

## 10. Keramika, kompozity, polymery.



### **Cíl:**

V této kapitole získáte přehled nejvýznačnějších druhů keramiky, kompozitů polymerů a jejich vlastností spolu se způsobem jejich použití



### **10.1. Keramika.**

Keramika spolu s dřevem, kostmi, kůží a kameny patřila mezi první materiály, které pravěký člověk zpracovával. Chceme – li definovat pojem keramika, můžeme říci, že je to *materiál převážně krystalický, složený především z anorganických sloučenin nekovového charakteru*. Litosféra obsahuje 50% kyslíku, 25% křemíku, 7% hliníku, 4% železa, 3% vápníku, 2% sodíku, 2% draslíku, 2% hořčíku, 1% vodíku a 0,6% titanu. Z toho je vidět, že nekovových prvků je v ní velké procento a surovinová základna pro výrobu keramiky je tedy velmi široká. Rovněž energetická náročnost výroby keramiky je nižší, než je energetická náročnost metalurgie (na výrobu 1 m<sup>3</sup> portlandského cementu se spotřebuje 30 GJ, zatímco na výrobu stejného objemu polystyrénu je to 180 GJ a nerezavějící oceli 870 GJ).

Keramika má některé velmi dobré a v praxi využitelné vlastnosti. Většina keramik jsou výbornými izolátory (ale na druhé straně vysokoteplotní supravodiče mají rovněž strukturu keramik). Mají poměrně malou hustotu (cihly ~ 2.10<sup>3</sup> kg.m<sup>-3</sup>, beton ~ 3.10<sup>3</sup> kg.m<sup>-3</sup>, ale hliník ~ 2,5.10<sup>3</sup> kg.m<sup>-3</sup> a ocel ~ 7,8 .10<sup>3</sup> kg.m<sup>-3</sup>) a patří k vůbec nejtvrdějším látkám. Proto jsou velmi dobrým konstrukčním materiálem ve stavebnictví a ve strojírenství. Většině z nich však chybí kujnost.

Jako zajímavost je možno uvést skutečnost, že cement byl vyráběn již v starověku (bylo z něho postaveno např. Římské Koloseum). Technologie však byla zapomenuta a objevena znovu až v novověku (v roce 1824).

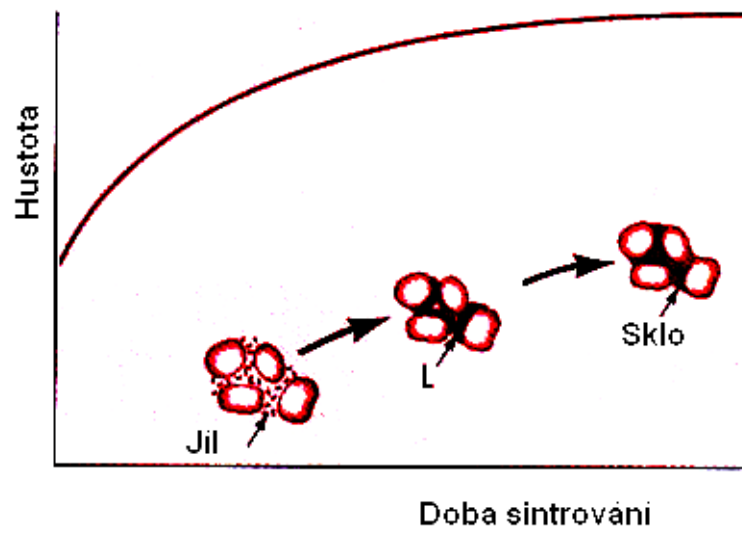
Struktura keramických materiálů je heterogenní, polykrystalická a polyfázová. Keramika obsahují zpravidla více krystalických fází a často i fáze skelné, vzniklé roztavením některých anorganických látek (křemičitanů). Z makroskopického hlediska se ale keramické materiály jeví jako homogenní a izotropní. Je to dáno tím, že jednotlivá zrna (fáze a složky) jsou uspořádána náhodně. Teprve když dojdeme až do těchto zrn, naruší se homogenita a izotropie. Velkou důležitost hrají u keramik i póry, které se v nich uplatňují jako zvláštní fáze se specifickými vlastnostmi (nulová hmotnost a tuhost, tepelná vodivost, apod.).

Z předcházejícího výkladu plyne, že existuje velké množství různých druhů keramik a to tradičních (cihly, porcelán, cement), až po speciální keramika, vyvíjená v posledních desetiletích (vysokoteplotní supravodiče, materiály pro leteckou, kosmickou, automobilní a vojenskou techniku). Uvedme nejdříve nejzajímavější charakteristiky tradičních i moderních keramik.

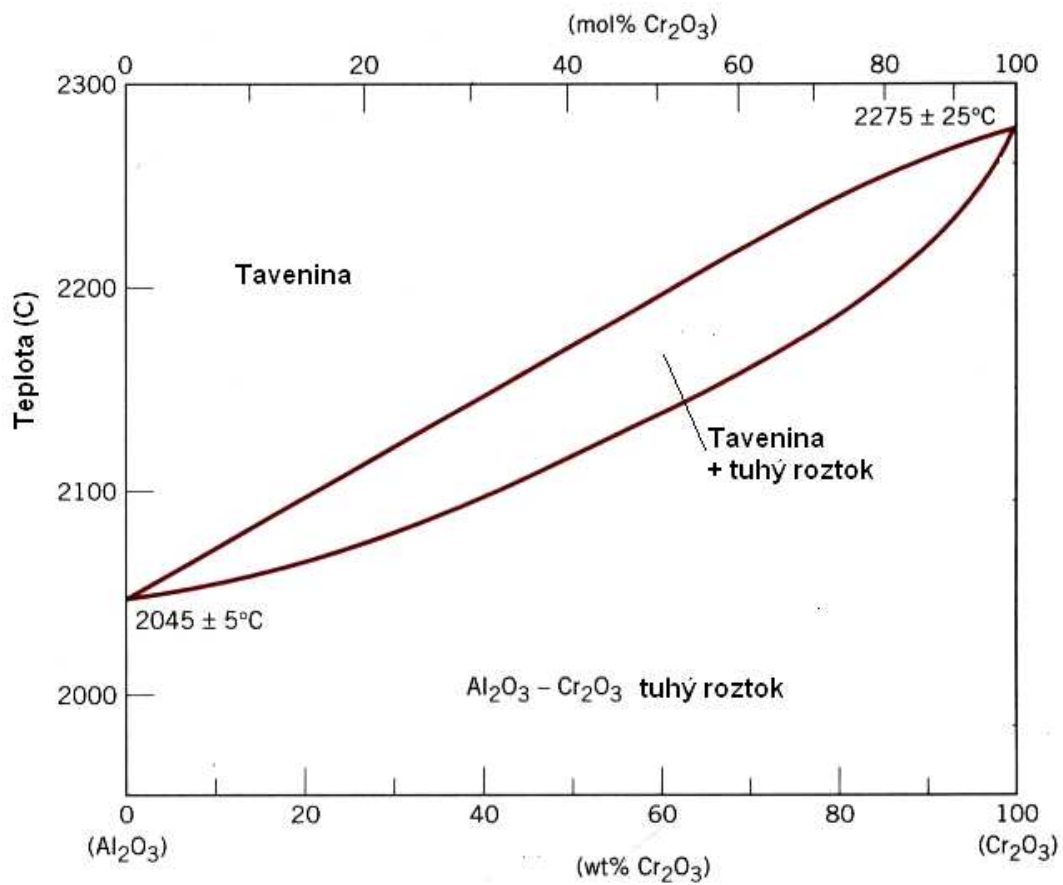
Na Obr.10.1. je znázorněna závislost hustoty keramik na době sintrování (spékání), což je jeden ze způsobů úpravy keramik.

Na Obr. 10.2. je uveden fázový diagram moderního keramik Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Kromě dokonalé rozpustnosti obou složek stojí za povšimnutí vysoký bod tání této slitiny. Omezenou rozpustnost obou složek vykazuje keramika MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, vyznačující se rovněž vysokým bodem tání (Obr.10.3). Jako třetí fázový diagram je uvedena na Obr 10.4 struktura keramik

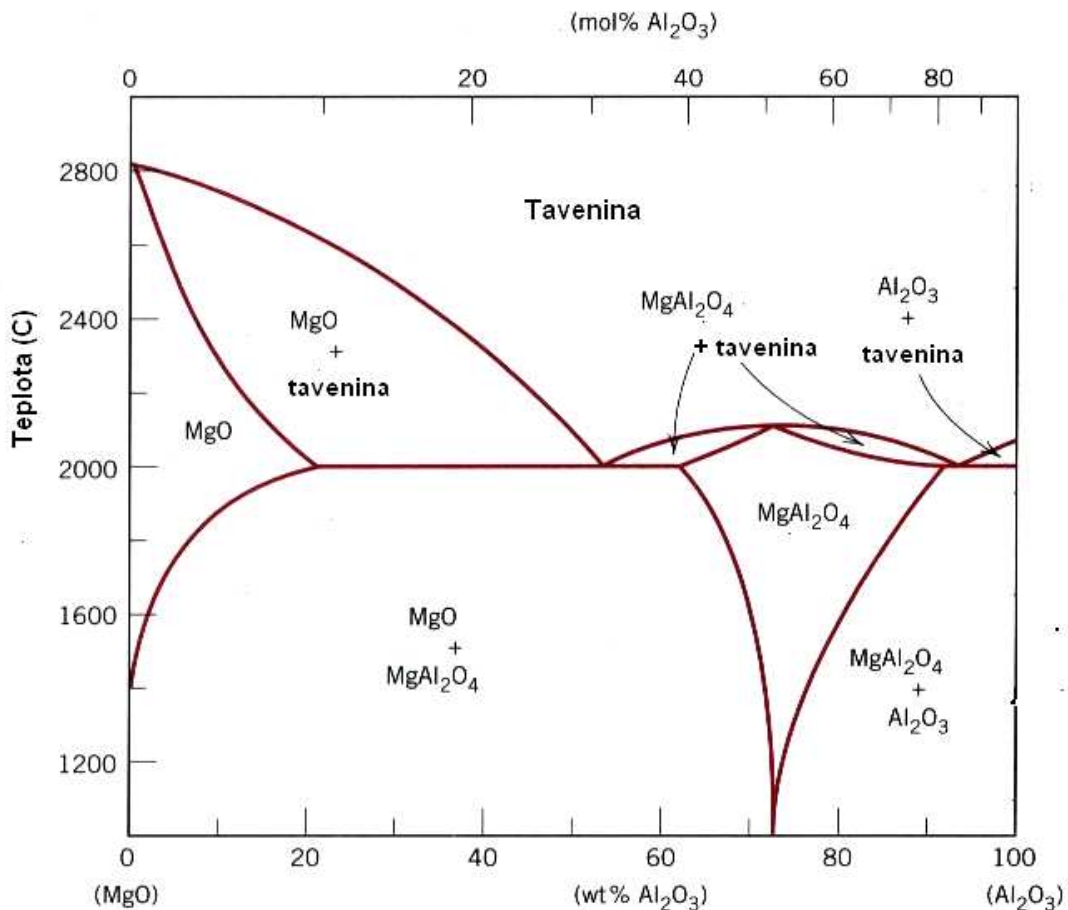
$\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ , jejíž složky jsou vzájemně nerozpustné a tvoří dvě významné struktury kristobalit a mullit.



