



Kompozitní materiály

oddělení povrchového inženýrství pro
předmět SMA
Ing. Milan Vnouček, Ph.D.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

TATO PŘEDNÁŠKA JE SPOLUFINANCOVÁNA EVROPSKÝM
SOCIÁLNÍM FONDEM A STÁTNÍM ROZPOČTEM ČESKÉ
REPUBLIKY.

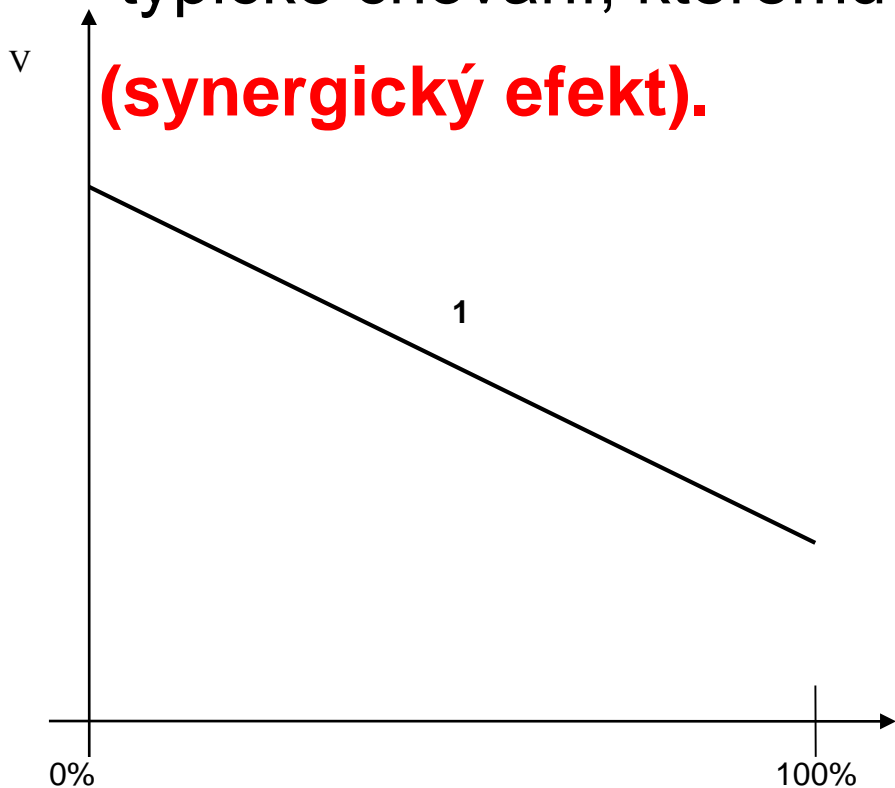


CO JE KOMPOZIT

- Za nejobecnější definici lze považovat definici navrženou Sodomkou
- **1) Kompozitní materiály se skládají nejméně ze dvou konstituentů z nichž alespoň jeden je tuhý**
- **2) jejich vlastnosti se odlišují od vlastností původních konstituentů a vlastností získaných jejich adicí.**
- Heterogenní vlastnosti v různých směrech - množství konstituentů A a B větší než 5% !!!!!
- Problematika spojení obou složek.....příprava smícháním x přírodní kompozity
- Složitost výroby a dimenzace

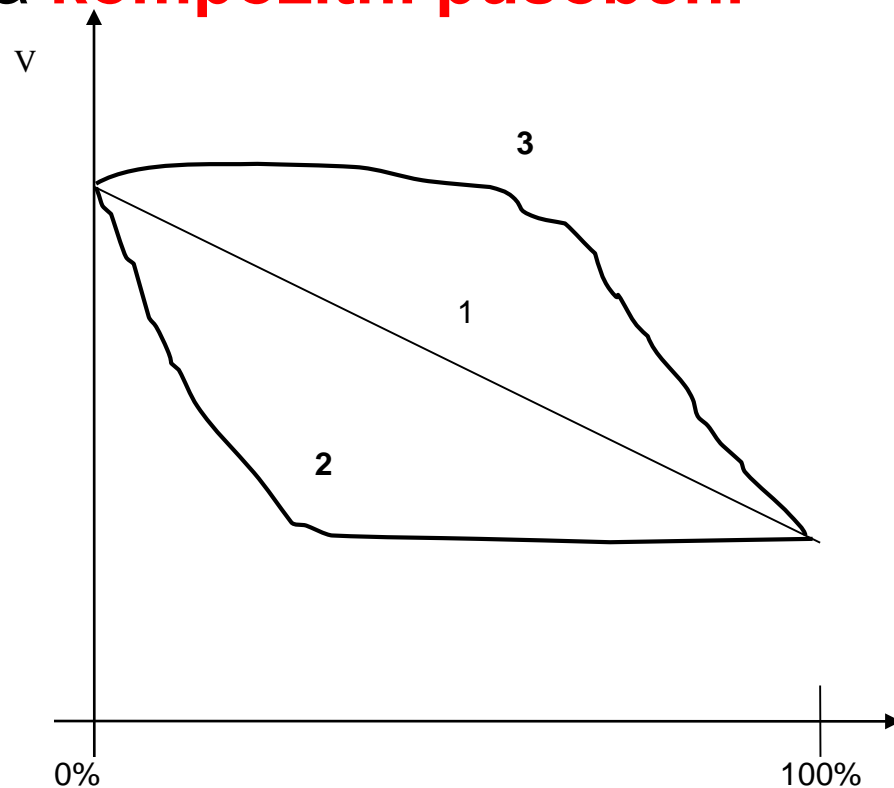
výše uvedené definice kompozitních materiálů popisuje jejich typické chování, kterému se říká **kompozitní působení**

(synergický efekt).



Zastoupení konstituentu A (černý)

