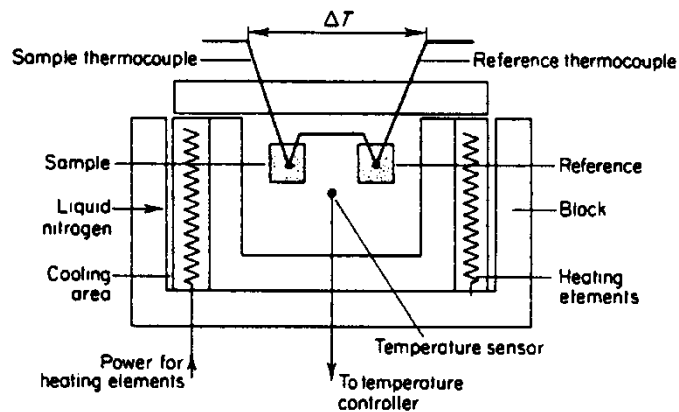
Seřad' následující polymery podle vzrůstající T_g .

Poly(vinylchlorid)
Poly(ethylen)
Poly(methylmethakrylát)

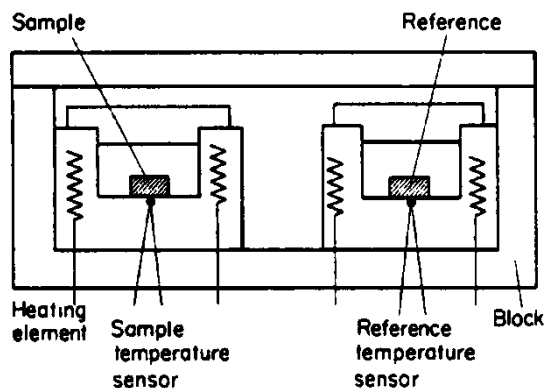
Polymer	T_g (°C)
polyethylen	- 120, - 80
polypropylen	- 18
cis-1,4-polybutadien	- 114
cis-1,4-polyisopren	- 73
poly(dimethylsiloxan)	- 123
poly(tetrafluorethylen)	- 113
polyisobutylen	- 70
poly(ϵ -kaprolaktam)	+ 50
poly(ethylentereftalát)	+ 67
poly(methylmethakrylát)	+ 105
poly(vinylchlorid)	+ 83
polyakrylonitril	+ 104
polystyren	+ 100
poly(vinylacetát)	+ 29
poly(vinylalkohol)	+ 85

Experimentální stanovení T_g

Metody:



DTA



DSC

DTA

Vzorek a reference jsou zahřívány stejným zdrojem, měří se rozdíl teploty

DSC

Vzorek a standard jsou zahřívány individuálním zdrojem tepla. Měří se rozdíl v příkonu energie, která je nutná k udržení stejné teploty vzorku i standardu.

Průmyslové polymery

Plasty:

- termoplasty - **vysoká molární hmotnost. lineární řetězce**, zpracovávají se nad teplotou tání, dají se opakovaně tvarovat. **Polyethylen, polypropylen, polystyren, polyvinylchlorid.**

- reaktoplasty - **vysoká molární hmotnost. lineární řetězce není podmínkou**, účinkem tepla se vytvrzují (sít'ují), nedají se opakovaně tvarovat. **Fenolformaldehydové pryskyřice, epoxidové pryskyřice.**

Elastomery - při aplikační teplotě se působením malé síly deformují aniž by se porušily. Jsou to amorfní polymery s T_g více jak 50°C po aplikační teplotou. Jsou běžně označovány jako kaučuky. **Cis-1,4-polyisopren, cis -1,4-polybutadien, polysiloxany.**

Vlákná - **vysoká molární hmotnost, lineární řetězce, vysoký obsah krystalické fáze**, $T_m > 200^\circ\text{C}$, pevnost se zvyšuje mechanickým orientováním makromolekul - dloužení. **Polyester, polyamid, polyakrylonitril, polyurethan.**

Nátěrové hmoty, Lepidla a tmely