Obr.10.1. Závislost hustoty keramika na době sintrovaní



Obr.10.2. Rovnovážný diagram keramika  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$



Obr.10.3. Rovnovážný diagram keramika MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

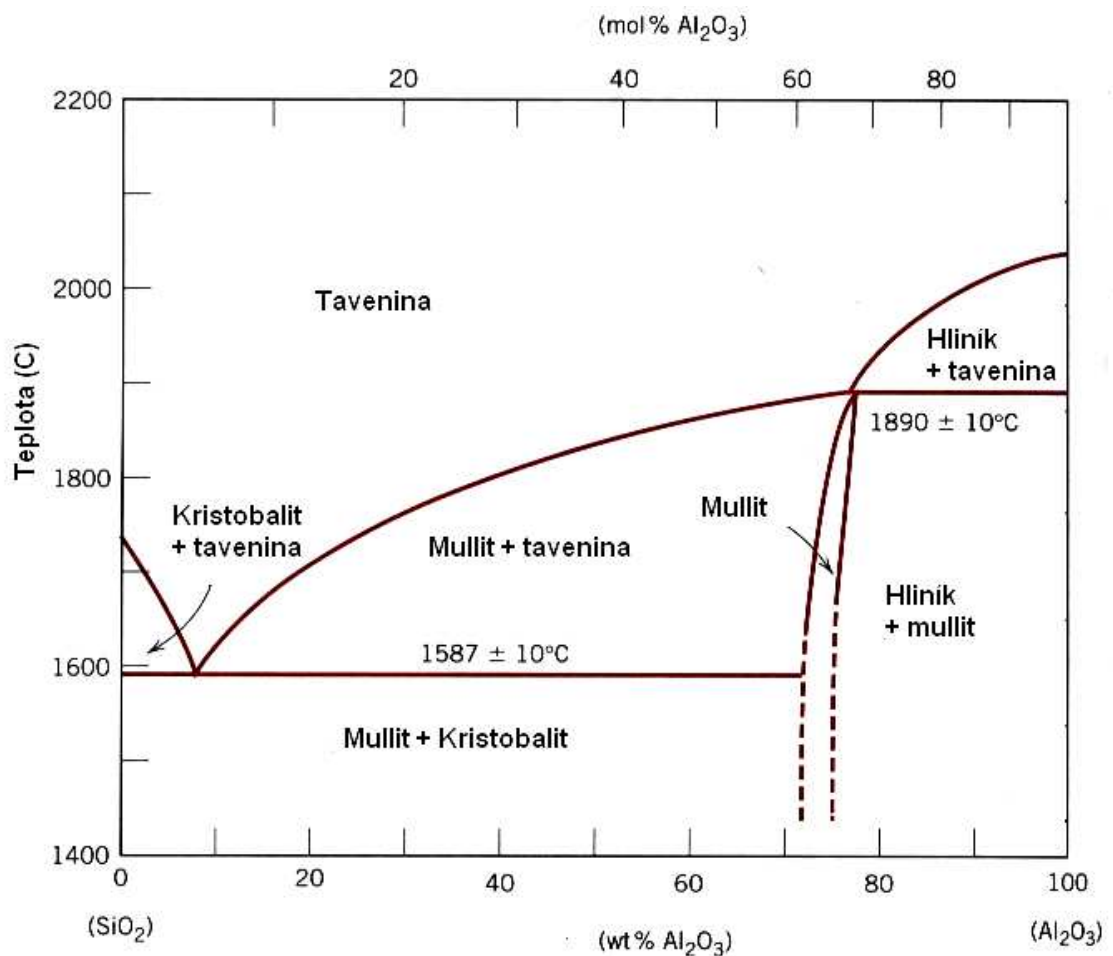
Na závěr shrňme základní poznatky o perspektivních keramikách, jejich možnostech, vlastnostech a užití (předpokládáme, že vše základní o využití tradičních keramik je čtenáři alespoň částečně známo z praktického života).

Z předcházejících obrázků plyne, že keramika mají většinou vysoký bod tání a poměrně nízkou hustotu. Proto jsou předurčena pro využití v automobilovém, leteckém a kosmickém průmyslu. Vyšší pracovní teplota spalovacího motoru totiž zvyšuje jeho účinnost a nižší hmotnost motoru ještě dále tento trend podporuje. Takové moderní motory, založené na bázi keramik Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a ZrO<sub>2</sub> mají navíc další výhodu – jsou otěruvzdorné.

Hlavní nevýhoda keramik – jejich křehkost může být eliminována několika způsoby:

- a) Nanášením křehkých keramik na vhodný kov (tažnější). V takovém případě bývá problémem zajištění dobré přilnavosti mezi keramikem a kovem.

- b) Malá plasticita keramik je důsledkem malého počtu skluzových systémů, ve kterých se mohou dislokace pohybovat. Zvýšení počtu těchto systémů bude pravděpodobně možné uskutečnit pomocí vhodných přísad a pomocí vhodného technologického zpracování keramik.
- c) Některá keramika jsou využívána i za účelem ochrany osob, nebo jiných objektů před působením střel (např. neprůstřelné vesty). Jejich podstatou je kompozit, složený z keramických destiček, kombinovaných s tažnějším a měkčím podkladem (speciální plastová matrice). Jako materiál pro tato keramika se v tomto případě používá nejčastěji  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{SiC}$  a  $\text{TiB}_2$ .



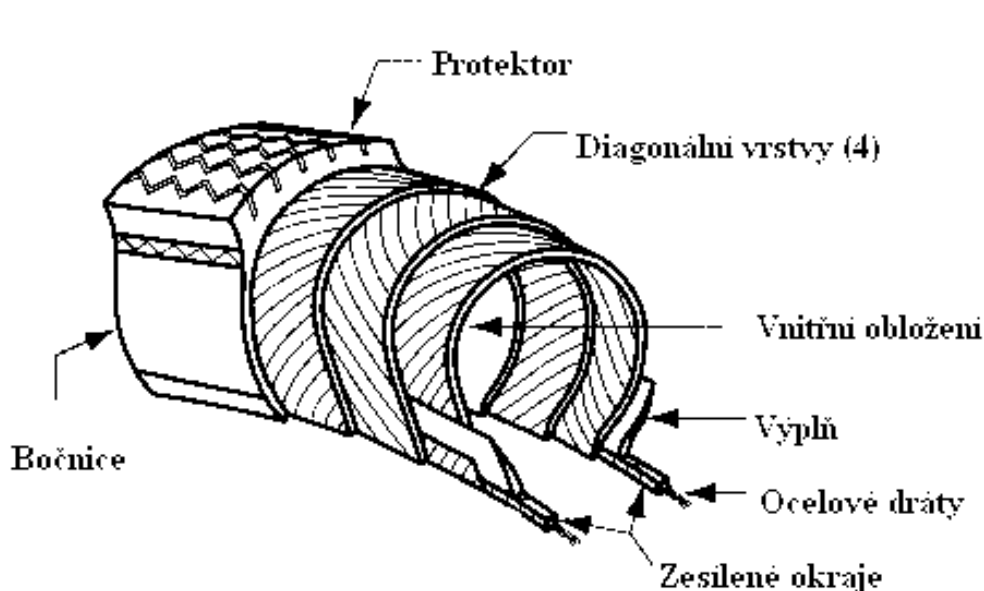
Obr.10.4. Rovnovážný diagram keramika  $\text{SiO}_2$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$

## 10.2. Kompozity.

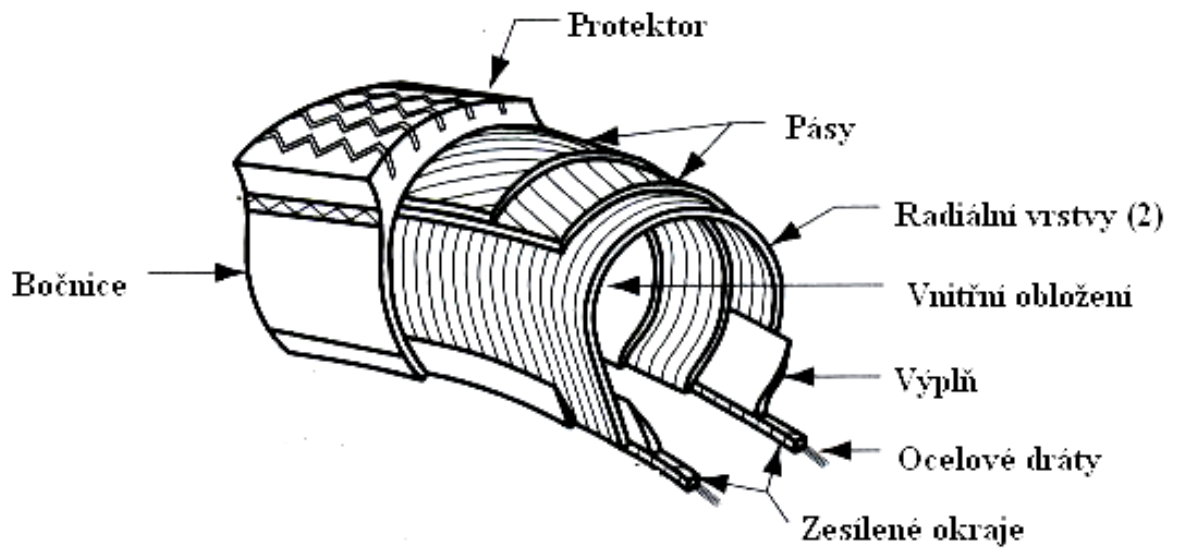
Již podle názvu lze kompozity definovat jako vícesložkové, nebo vícefázové materiály, přičemž důležitou roli u nich nehrají pouze složky či fáze, ale i rozhraní mezi nimi. Jinými slovy, *kompozity jsou složené heterogenní systémy, tvořené minimálně dvěma složkami či fázemi, které se od sebe liší svými fyzikálními vlastnostmi.*

Přestože nauka o kompozitech je chápána jako moderní vědní odvětví nauky o materiálu, jsou kompozity využívány lidstvem od nepaměti a to zejména pro jejich výborné mechanické vlastnosti.

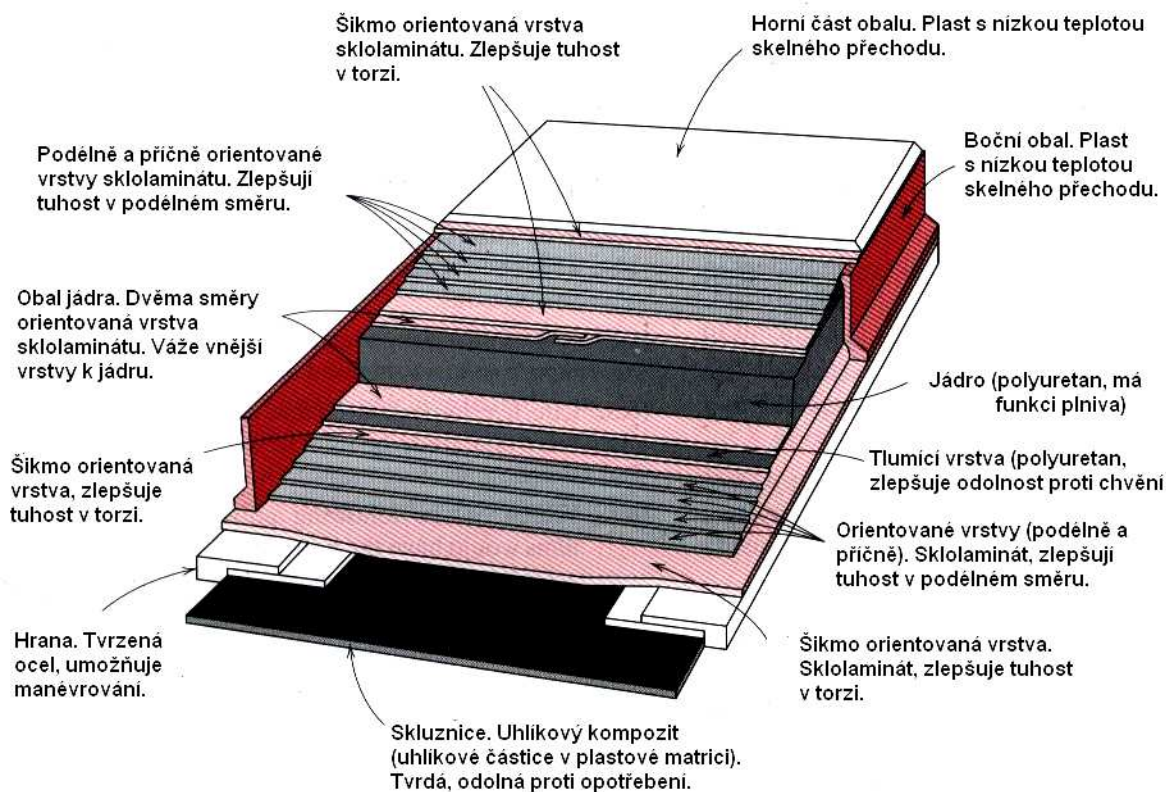
Typickými, již dávno známými kompozity jsou dřevo a stébla (tvořená pružnými vlákny celulózy a tvrdým ligninem), kosti (pružná bílkovinná tkáň a tvrdé soli vápníku a fosforu). Pravěký člověk vyráběl velmi kvalitní kompozitní luky (z dřeva a rohoviny) a rovněž damascéská ocel a ocel, z níž byly zhotovovány meče samurajů, patří rovněž mezi kompozity. Běžným kompozitním materiálem současnosti je železobeton (tvrdý, ale křehký beton + měkkí, ale pružné ocelové pruty), nebo sklolaminát (epoxidové pryskyřice nebo termoplasty, zpevněné skleněnými vlákny), či materiál pro výrobu „neviditelných“ letadel (polymer + uhlíková vlákna). I tak známé výrobky, jako jsou pneumatiky (Obr.10.5. a Obr.10.6), nebo moderní laminátové lyže (Obr.10.7) jsou typickými vícesložkovými kompozity.