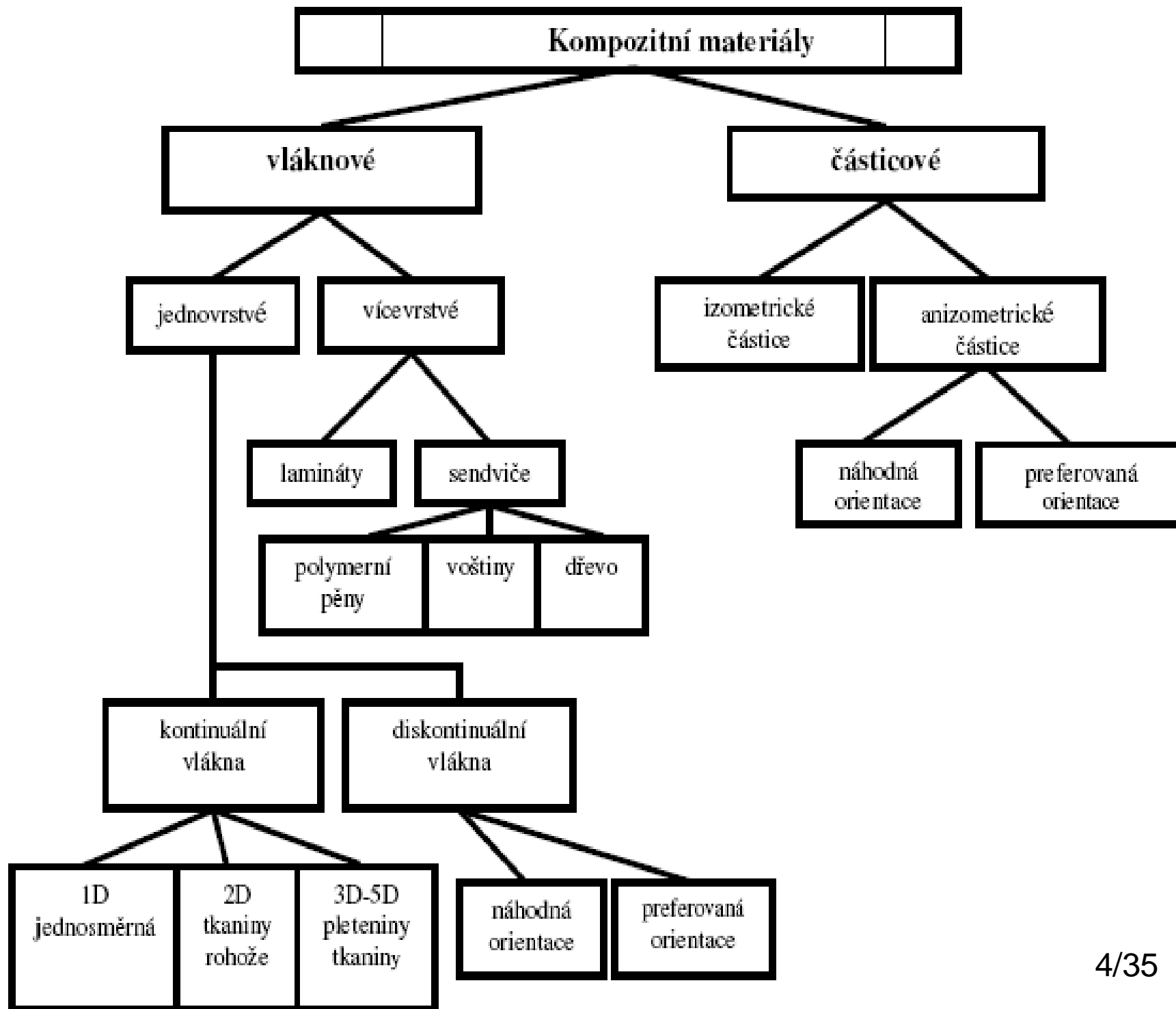
a)

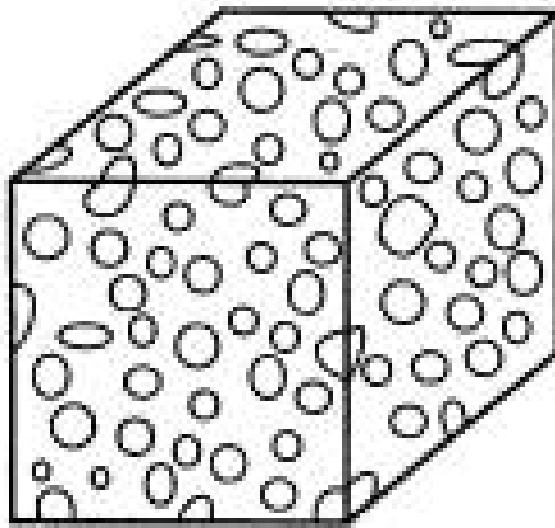


Zastoupení konstituentu A (černý)

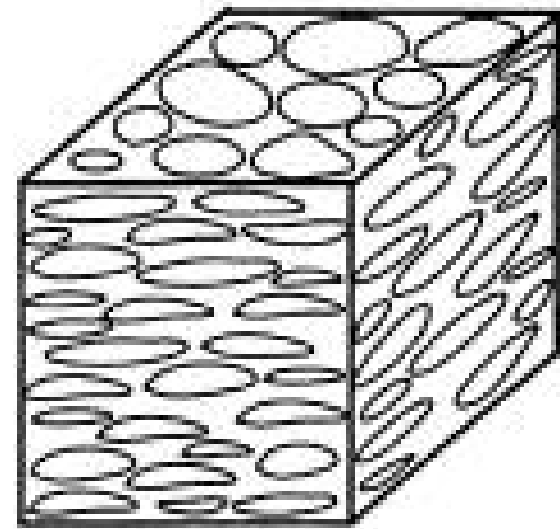
b)

Závislost hodnoty vlastnosti V (např. ohybové tuhosti, pevnosti, filtračních vlastností atd.) materiálu složeného ze dvou konstituentů A a B na zastoupení konstituentu A.