Obr.10.5. Schéma složení diagonální pneumatiky



Obr.10.6. Schéma složení radiální pneumatiky



Obr.10.7. Schéma složení moderních laminátových lyží.

Co se týká vnitřní struktury, dělíme kompozity na *kompozity s částicovými plnivý*, *kompozity s vyztužujícími vlákny* a *lamelární kompozity*.

### 11.2.1. Kompozity s částicovými plnivý (disperzně zpevněné kompozity).

Částice, používané jako plniva kompozitů, mají tvar kulovitý, destičkovitý, jehlicovitý, nebo nepravidelný. Jejich složení je též rozmanité: vápenec, oxid křemičitý, oxidy křemíku, hořčíku a hliníku, skleněné mikrokuličky, slída, nebo mikročástice kovů. Částicová plniva mění značně takové mechanické vlastnosti matrice, jako je modul pružnosti, houževnatost, tvrdost, apod.

Na Obr.10.8. je zobrazen částicemi SiC zpevněný hliník (i se schématem výroby). V Tab.10.1. je dále uveden stručný přehled disperzně zpevněných kompozitů i s oblastí jejich využívání.

Tab.10.1.

Kompozit	Oblast využití
Ag - CdO	Materiály pro elektrické kontakty
Al - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Využití v jaderné technice
Be - BeO	Kosmická a jaderná technika
Co - RhO <sub>2</sub> , Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Materiály, odolné proti creepu
Ni - 20% Cr - ThO <sub>2</sub>	Komponenty turbín

Pt – ThO <sub>2</sub>	Vlákna, elektročástky
W – ThO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub>	Vlákna, topná tělesa

Na Obr.10.9 je dále uveden princip výroby Ag – W elektricky vodivého kompozitu (wolframový prášek je stlačen (a), (b), poté sintrován (spečen) (c) a do vzniklých pórů vnikne ve vakuu roztavené stříbro). Vzniklý materiál je velmi dobře vodivý a navíc ořezuvzdorný.

Na Obr.10.10 je ukázán vliv disperzně rozptýlených částic kaolínu na zpevnění a modul pružnosti polyetylénu.

Na Obr.10.11 je uvedena mikrofotografie betonu a na Obr 10.12. fotografie kulovými částicemi uhlíku plněné pryže (pneumatika). Zvětšení 80 000x. Oválné, vodní kapičky připomínající útvary, jsou malé bublinky vzduchu v pryži, tmavé objekty jsou částice uhlíku.

### **11.2.2. Kompozity, vyztužené vlákny.**

Významnou kvantitativní charakteristikou vláken, používaných jako plniva u kompozitů, zpevněných vláken, je poměr  $E_V / \rho_V$  (modul pružnosti, dělený hustotou) a poměr  $R_{mV} / \rho_V$  (pevnost v tahu, dělená hustotou), neboť právě tyto veličiny rozhodují o hmotnosti celé konstrukce. Nejčastěji používanými materiály pro taková vlákna je sklo, uhlík, bór s wolframem, ocel, kevlar (druh polymeru), apod. Na Obr 11.13 jsou schematicky uvedeny dvě možnosti vytváření kompozitů, zpevněných vláken a na Obr 11.14 je ukázán vliv orientace vláken (vzhledem ke směru působící síly) na zpevnění sklolaminátu.

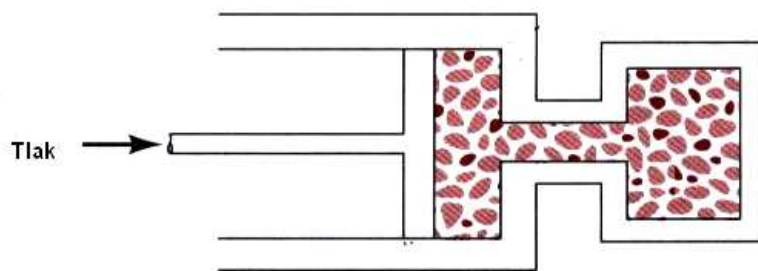
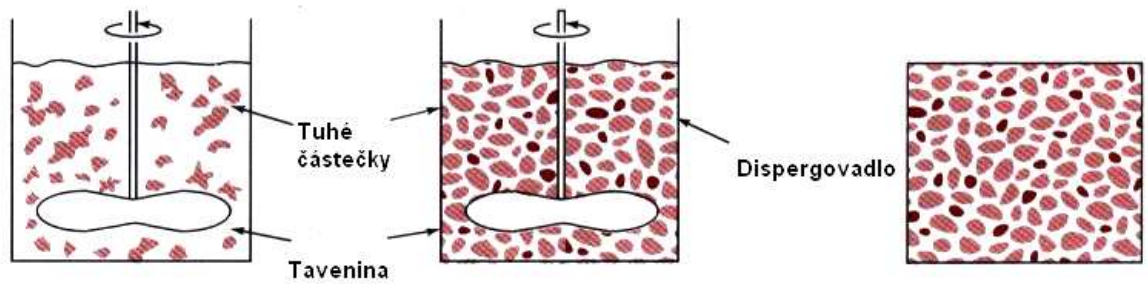
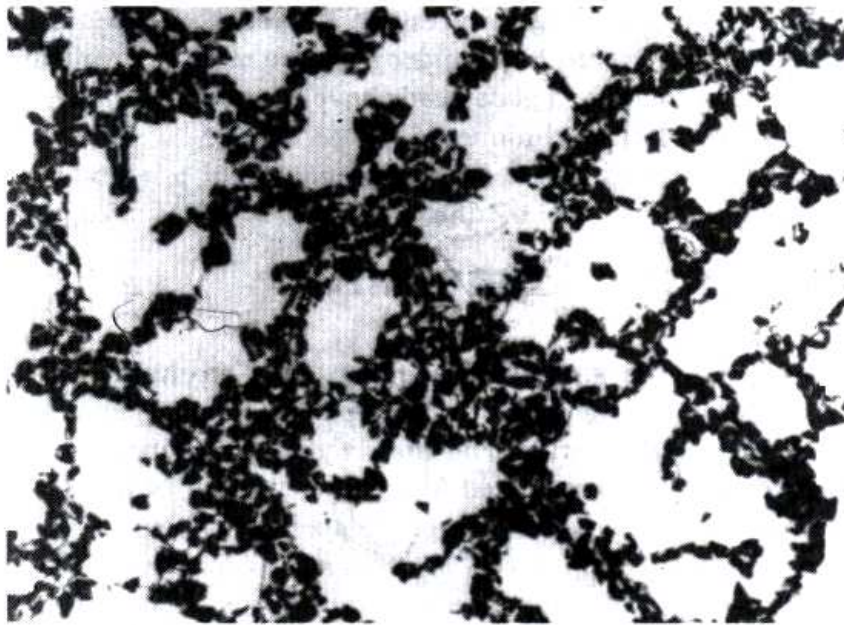
Na Obr.11.15 je to vše doplněno mikrofotografií lomu slitiny AgCu, zpevněné uhlíkovými vlákny (zvětšeno 3000x )

Schéma trojrozměrného vláknového kompozitu je uvedeno na Obr.11.16.

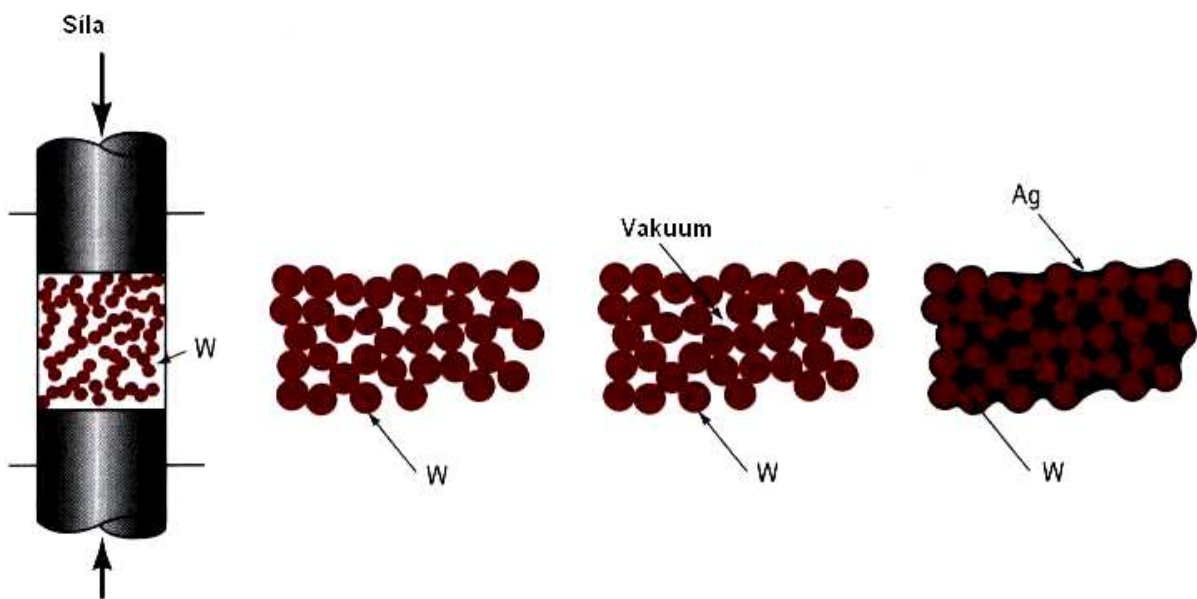
Obr.11.17. ukazuje schematicky vliv vláken na mechanické vlastnosti matrice (v souřadnicích  $\sigma - \epsilon$ ).

Přehled způsobů výroby kompozitů, zpevněných vláken podávají názorně Obr 10.18 – 10.22.)

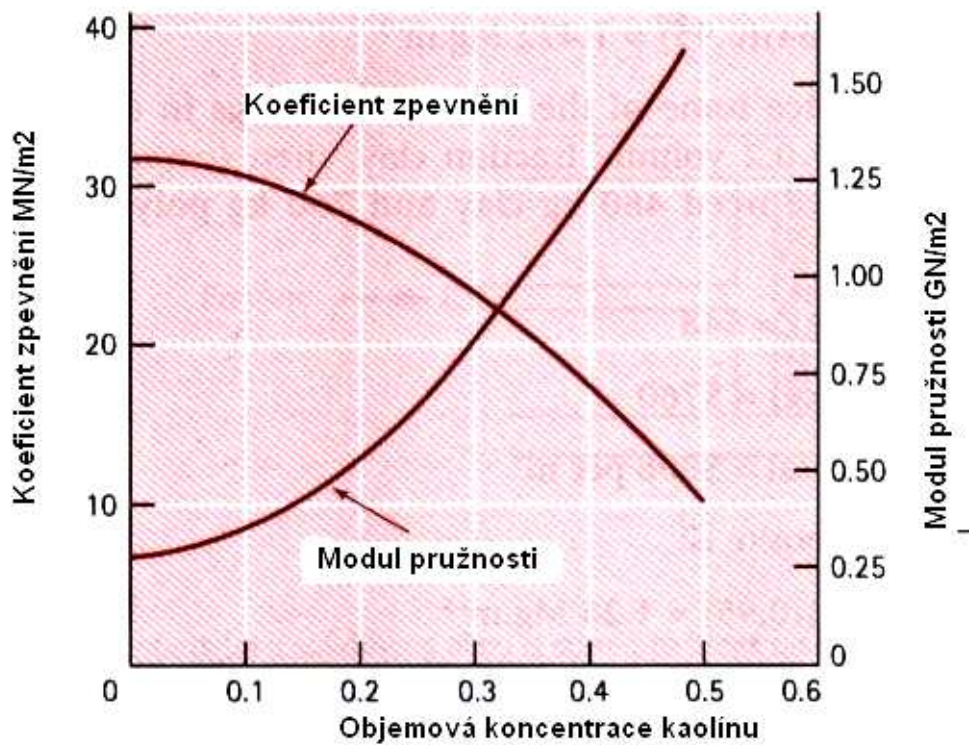




Obr.10.8. Částicemi SiC zpevněný hliník (i se schématem výroby). Z obrázku je vidět, že dochází k segregaci částic SiC (tmavé).

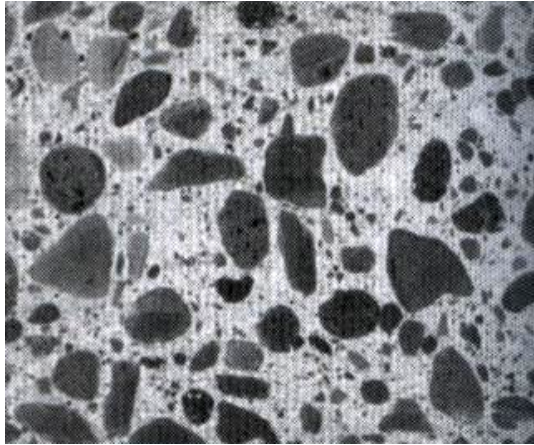


Obr.10.9. Schéma výroby elektricky vodivého kompozitu AgW



Obr.10.10. Vliv obsahu kaolínu na mechanické vlastnosti polyetylénu.

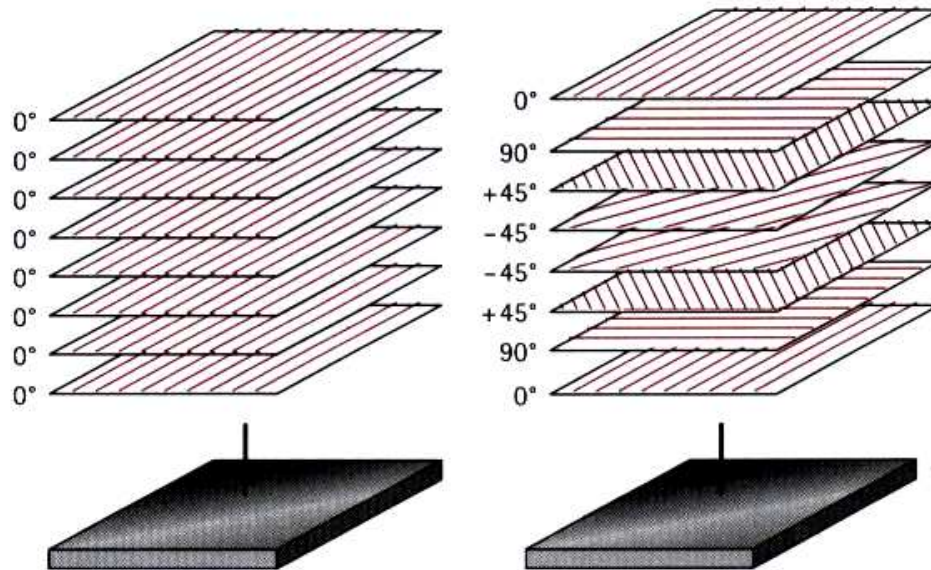




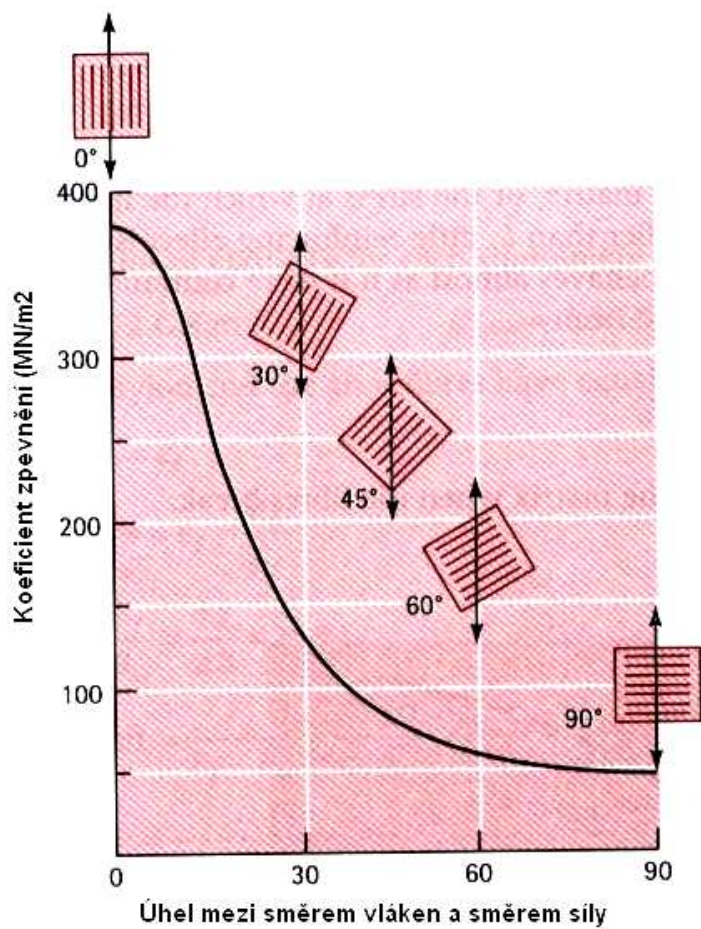
Obr.10.11. Beton



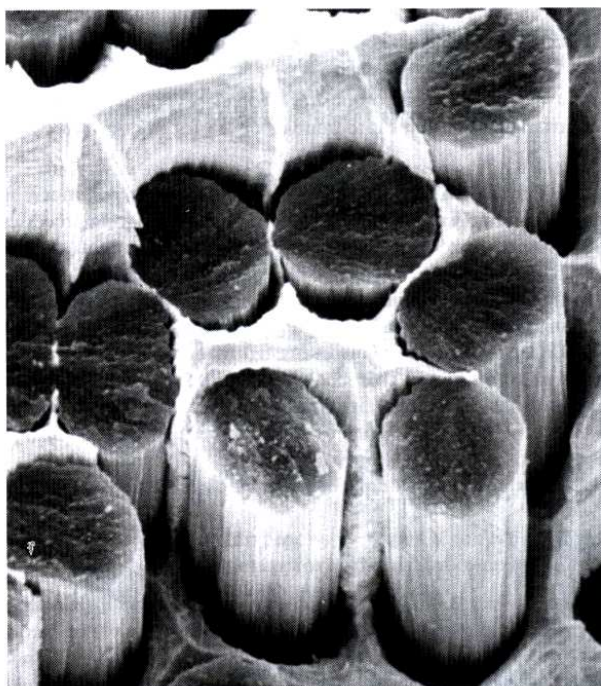
Obr.10.12. Kaučuk (pneumatika)



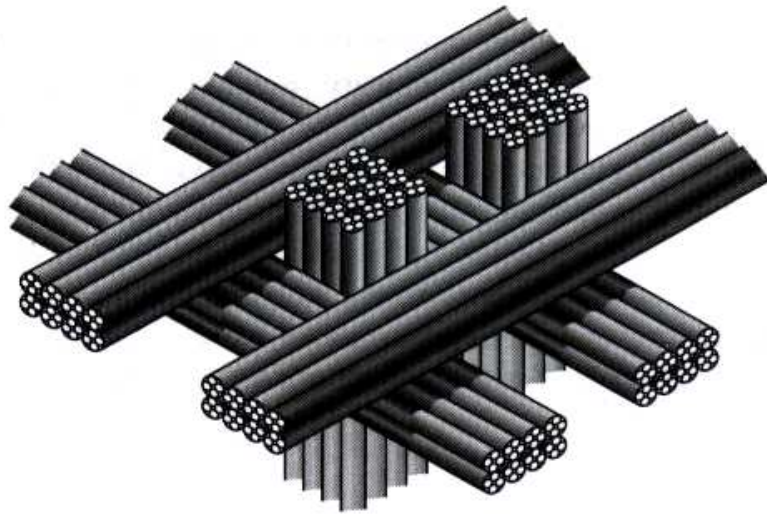
Obr.10.13. K možnostem vytváření kompozitů, zpevněných vlákny.



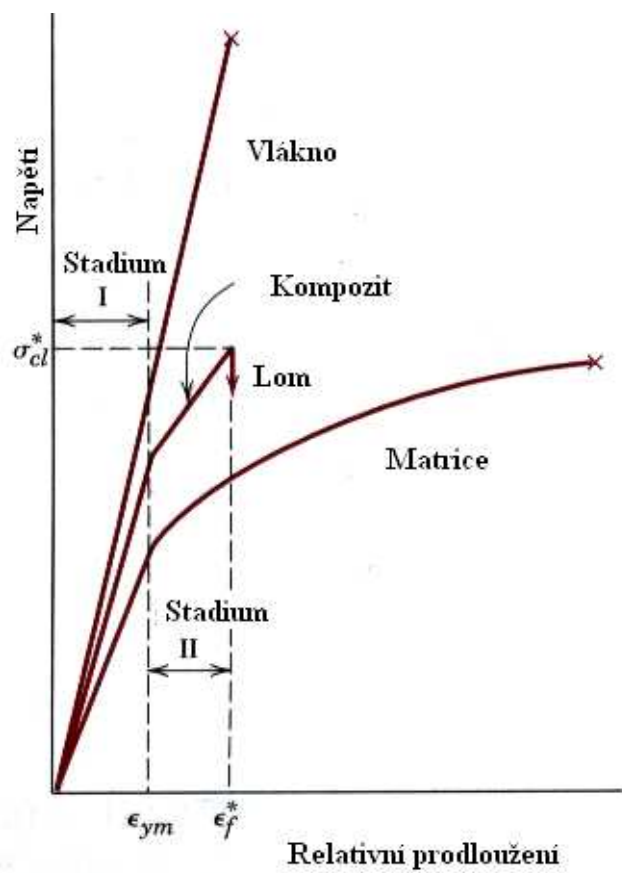
Obr.10.14 Vliv orientace vláken na zpevnění epoxidového kompozitu



Obr.10.15. Slitina AgCu, zpevněná uhlíkovými vlákny.

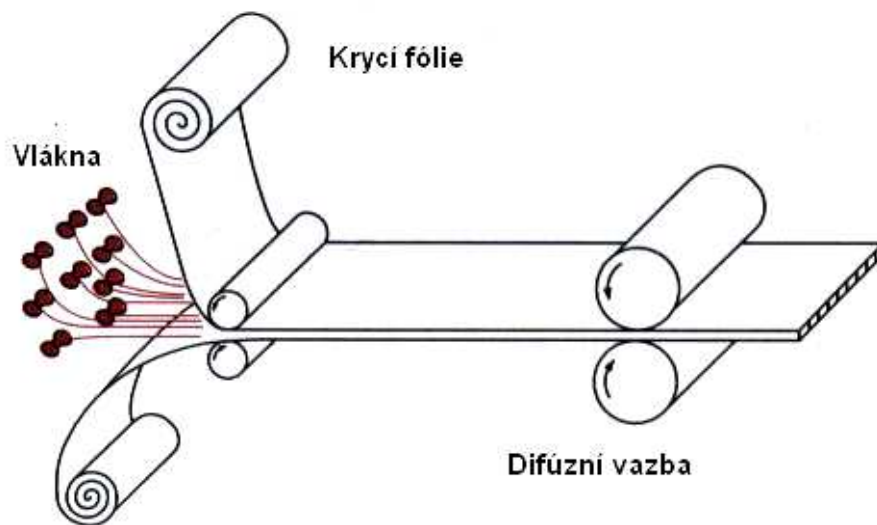


Obr.10.16. Trojrozměrný vláknový kompozit.