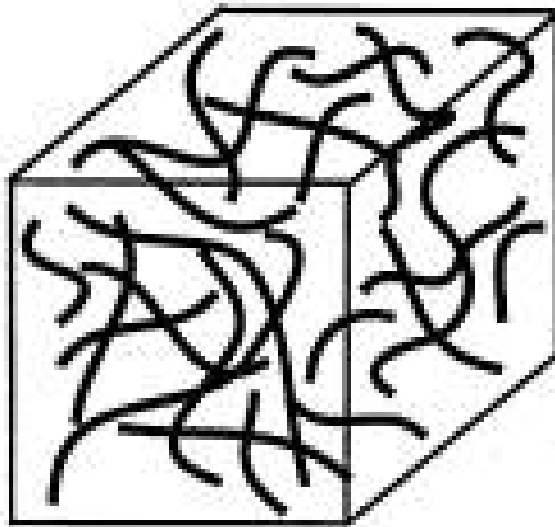




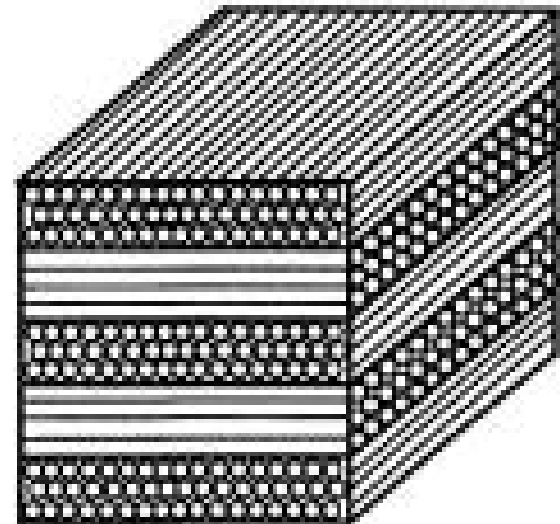
Zrnitý kompozit 3D



Zrnitý kompozit s usměrněnou strukturou 2,5D



Vláknitý kompozit bez orientace



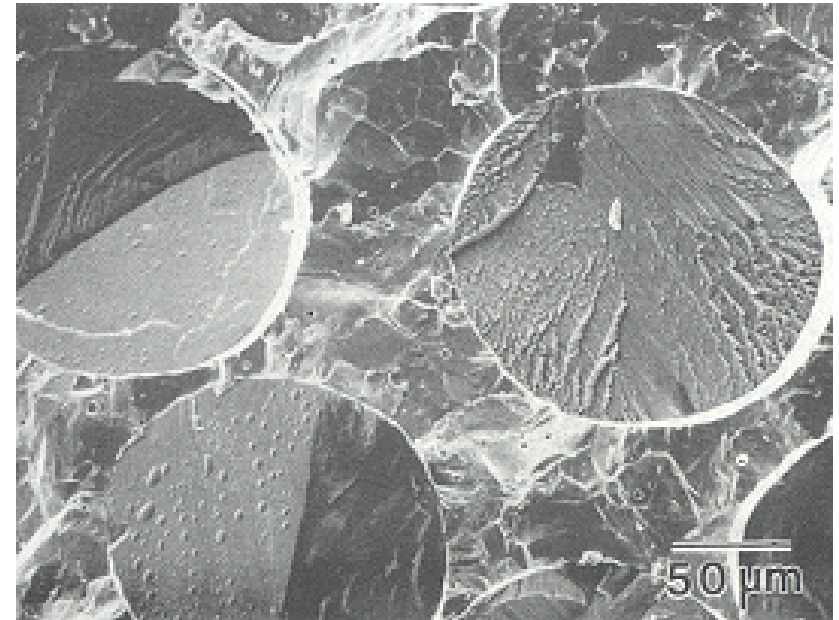
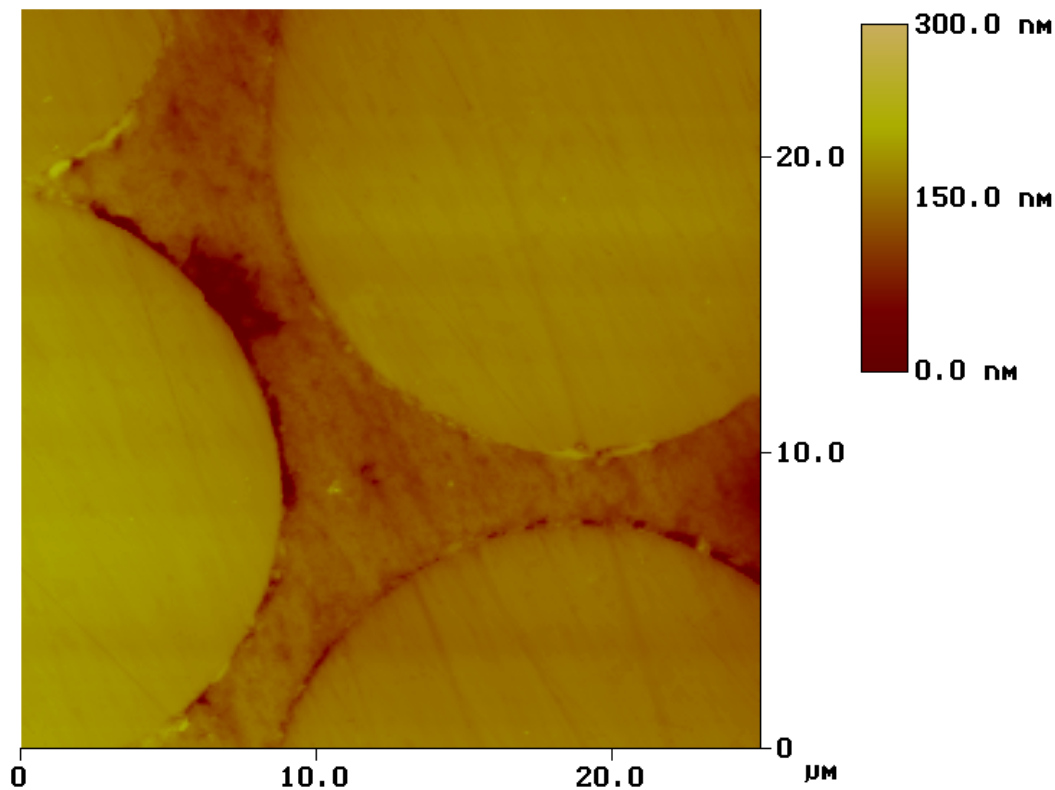
Laminát

Terminologie popisu struktury kompozitních materiálů

- **Konstituent** je společný název pro složku a fázi. Oba dva poslední pojmy můžeme chápat v termodynamickém smyslu, který je čtenáři znám z Gibsova pravidla fází.
- **Složka** je chemická látka skládající soustavu. Soustavou zde rozumíme kompozitní materiál (složka je zde např..netkana textilie).
- Za **fázi** kompozitního materiálu označujeme odlišné struktury jedné složky, což je podobné Gibsově definici fáze jako homogenní části soustavy oddělené hranicí od ostatních fází fázovým rozhraním.

VLÁKNITÉ KOMPOZITY

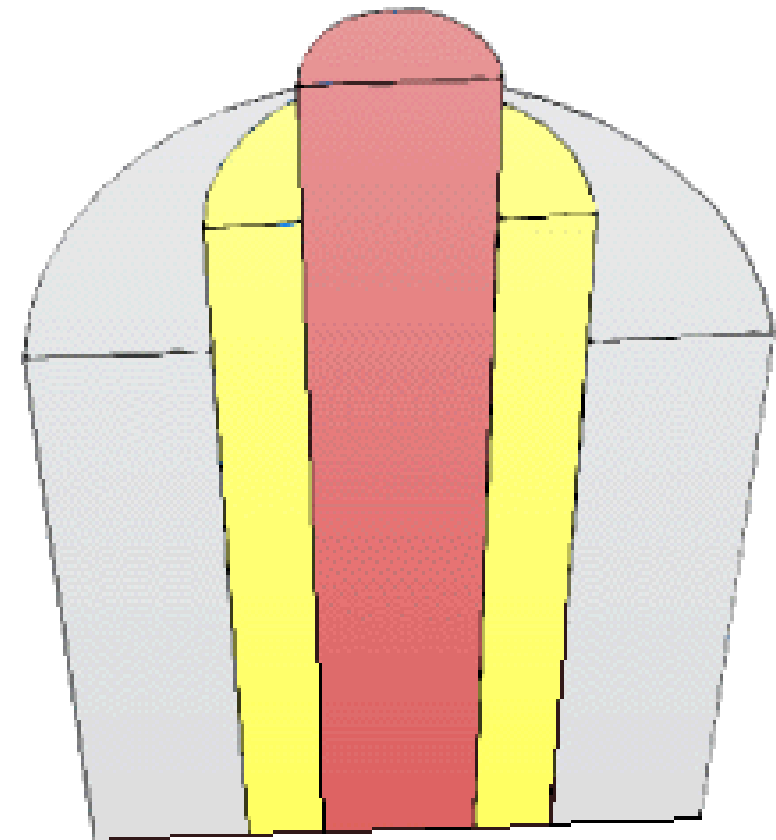
- Tento systém spojuje pevnost vláken s tvrdostí pryskyřice
- Konstituenty kompozitních materiálů rozdělujeme do dvou tříd a to na **disperované neboli nespojité kontituenty** a na **matrice neboli spojité konstituenty**
- Dle délky vláken je lze rozdělit do dvou skupin- materiály vyztužené **krátkými vlákny** tzv. krátkovláknové (poměr délka/průměr $L/D < 100$) a materiály vyztužené **dlouhými vlákny** tzv. dlouhovláknové ($L/D > 100$ tj. vlákna s délkou rovnou rozměrům celého dílce).
- Pevnost a odolnost jednotlivých druhů vláknových kompozitů se liší druhem a uspořádáním použitých vláken



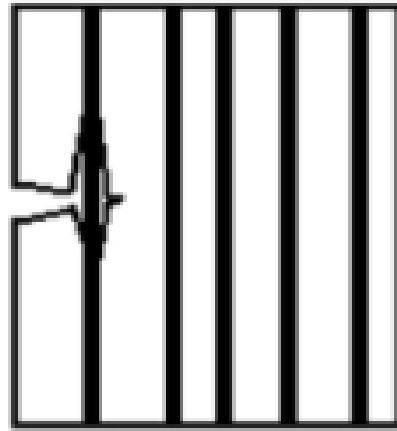
Vysvětlení kompozitního působení na úrovni mikrostruktury:

kompozitní materiál obsahuje kromě konstituentů A a B také jejich rozhraní A/B. Toto rozhraní má odlišné vlastnosti od vnitřních oblastí konstituentů a způsobuje jev známý jako kompozitní působení.