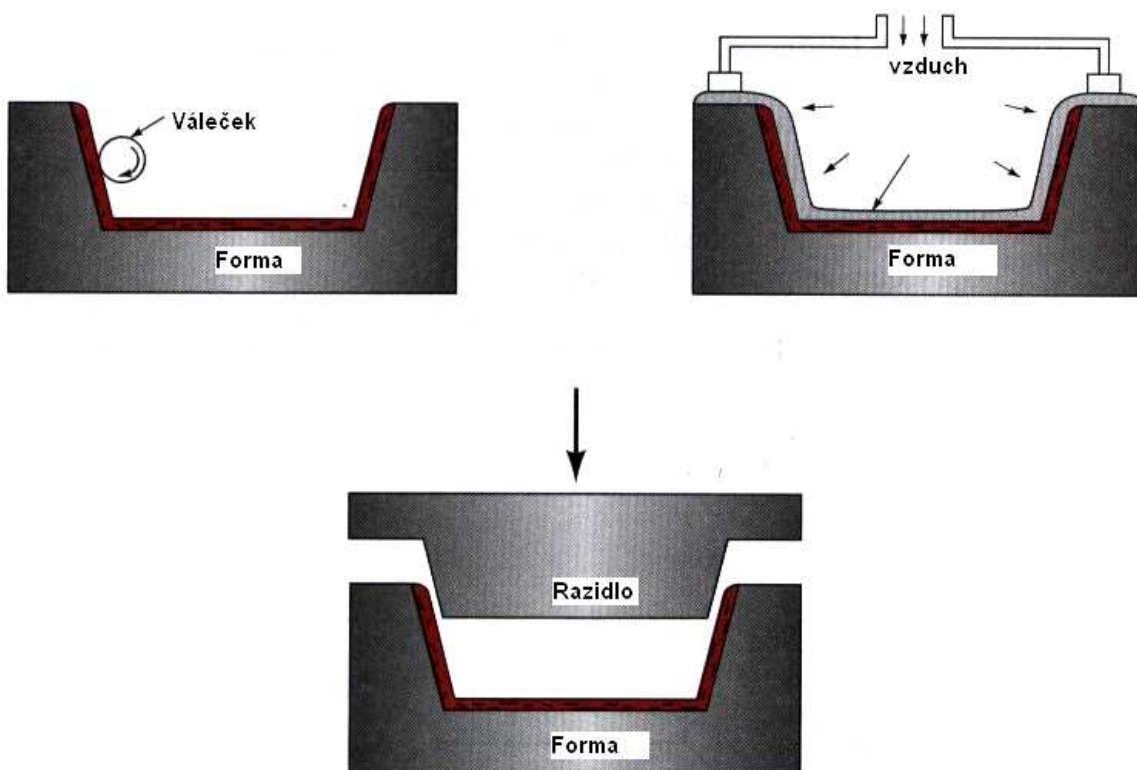


Obr.10.17. Vliv vláken na mechanické vlastnosti kompozitu (křehké vlákno a tažná matrice)

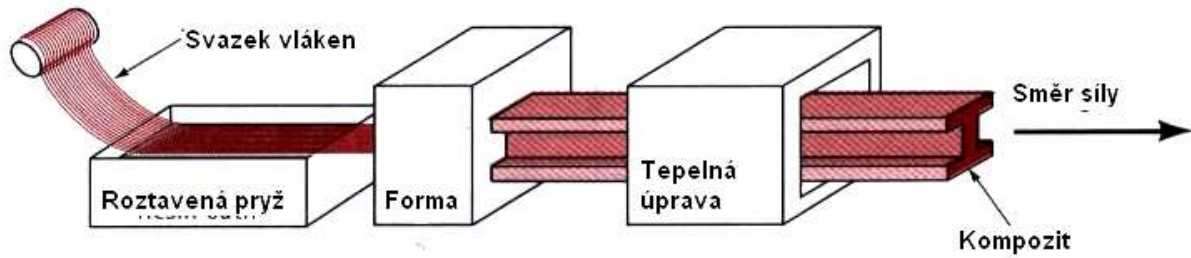




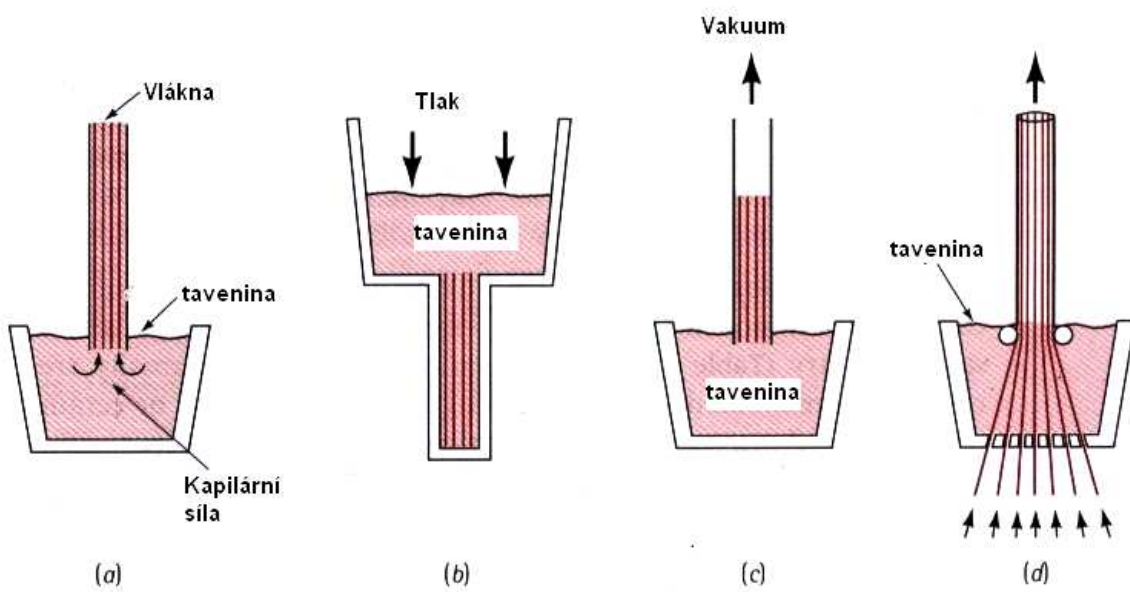
Obr.10.18. Výroba vláknny zpevněných fólií či desek.



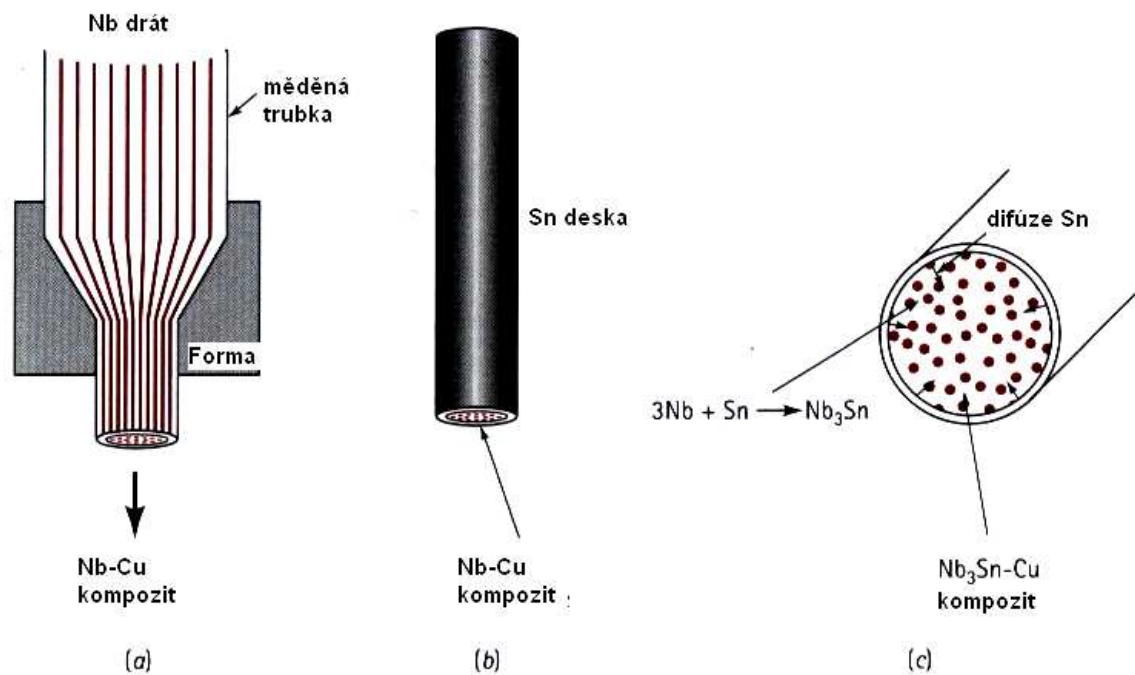
Obr.1019. Různé postupy při lisování vláknny zpevněných kompozitů.



Obr.10.20. Schéma výroby kompozitů tažením.



Obr.10.21. Výroba vláknových kompozitů odléváním: a) kapilárním vzestupem, b) tlakové lití, c) vakuové tažení, d) kontinuální lití.



Obr.10.22. Výroba kompozitních nízkoteplotních supravodičů.

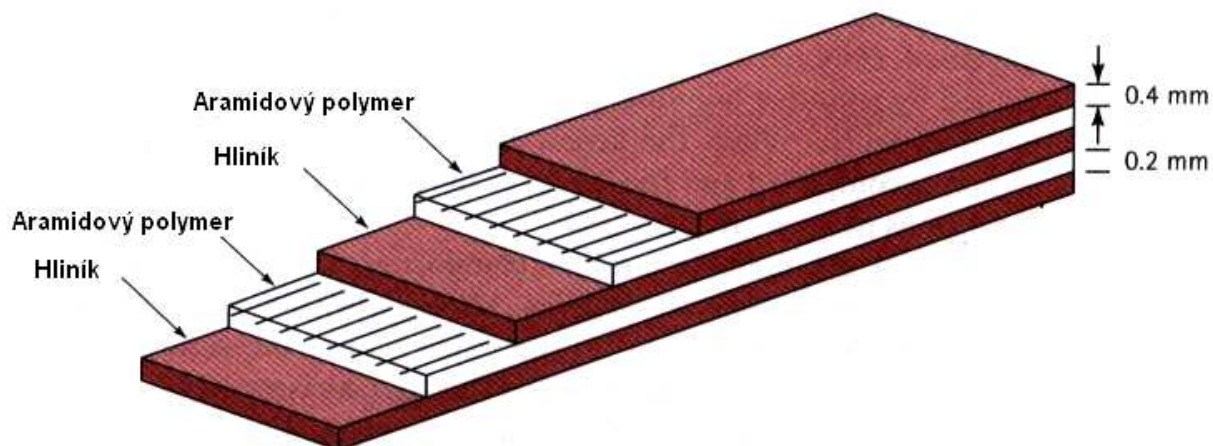
### 11.2.3. Laminární kompozity.

Laminární kompozity jsou tvořeny střídajícími se vrstvami (nebo vrstvičkami) složek o různých vlastnostech. Řadíme sem např. kombinace velmi tenkých povlakových vrstev, tlustší ochranné antikoroziční vrstvy, ale i tak známé laminární kompozity, jakými je dřevěná překližka (Obr.11.23), nebo moderní laminátové lyže (Obr.11.7). Na Obr.11.24 je pro doplnění znázorněna struktura aramid – hliníkového laminátu Arall, používaného zejména v letecké a kosmické technice pro jeho pevnost, nízkou hustotu, odolnost proti únavě a výborné antikoroziční vlastnosti. Na Obr.11.25. je uvedeno schéma výroby laminárních kompozitů a na Obr.11.26 způsob výroby sendvičových kompozitů.

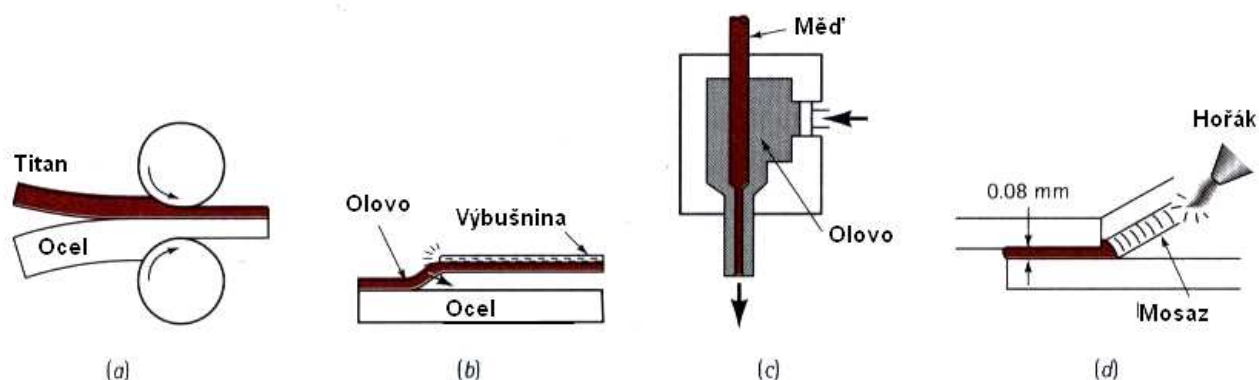


Obr.10.23. Jeden z nejznámějších laminárních kompozitů – dřevěná překližka.