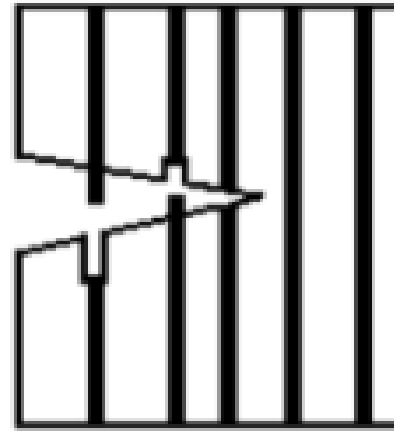
Dále při namáhání se projevuje silné tření mezi konstituenty A a B.



Jevy na rozhraní matrice-vlákno



odklon směru trhliny



tření

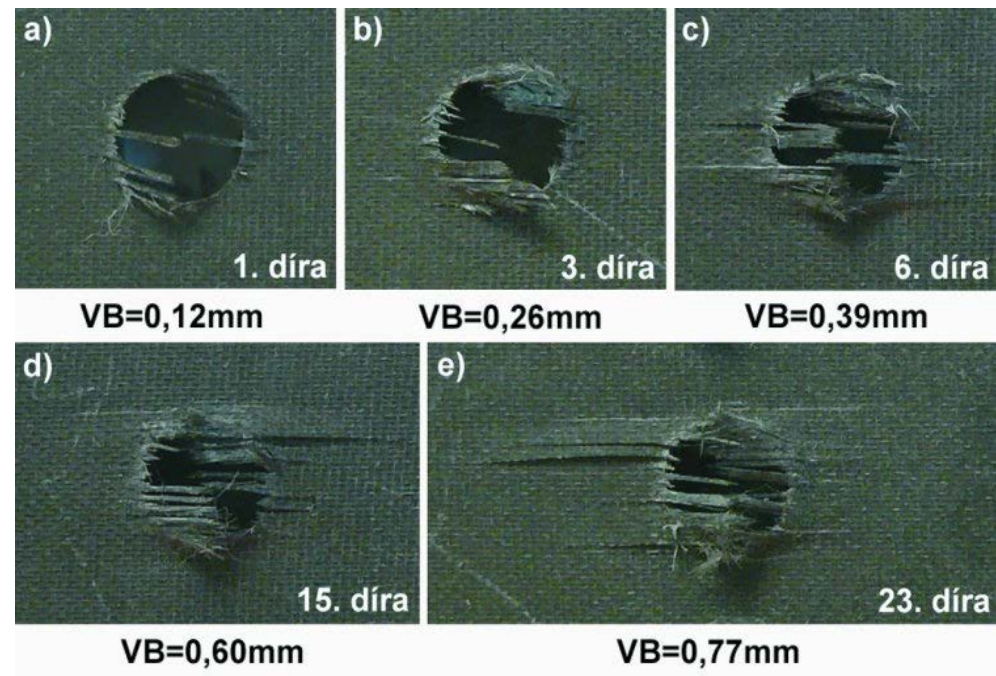
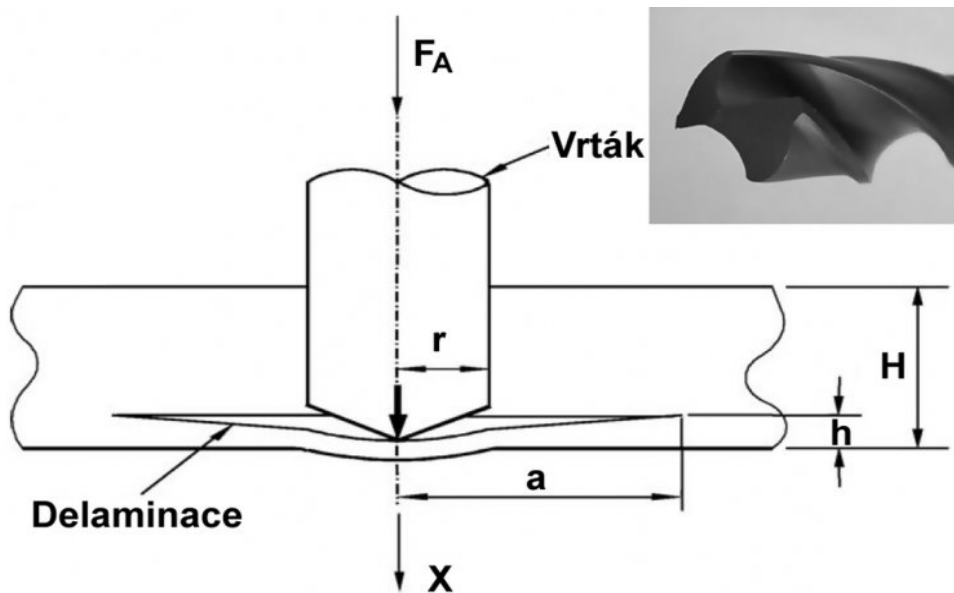
Vláknové kompozitní materiály

jsou složené ze dvou nebo více fází. Obvykle je jedna fáze v kompozitu spojitá – takovou fází nazýváme matrice. Fází, která je nespojitá, nazýváme **výztuž**.

V porovnání s matricí má výztuž obvykle výrazně vyšší mechanické vlastnosti (modul pružnosti, pevnost, tvrdost atd.) a hlavním cílem vyztužení je tedy zlepšení uvedených vlastností.

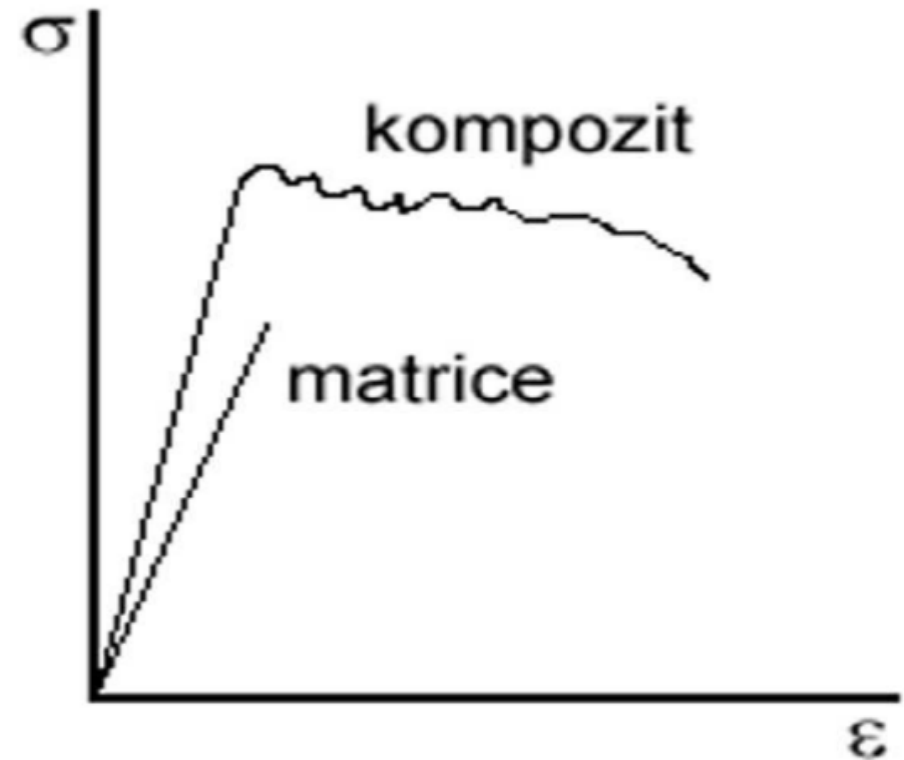
Lomová mechanika a kompozity

- šíření trhlin v jednotlivých konstituentů je závislé na koeficientech $K_{I-II-III}$, délce trhlin, napětí vs $R_m(Re)$
- kompozity mají silně odlišné lomové vlastnosti v různých směrech je šíření trhlin závislé na druhu a směru namáhání
- **NEBEZPEČÍ DELAMINACE**