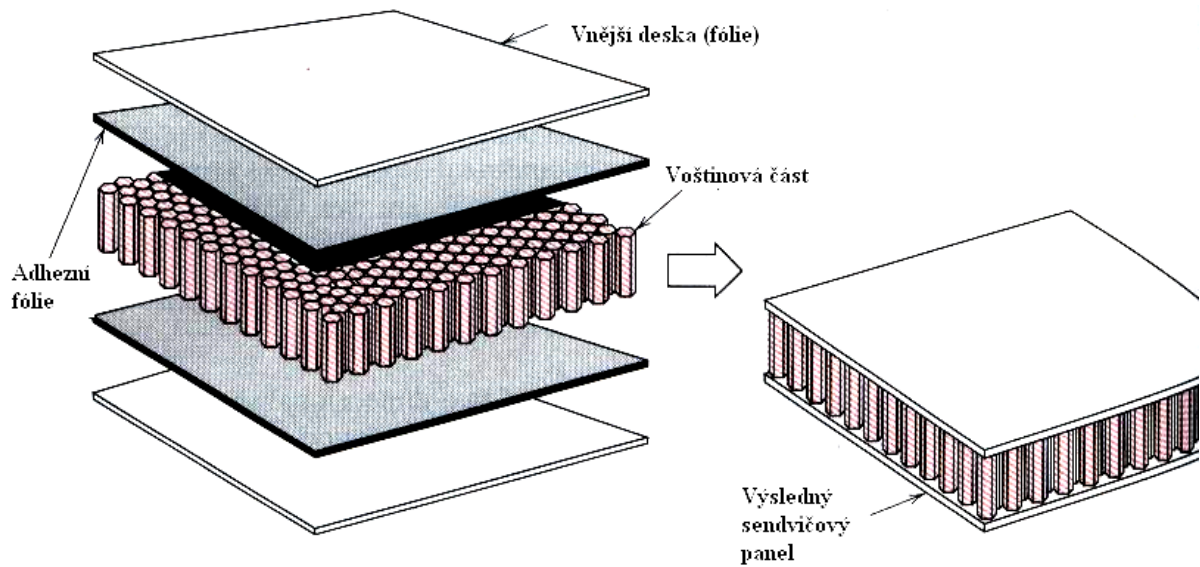


Obr.10.24. Struktura aramid – hliníkového kompozitu



Obr.10.25. Různé způsoby výroby laminárních kompozitů

Závěrem tohoto odstavce lze říci, že moderní kompozity pronikají stále více do běžného života. Setkáme se s nimi ve zdravotnictví (bílé zubní plomby, náhrady kostí, atd.), v automobilovém průmyslu (interiér, nárazníky, ale i části motorů) ve stavebnictví, letecké a kosmické technice, při výrobě lodí, atd. Proto jsou kompozity dalším kandidátem (stejně jako keramika), po němž by mohla být nazvána doba, která nahradí dobu železnou.



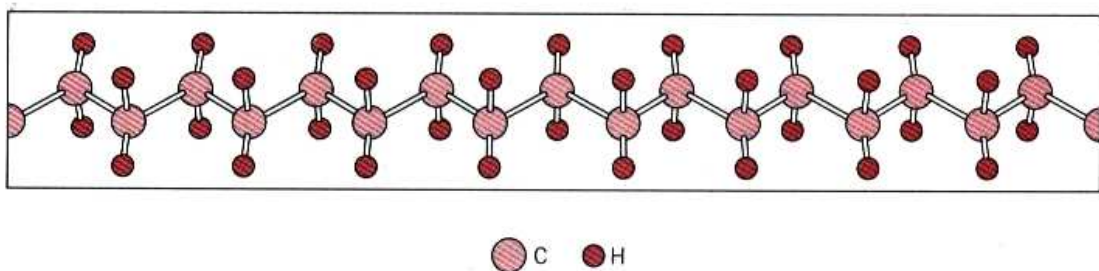
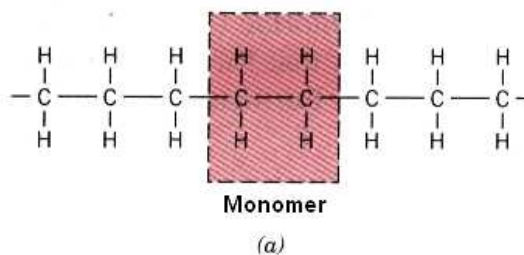
Obr.10.26. Výroba sendvičových kompozitů.

## 10.3. Polymery.

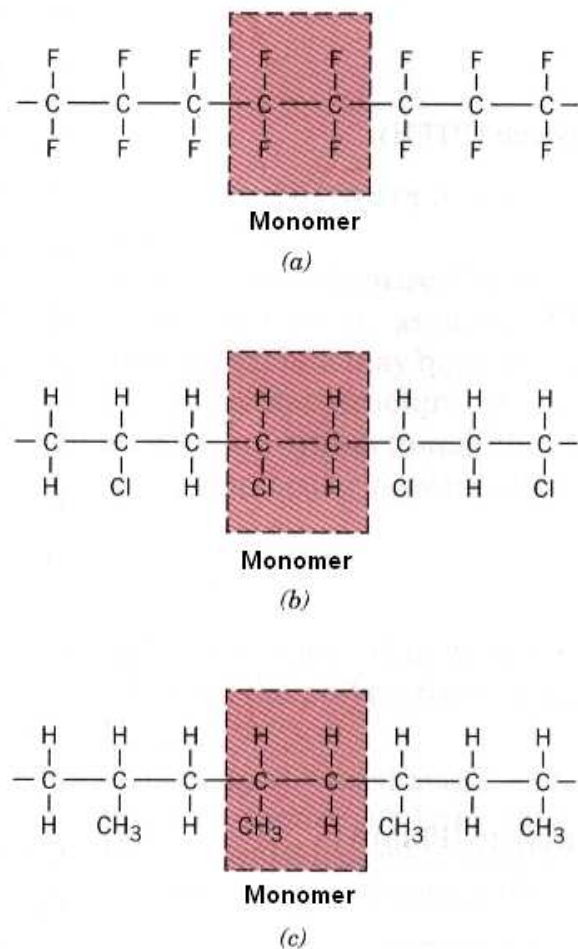
### 10.3.1. Úvod, rozdělení polymerů.

Přestože jsou makromolekuly jedním z nejrozšířenějších druhů organických látek v přírodě, větší pozornost jim byla věnována až po první světové válce. Poté, jak byly zjištěny jejich výborné vlastnosti i možnost praktického využití, šel jejich vědecký a technický vývoj velmi rychle kupředu.

Molekuly polymerů, jak plyne z jejich názvu, se skládají z velkého množství základních stavebních kamenů, zvaných *monomery*. Příklad polymerů, tvořených z různých monomerů, je uveden na Obr.10.27. a 10.28.



Obr.10.27. Polyetylen



Obr.10.28. Struktura a) polytetrafluoroethylenu, b) polyvinylchloridu a c) polypropylenu.

Polymery můžeme dělit podle různých hledisek, z nichž první je rozdělení na termoplasty a duroplasty.

*Termoplasty* (např. polyetylén) mají dlouhé molekuly, jejichž délka s rostoucí teplotou klesá, polymer degraduje a ztrácí své původní dobré vlastnosti.

*Duroplasty* (např. bakelit) mají síťovitou strukturu, která je činí pevnými. Při vyšších teplotách se rozpadávají (oxidují).

Polymery jsou často kombinovány s různými plnivými, které mají zpravidla zlepšit zejména jejich mechanické vlastnosti, jako je modul pružnosti, mez pevnosti, ořezuvzdornost apod. Jako plniva používáme částice (saze, křemičitany, křída i částice kovů aj.), nebo vlákna (např. papír, textilie). Polymery lze dále barvit, parfémovat a vytvářet z nich kompozity.

Jiné dělení kompozitů vychází ze způsobu jejich vzniku:

*Polymery přírodní* (bílkoviny, škrob, celulóza, kaučuk a látky syntetické, ale přírodním polymerům podobné (celuloid, vulkánfibr, viskóza, umělé hedvábí, umělá rohovina apod.).

*Polymery syntetické* (polyetylén, polyvinylchlorid, atd. – viz přehled polymerů a jejich vlastností např. v knize, doporučené v tomto odstavci).

Dále můžeme dělit polymery podle způsobu jejich použití a to na *vlákna, fólie, desky, trubky, laky, elastomery (kaučuky), lepidla, maziva*, apod.

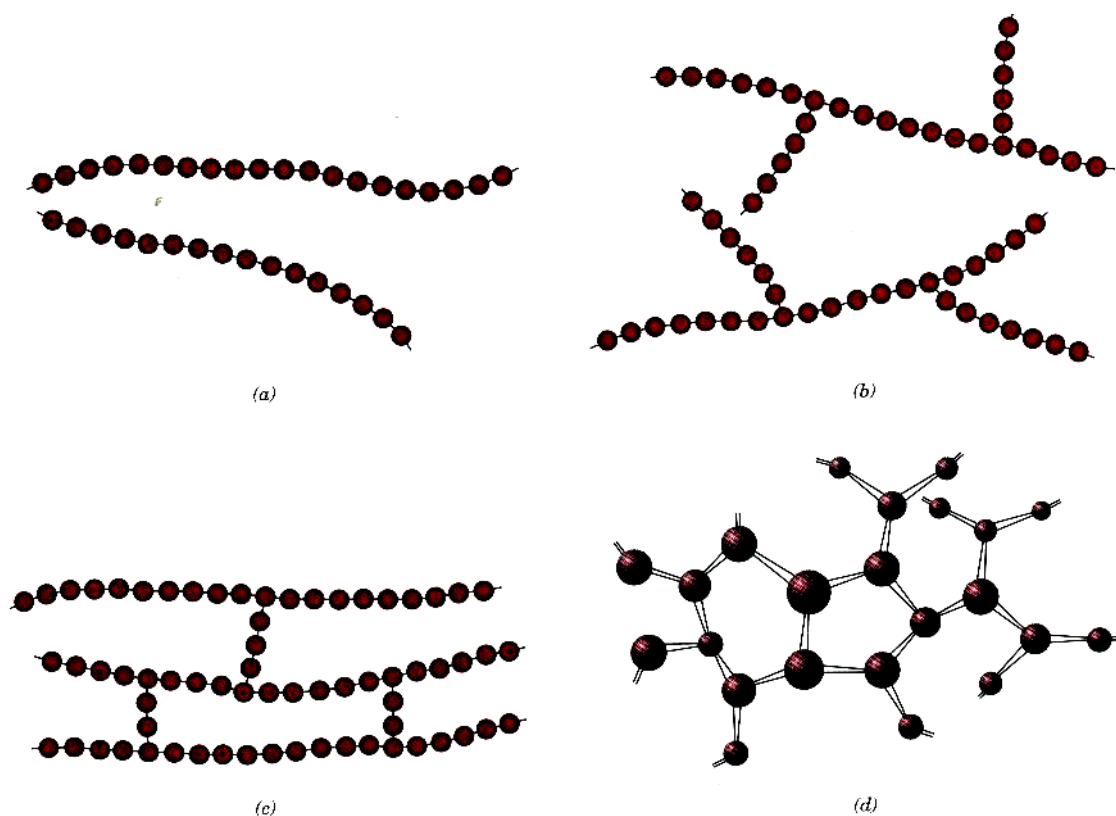
Z chemicko – technologického hlediska dělíme polymery na *polymeráty*, *polykondenzáty* a *polyadukty*.

Přehled nejvýznačnějších druhů polymerů a jejich vlastností spolu se způsobem jejich použití lze nalézt např. ve vynikající knize Sodomka, L., Fiala, L.: *Fyzika a chemie kondenzovaných látek*.

### 10.3.2. Struktura polymerů.

Polymery jsou tvořeny tzv. makromolekulami, složenými z jednotlivých opakujících se dílců – monomerů. Podle jejich seřazení dělíme polymery na:

*Lineární polymery.* V tomto případě jsou jednotlivé monomery seřazeny za sebou, viz. Obr.10.29. (a), takže vytvoří jednoduchý řetězec. Mezi těmito pružnými řetězci působí slabé Van der Waalsovy vazby ( patří sem polyetylén, polyvinylchlorid, polystyrén, polymethylmetakrylát, nylon a též např. fluorokarbyny).