VYUŽITÍ VLÁKNOVÝCH KOMPOZITŮ

•Principem vlastního **vláknového vyztužení** je skutečnost, že vyztužující vlákna, mající o jeden až dva řády **vyšší pevnost a tuhost ve srovnání s pojivem** (polymerní matricí), se při vnějším namáhání deformují méně než polymer. Dochází tak ke vzniku **smykových sil na rozhraní vlákno/polymer**, které v případě adheze mezi oběma komponentami umožňují přenos veškerého napětí z nepevné matrice do vláken. Ta jsou schopna nést veškerá napětí působící na kompozitní dílec, takže nepevné ale deformovatelné pojivo je prakticky bez napětí.



Porovnání tahových diagramů křehké matrice a kompozitu složeného z této matrice a křehkých keramických vláken

Vlákna pro kompozity

• Mezi nejznámější používaná vlákna patří:

• Skelná

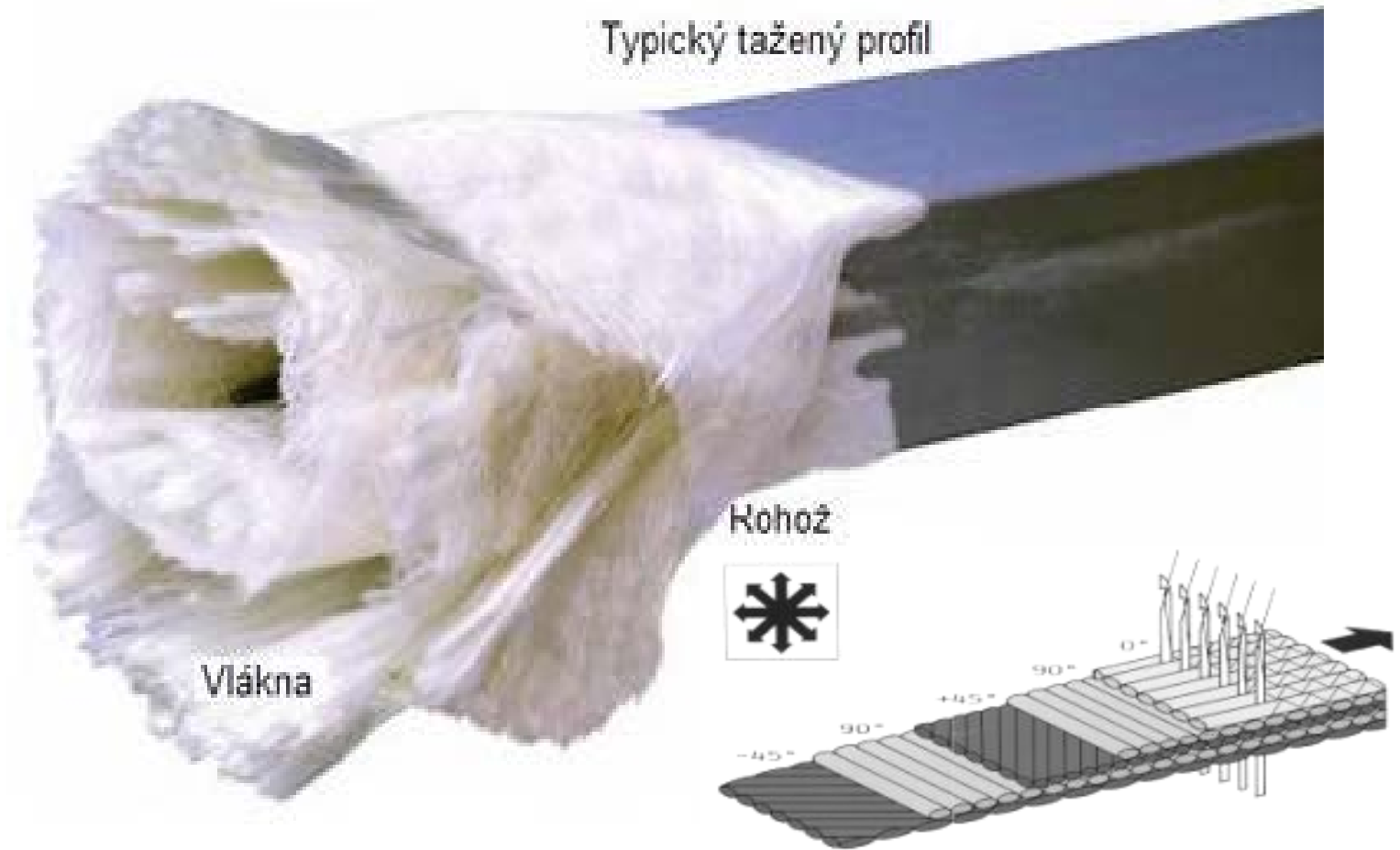
• Uhlíková

• Aramidová

• Celulóza

• Wiskery

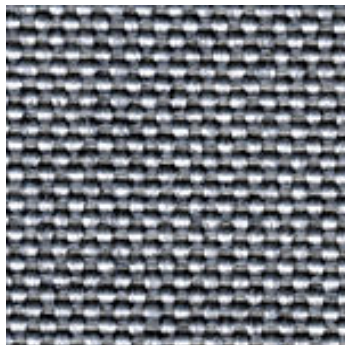
•



Skelná vlákna

- Skleněná textilní vlákna se začala vyrábět koncem 19. století.
- Sklo je odolné proti ohni a mnoha chemikáliím, má poměrně vysokou pevnost v tahu a nízký modul pružnosti. Vlhkost však pevnost vláken snižuje a odolnost proti trvalému namáhání a pevnost v oděru je rovněž nízká. Průměrná hmotnost je asi 2500 kg/m³, bod tání až přes 1000° C, dlouhodobě snáší sklo teploty až 450° C.
- filamenty (jednosměrné svazky) se zpracovávají na tkaniny, ve tkaninách se též kombinuje osnova nebo útek s přízemi z aramidových nebo uhlíkových vláken.
- Ze skleněných vláken se také zhotovují izolace proti žáru nebo chemickým vlivům ve formě rohoží (soudržnost je zajištěna lisováním nebo prošíváním vrstvy vláken) a hadic, stuh a šňůr.

13/35



Tkanina v plátňové vazbě
(1100 g/m²)

Příze ze skleněných vláken se dopřádají na odstředivých nebo frikčních strojích.

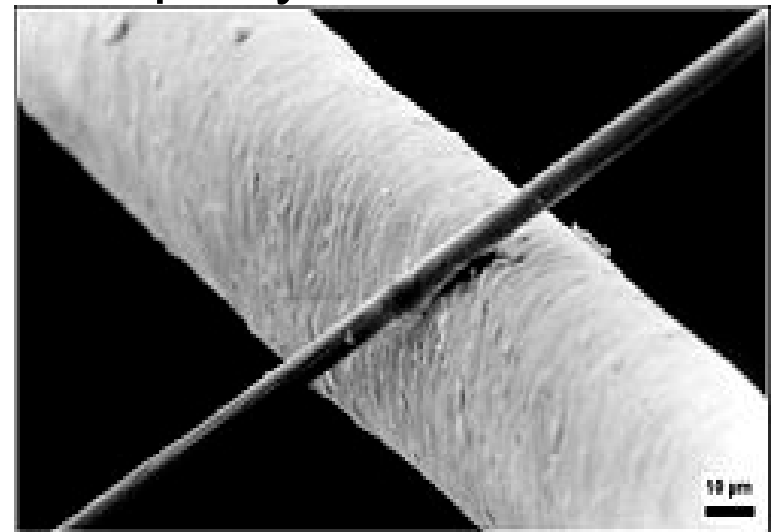


Uhlíkové vlákno

- Uhlíkové vlákno je název pro dlouhý, tenký pramen materiálu o průměru 5–8 μm složeného převážně z atomů uhlíku. Atomy uhlíku jsou spojeny dohromady v mikroskopické krystaly, které jsou více méně orientovány paralelně k dlouhé ose vlákna.
- Surovina používaná k výrobě uhlíkových vláken se nazývá prekurzor. Asi 90% uhlíkových vláken je vyrobeno z polyakrylonitrilových vláken (PAN). Zbývajících 10% je vyrobeno z viskóзовých vláken nebo jsou vyrobena ze smol dehtu, které jsou zbytky po krakování ropy.
- Z prekurzorů se uhlíková vlákna vyrábějí řízenou pyrolýzou.
- Uhlíkové vlákno zahříváné při teplotách 1000 - 2000 $^{\circ}\text{C}$ (při karbonizaci) získává nejvyšší pevnost v tahu (asi 5 650 MPa), zatímco vlákno zahříváné na teploty 2 400 k 3 000 $^{\circ}\text{C}$ (při grafitizaci) získává vyšší modul pružnosti v tahu (asi 531 GPa).
- Výrobou je možné získat celou řadu vláken od vysoce pevných, s vysokým modulem pružnosti, středním modulem pružnosti a extrémně vysokým modulem pružnosti.

Uhlíkové vlákno

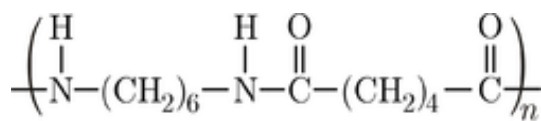
- Uhlíkové vlákno je nejvíce používané k vyztužení kompozitních materiálů, zvláště u materiálu známého jako uhlíkový laminát. Tento druh materiálu se používá při výrobě částí letadel, závodních vozidel (Formule 1), sportovního vybavení jako jsou závodní kola, listů větrných generátorů, a dalších součástí.
- Nepolymerické materiály mohou být použity jako matrice pro uhlíková vlákna. Kvůli vytváření kovových karbidů (např. ve vodě rozpustného karbidu hliníku), špatné smáčivosti s některými kovy, a možnosti koroze, se však uhlíková vlákna v kovových maticích používají omezeně. Tyto problémy mohou být částečně odstraněny povrchovou úpravou uhlíkových vláken, například napařením boridu titanu při výrobě uhlíko-hliníkového kompozitu.
- při destrukci vykazují tříštivost
- absence odolnosti proti blesku



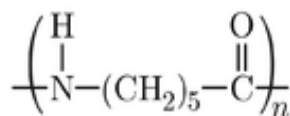
Uhlíkové vlákno o průměru 6 μm v porovnání s lidským vlasem.

Aramidová vlákna

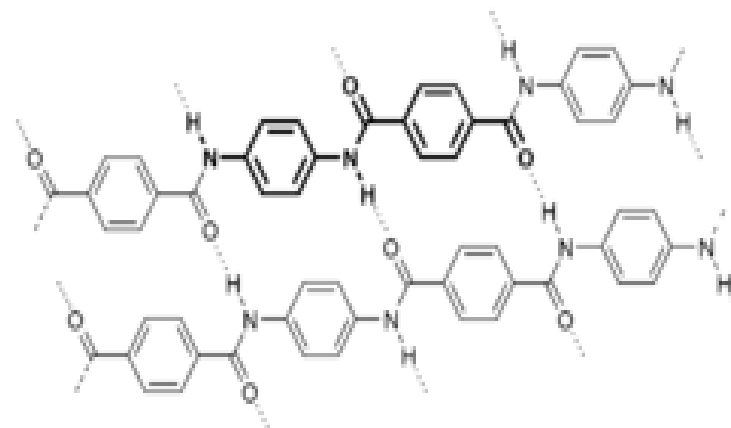
- Jsou to vlákna z lineárních makromolekul, v jejichž řetězcích se opakují funkční amidové skupiny (Karbonylová skupina)
- Silon-PA6, Nylon-PA66



Nylon 66



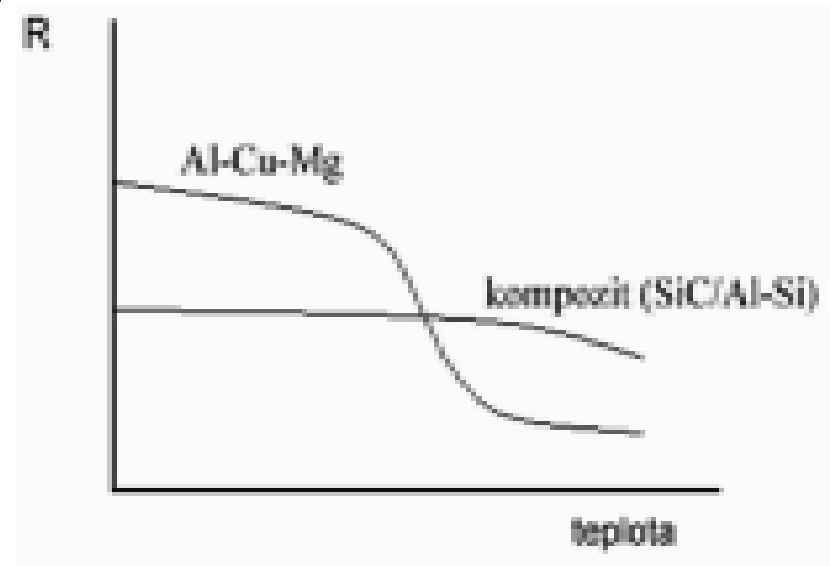
Nylon 6



- Aramid je zkratka sousloví aromatické polyamidy. Sloučenina vzniká napojením aromatických struktur na polyamidový řetěz, přičemž nejméně 85% aramidových skupin musí být přímo spojeno se dvěma aromatickými okruhy
- Aramid byl vyvinut především jako vlákno odolné proti vysokým teplotám bod tání přes 400° C. Nejznámější značka: Nomex.
- Dalším stupněm vývoje jsou para-aramidy vyráběné od 70. let minulého století např. pod značkou Kevlar nebo Twaron. Tato vlákna dosahují mimořádně vysokou pevnost v tahu při nízké specifické hmotnosti.