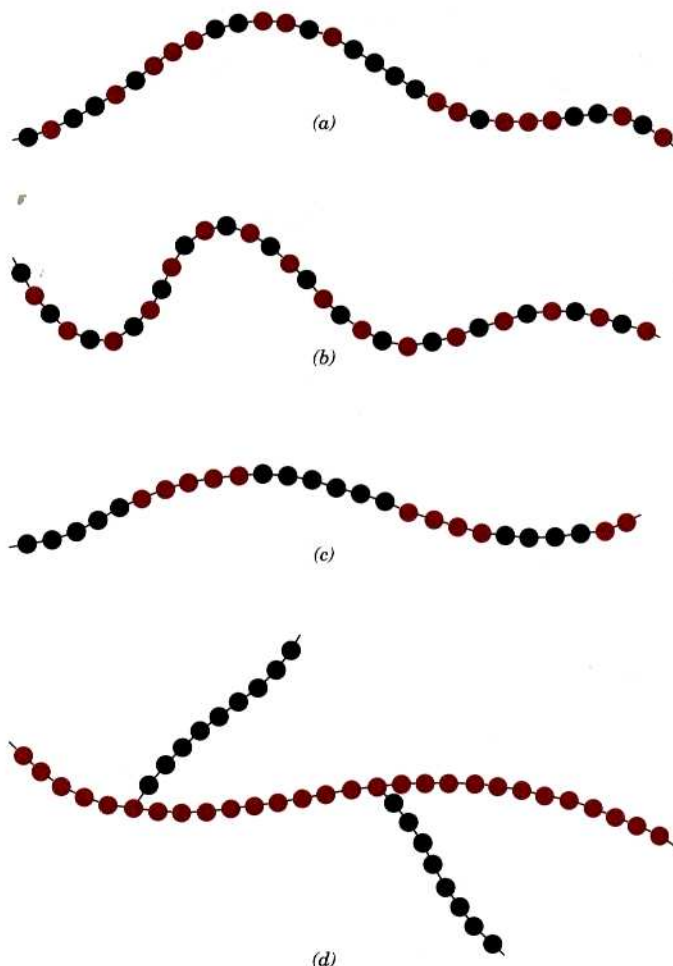
Obr.10 29. Struktura polymerů.

*Rozvětvené polymery.* Struktura těchto polymerů je schematicky znázorněna na Obr.10.29. (b). Jejich makromolekula se vyznačuje hlavním řetězcem, z něhož vystupují postranní „větve“. Celá struktura má menší hustotu, než lineární polymery.

*Polymery se zkříženými články.* Schematický obrázek takových polymerů je uveden na Obr 10.29(c ). Z obrázku plyne, že sousední řetězce těchto polymerů jsou mezi sebou propojeny články, které jsou vázány pomocí silné kovalentní vazby. Sem patří různé elastické materiály, jako je např. přírodní i syntetický kaučuk.

*Síťované polymery.* Trojrozměrné monomery, které mají tři aktivní kovalentní vazby vytvářejí trojrozměrnou síť (Obr.10.29(d)). Tyto polymery mají zajímavé mechanické vlastnosti. Patří sem epoxidy a fenolformaldehydy.

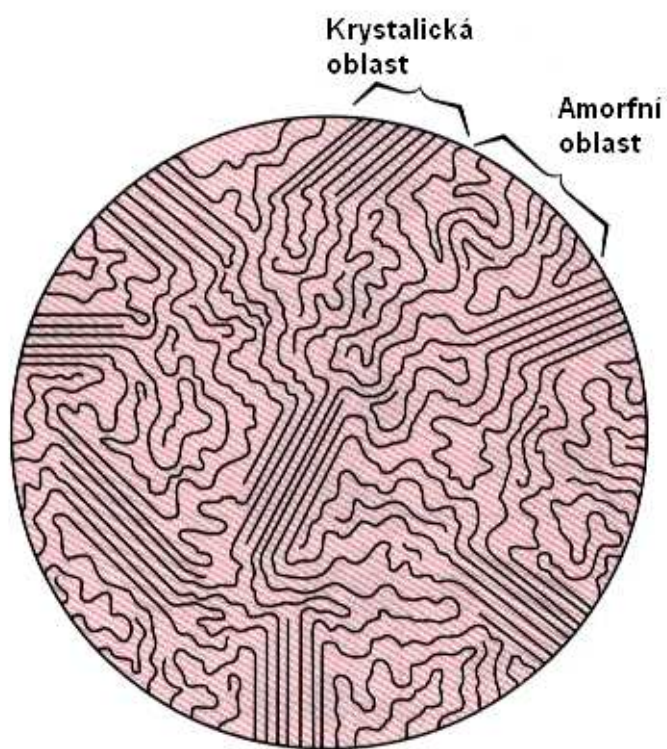
*Kopolyмеры.* Tyto polymery vznikají polymerací více než jednoho druhu monomerů. Tyto monomery se mohou střídát buď náhodně, nebo střídavě. Různé struktury kopolymerů jsou znázorněny na Obr.10.30.



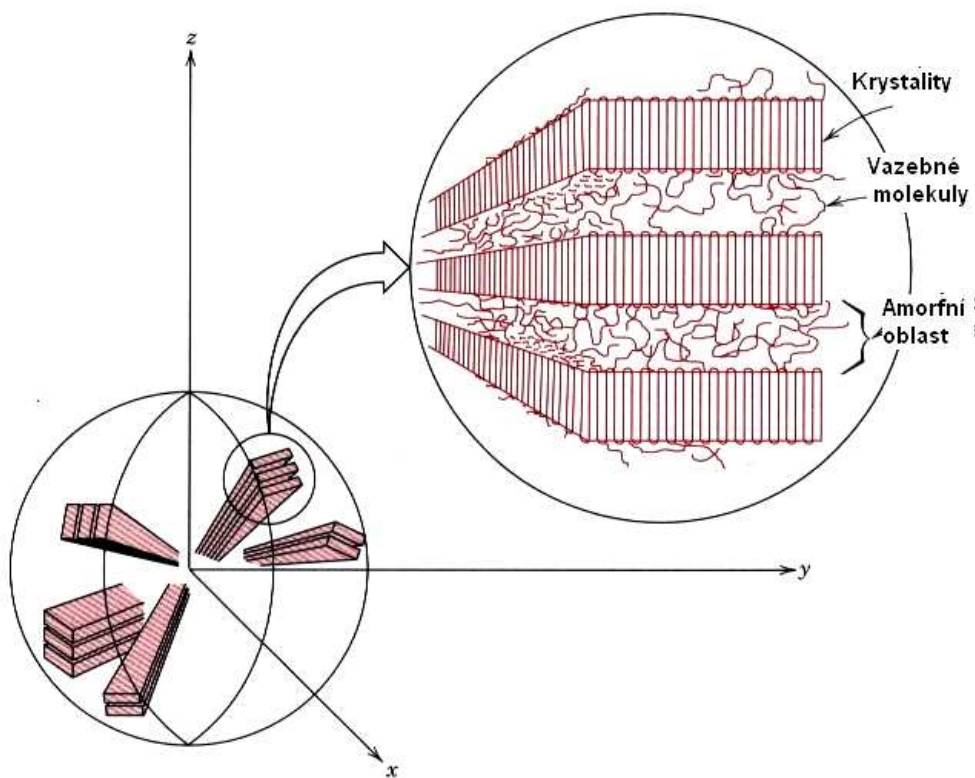
Obr.10.30. Struktura kopolymerů.

*Krystalické a semikrystalické polymery.* Velká délka makromolekul je na překážku jejich úplné krystalizaci. Přesto i u polymerů pozorujeme krystalický stav takový, že makromolekuly jsou pravidelně uspořádány v omezeném objemu (Obr.10.31.). Protože jsou uspořádány jenom částečně, hovoříme také o semikrystalickém stavu. Mnohé polymery, krystalizující z taveniny, vytvářejí tzv. *sférolity* (Obr.10.32), které mají, jak zní jejich název kulovitý tvar. Na Obr.10.33. je ukázán takový sférolit přírodního kaučuku (elektronový mikroskop, zvětšeno 30 000 x).

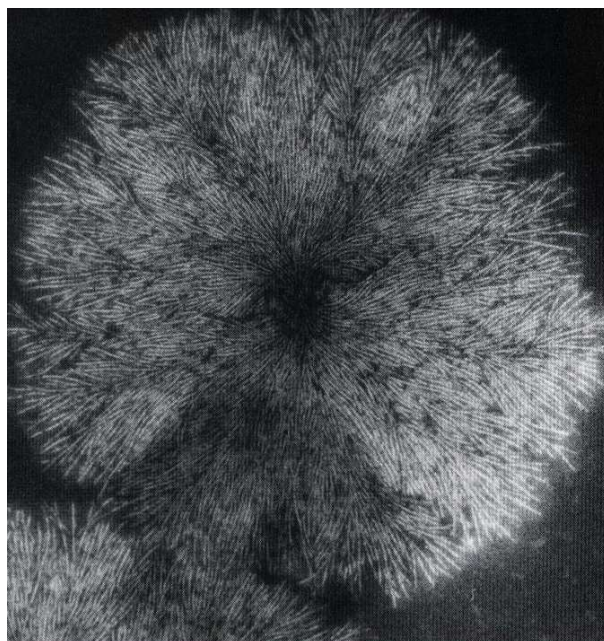




Obr.10. 31. Semikrytalický polymer.



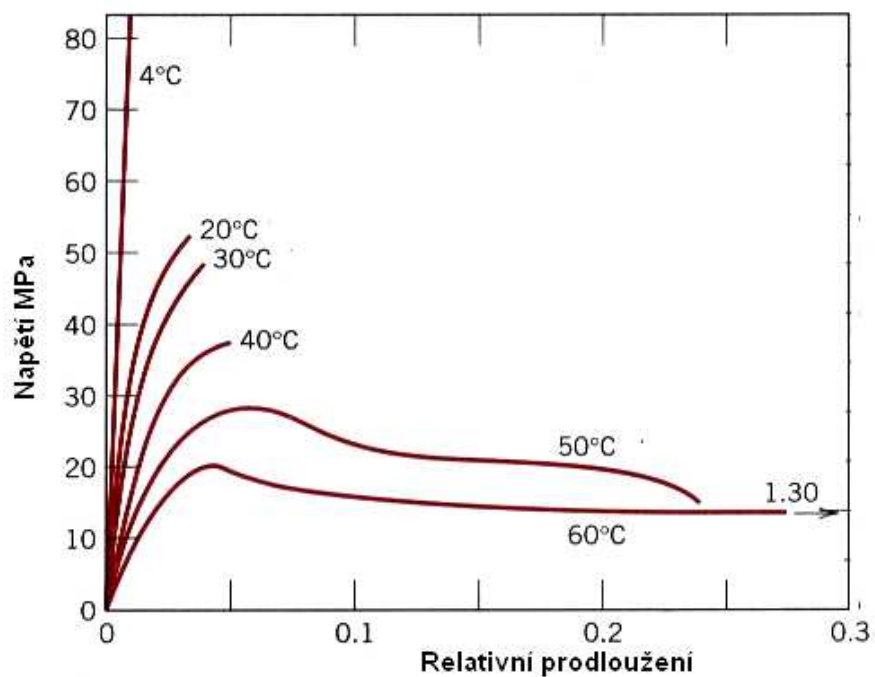
Obr.10.32. Sfěrolit



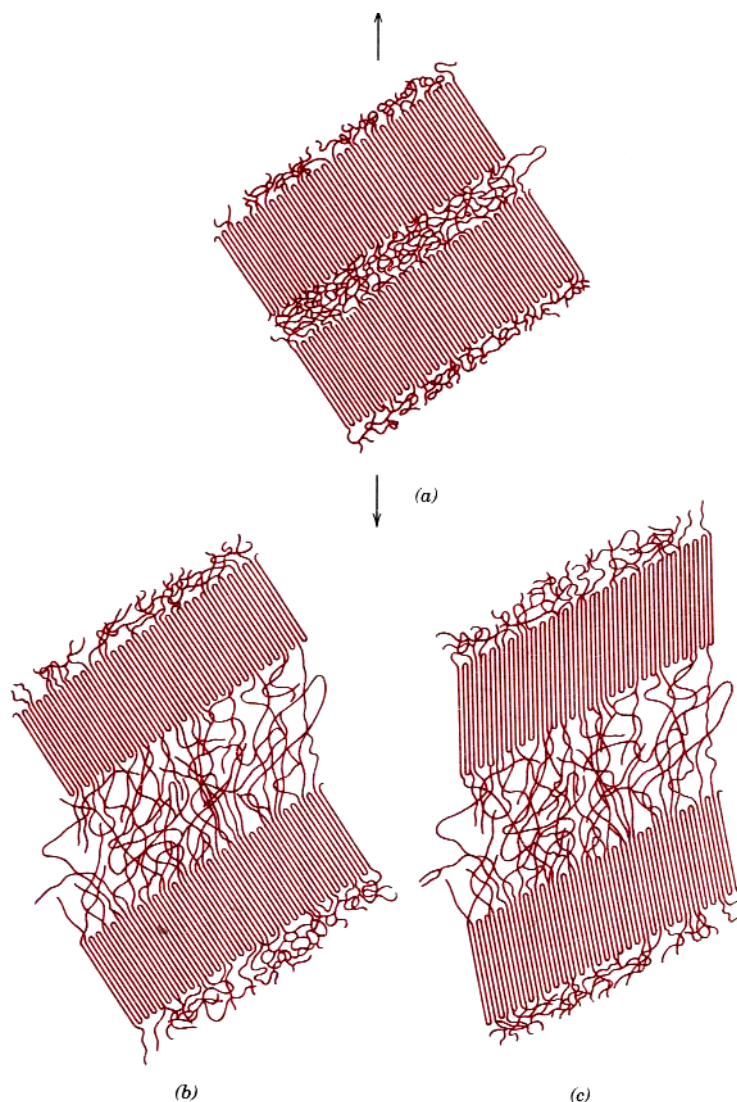
Obr.10.33.. Sfěrolit kaučuku.