Whiskery

- Whiskery jsou monokrystalová tenká vlákna o tloušťce 1–30 mikronů a délce 0,25–25 mm
- mají velký význam ve společném použití s keramickou maticí a maticí na bázi Al slitin (označení SiC/Al B/Al)
- díky použití ve formě „nekonečných“ vláken lze dosáhnout lomovou houževnatost rezné keramiky maximálně cca $20 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$
- mezi nejznámější patří SiC whiskery B/W vlákna atd.
- cílem infiltrace vláken do Al-slitin
- zvýšení pevnosti
- zvýšení únavových vlastností
- zvýšení odolnosti proti tečení
- zvýšení odolnosti proti abrazi



Základní suroviny -pryskyřice

•Epoxidy

•Epoxidy mají vynikající mechanické a elektrické vlastnosti a jsou běžně používány s kvalitními výztužemi např.: s uhlíkovými nebo skelnými vlákny, pokud je podíl výztuže velmi vysoký. Mají dobré elektroizolační vlastnosti v široké oblasti teplot, cenná je i jejich značná odolnost proti vodě, roztokům alkálií i kyselin a některým rozpouštědlům.

•Methyl-methakryláty

•Modifikované methyl-methakrylátové pryskyřice mají vynikající vlastnosti a jsou nejčastěji používány v kombinaci s vysoce kvalitní výztuží jako jsou uhlíková vlákna. Tyto pryskyřice je možné naplnit retardéry hoření, čímž přináší vynikající řešení pro aplikace, kde je požadována ohnivzdornost výrobku.

Základní suroviny -pryskyřice

•Polyestery

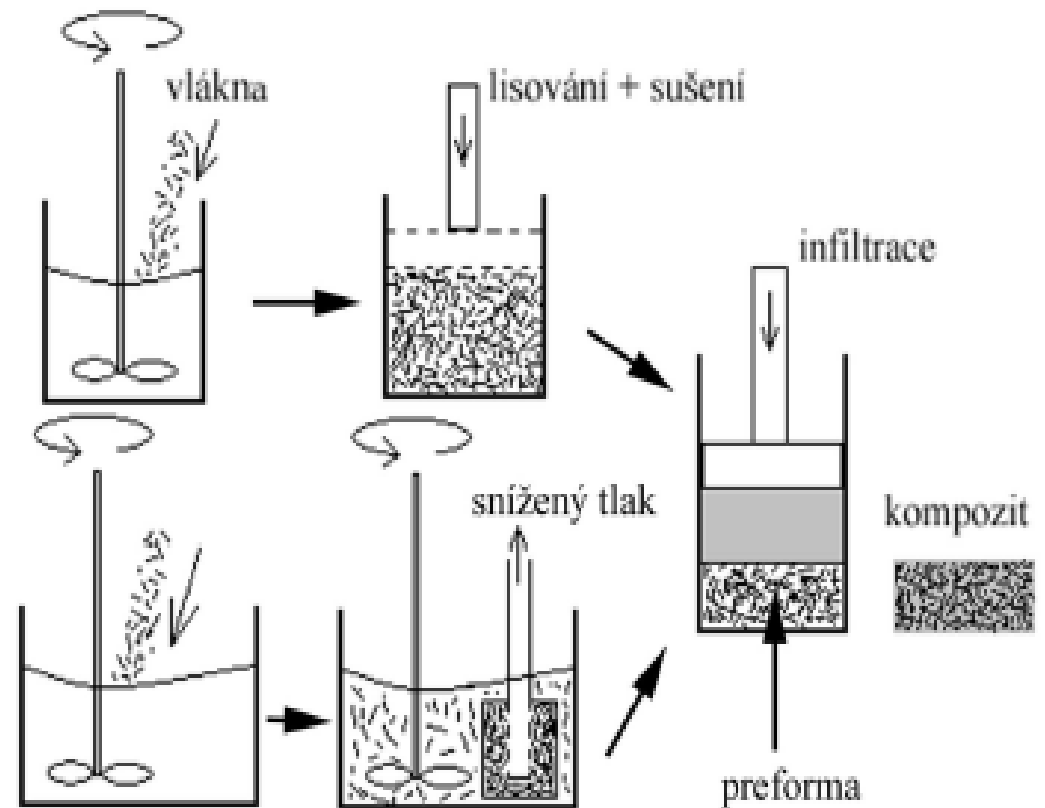
•Nenasycené polyestery jsou nejčastěji používanou matricí pro vyztužené plasty zvláště v kombinaci se skelnou výztuží. Polyesterové pryskyřice mají dobré mechanické, elektrické a chemické vlastnosti. Polyestery jsou dobré do slabě kyselého prostředí.

•Vinylestery

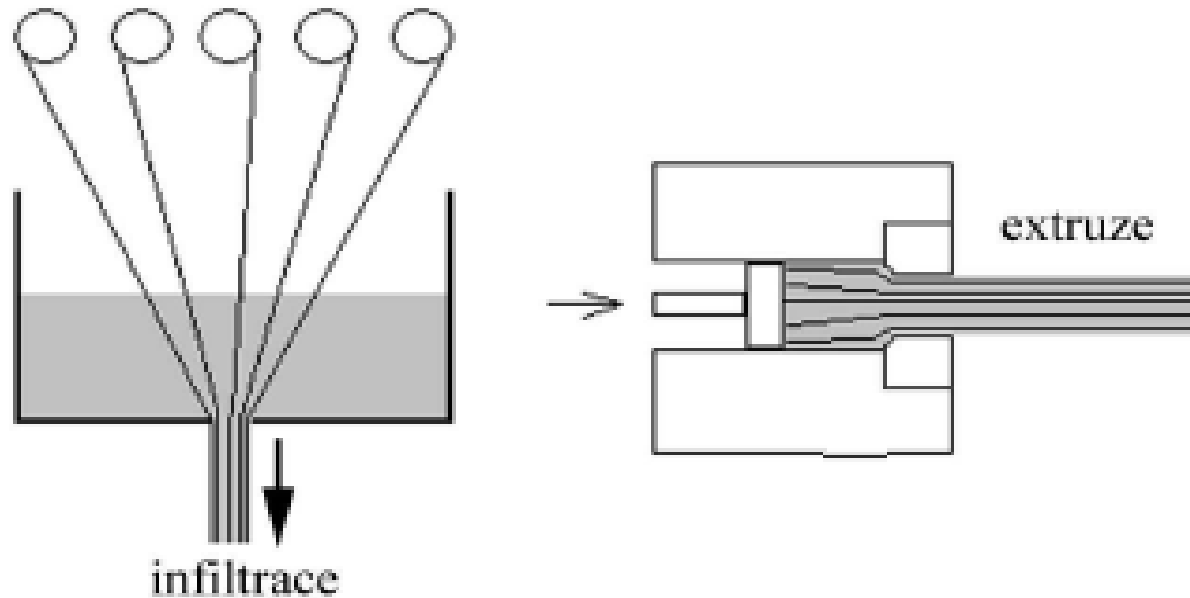
•Vinylesterové pryskyřice kombinují nejlepší charakteristiky polyesterových a epoxidových pryskyřic. Vinylestery mají dobrou odolnost v kyselém i alkalickém prostředí, zvláště ve vysokých teplotách. Skelným vláknem vyztužené vinylesterové profily mají dobrou elektrickou a tepelnou izolaci. Na epoxidech založené vinylesterové pryskyřice mají dobrou chemickou odolnost ve zvýšených teplotách. Maximální doporučená provozní teplota je 90-150 °C.

Výroba kompozitů z B/Al SiC/Al..

- Při infiltraci krátkých vláken roztavenou hliníkovou slitinou je nutno nejprve vyrobit tzv. preformu, což je porézní těleso tvořené z vzájemně zaklesnutých krátkých vláken. Tato preforma je následně infiltrována taveninou, k čemuž se obvykle používá zvýšeného tlaku.