### 10.3.3. Vlastnosti a technologie polymerů.

*Mechanické vlastnosti* polymerů jsou velmi rozdílné a silně závislé na teplotě (Obr.10.34). Názorný mechanismus elastické a plastické deformace polymerů je názorně ukázán na Obr.10.35 a 10.36.) .



Obr.10.34. Teplotní závislost mechanických vlastností polymerů.



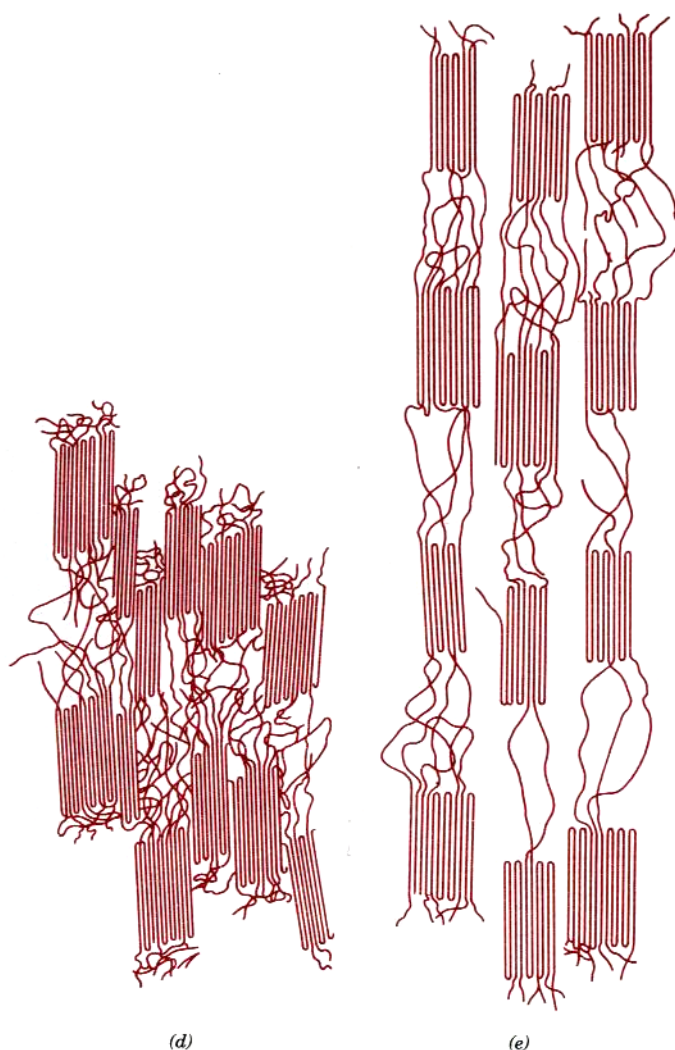
Obr.10. 35. Schematické znázornění elastické a počáteční plastické oblasti deformace polymerů

Na počátku deformace odpovídá struktura polymeru případu (a) na Obr.10.35., tj. v oblasti mezi krystalickými oblastmi se nachází amorfnní oblasti. V prvním stádiu deformace (elastická oblast (b)) dochází k malému prodloužení řetězců, které mezi sebou vážou krystalické oblasti. Během třetího stádia (c) počátek plastické oblasti) dochází k naklánění lamelárních krystalických vrstev. Ve třetím stádiu (d) (Obr.10.36) dochází již k separaci jednotlivých krystalických bloků. Na závěr deformace (e) pak dochází k orientaci krystalických segmentů a řetězců makromolekul v amorfnní oblasti do směru působícího napětí.

**Poznámka:** Sledujeme – li závislost měrného objemu (převrácená hodnota hustoty) na teplotě, dostaneme pro polymer graf, znázorněný na Obr. 10.37. Podle druhu polymeru dostáváme tři typické křivky: křivku A pro zcela amorfnní polymer, křivku B pro polymer semikrystalický a křivku C pro krystalický polymer. Kromě teploty tání v grafu vystupuje i teplota  $T_g$ , tzv. *teplota skelného přechodu*, při níž dochází k výrazným strukturním změnám –



k přechodu od pevného k pružnému (kaučukovitému) stavu a tyto změny jsou doprovázeny i změnou makroskopických parametrů (tuhost, měrné teplo, koeficient tepelné roztažnosti).



Obr.10.36. Schematické znázornění konečného stadia plastické deformace polymerů

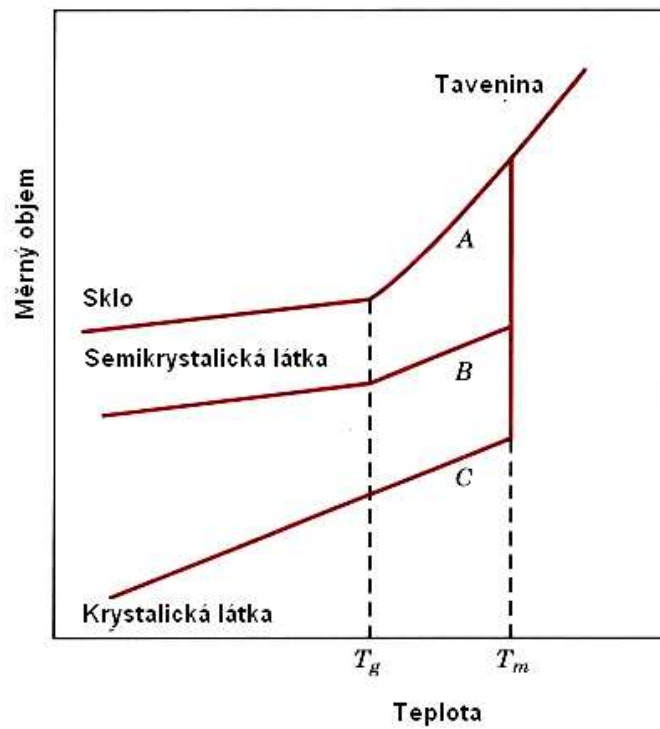
Po fyzikální stránce si lze tuto změnu vysvětlit tak, že při nižších teplotách „zamrzlé“ makromolekuly začnou nad teplotou  $T_g$  konat rotační a translační pohyb.

#### **Výroba polymerů.**

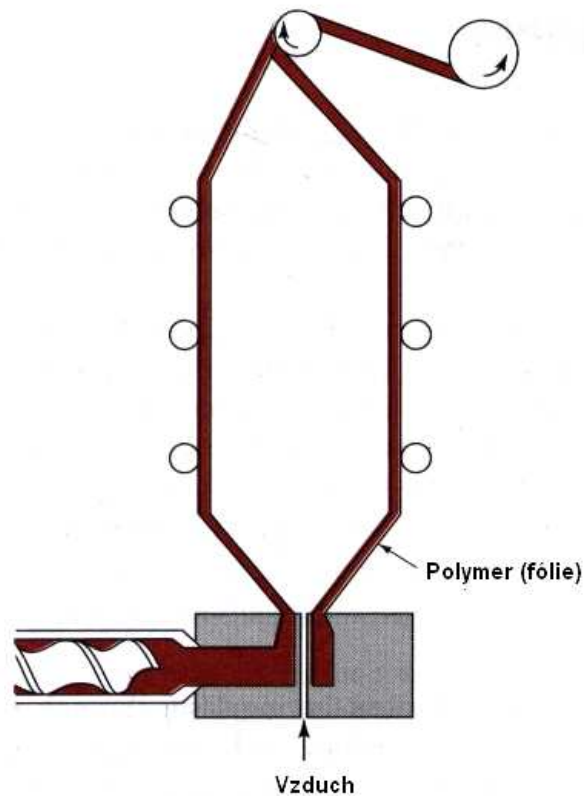
Některé tradiční technologické postupy při výrobě plastů jsou uvedeny na Obr.10.38. a 10.39.

#### **Použití polymerů.**

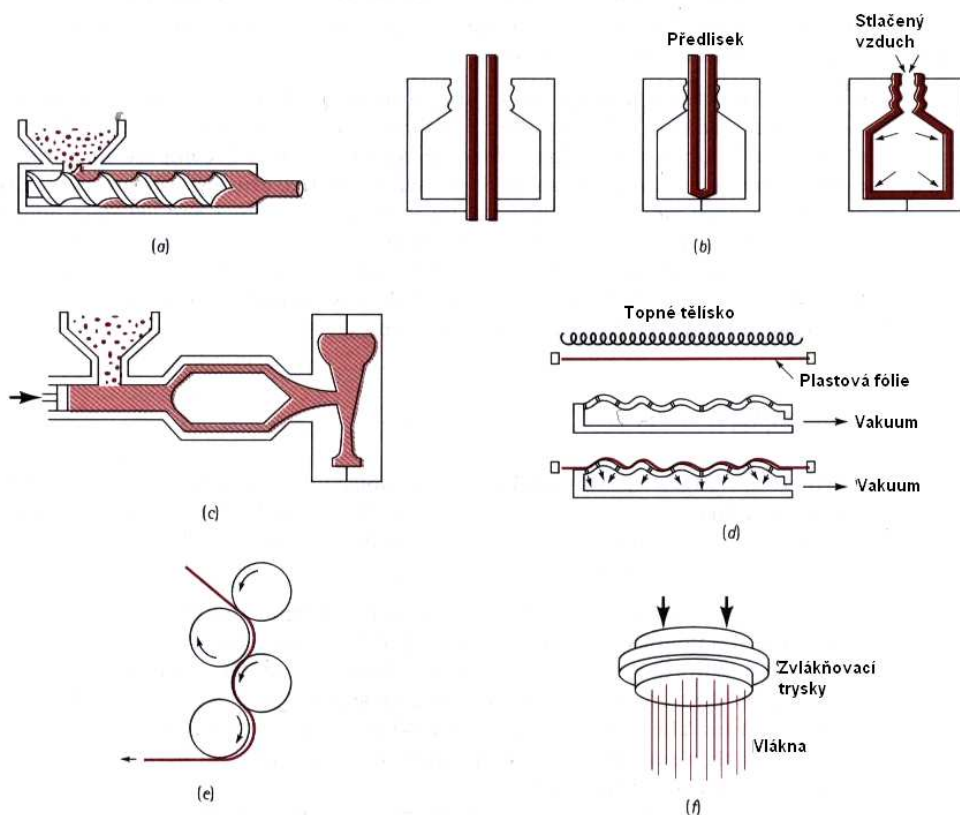
S použitím polymerů se setkáme doslova každý den a na každém kroku. Vyjmenovat jejich využití od domácnosti, průmyslu, zemědělství, automobilismu až po kosmickou techniku by zabralo mnoho místa a ponecháme to na čtenáři.. Na základě dosavadního vývoje a použití polymerů lze konstatovat, že stejně jako keramika a kompozity jsou i plasty významným kandidátem na náhradu oceli v dalším století či tisíciletí.



Obr.10.37. Teplotní závislost měrného objemu polymerů a teplota skelného přechodu.



Obr.10.38. Schéma výroby fólií (např. polyetylénových)



Obr.10.39. Technologie výrobků z plastů.

## ? 10.4. Kontrolní otázky

- 10.4.1. Uveďte základní vlastnosti keramik a oblasti jejich dosavadního využití.
- 10.4.2. Kterým směrem se ubírají snahy vědců a konstruktérů o zlepšení vlastností keramik?
- 10.4.3. Jaká je základní představa o funkci a vlastnostech kompozitů?
- 10.4.4. Které kompozity, využívané v každodenním životě znáte?
- 10.4.5. Pokuste se navrhnout kompozit s (téměř) ideálními vlastnostmi
- 10.4.6. Uveďte základní vlastnosti polymerů a oblasti jejich dosavadního využití.
- 10.4.7. Kterým směrem se ubírají snahy vědců a konstruktérů o zlepšení vlastností polymerů?
- 10.4.8. Kterými vazbami jsou k sobě vázány atomy v polymerech?