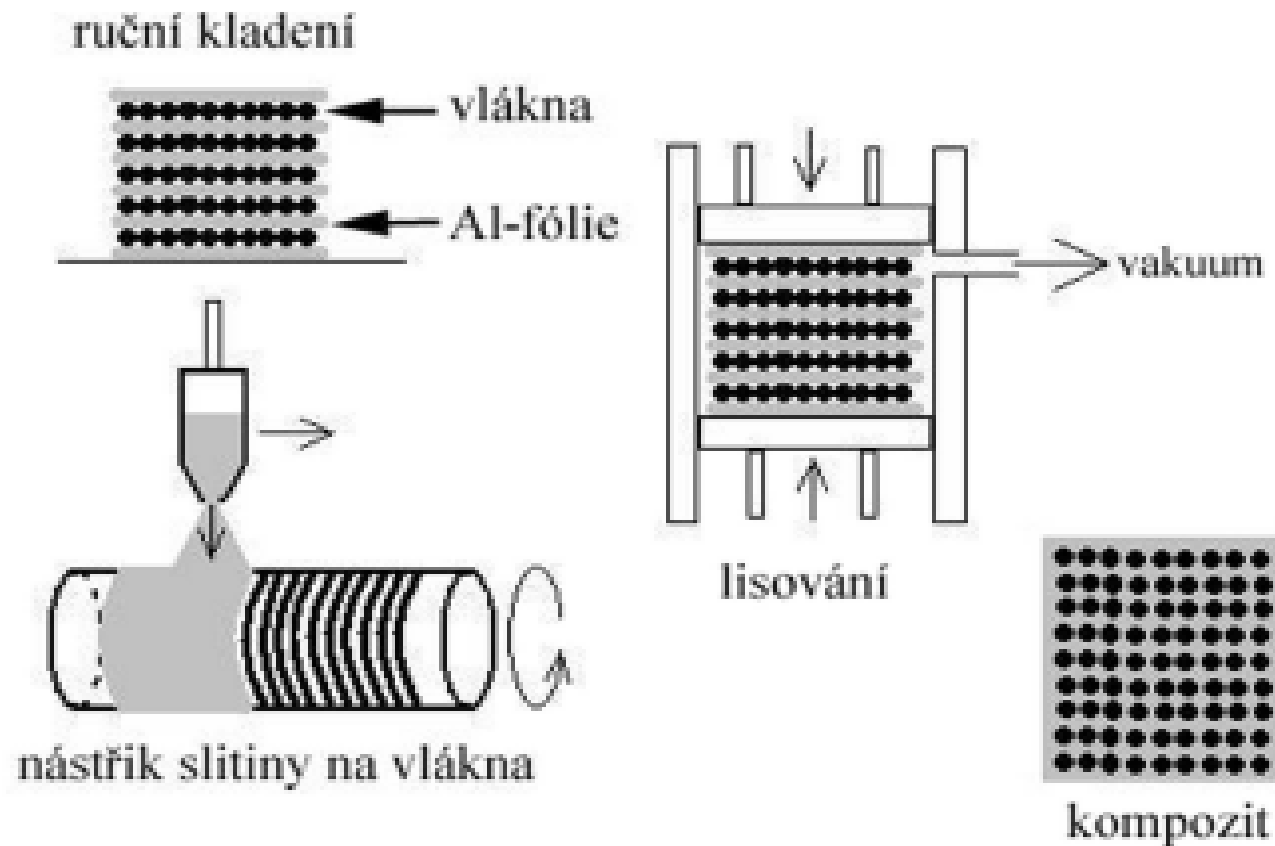


Výroba dlouhvláknových kompozitů



- Při infiltraci dlouhých vláken jsou vlákna protahována roztavenou slitinou, přičemž se na nich tvoří vrstva ztuhlé slitiny.
- Následuje zhutnění svazku vláken, což se provádí např. extruzí za tepla.

Metody difuzního spojování



- Technologie difuzního spojování probíhá za podmínek kdy složky jsou v tuhém stavu
- Výchozí materiál jsou střídavé vrstvy matrice s vlákny nebo vlákna obalená matricí
- K vlastnímu difuznímu spojení dochází za vysokých teplot v lisu

výroba kompozitů - PULTRUZE

Pultruze je kontinuální, automatizovaná metoda uzavřeného tváření. Tato metoda je efektivní pro větší objemy výroby produktů konstantního průřezu. Pultrudované profily standardních i zakázkových tvarů (tyče, pruty, nosníky, hrany, trubky a žlaby) již pronikly prakticky na všechny trhy.

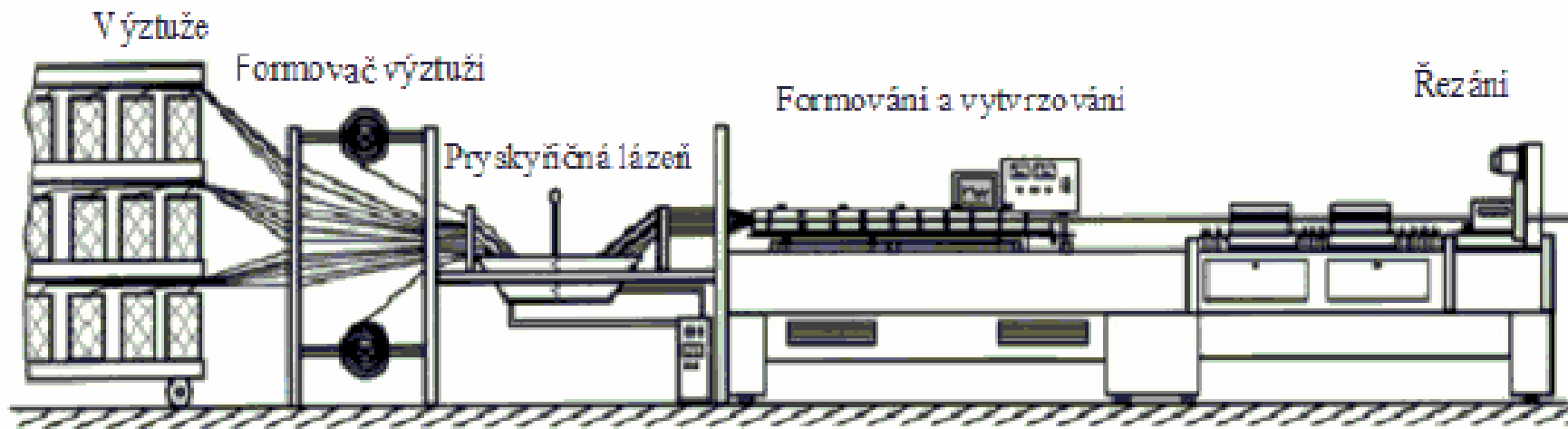
Výrobní proces se opírá o tažné zařízení, které vede vlákna a později vlákna a pryskyřici všemi částmi výrobní linky. Výrobní proces začíná výztuží. Vlákna výztuhy jsou vedena z cívečnic do lázně, kde dochází k impregnaci pryskyřicí. Přebytečná pryskyřice je odstraněna ještě před vstupem do formy. Ve vyhřívané ocelové formě je laminát vytvrzen a v okamžiku, kdy profil opouští formu je plně tvarovaný a vytvrzený. Před uchopením tažným zařízením musí profil dostatečně vychladnout. K řezání profilu na potřebnou délku se používají rezačky s diamantovým zakončením.

Jako alternativa pro impregnaci v otevřené lázni bylo vyvinuto zařízení pro vstřikování pryskyřice přímo do ústí formy. Tímto zařízením jsou eliminovány emise z otevřené lázně a také usnadňuje čistící proces. Také odpadá zařízení pro spojení laminátu před vstupem do formy.

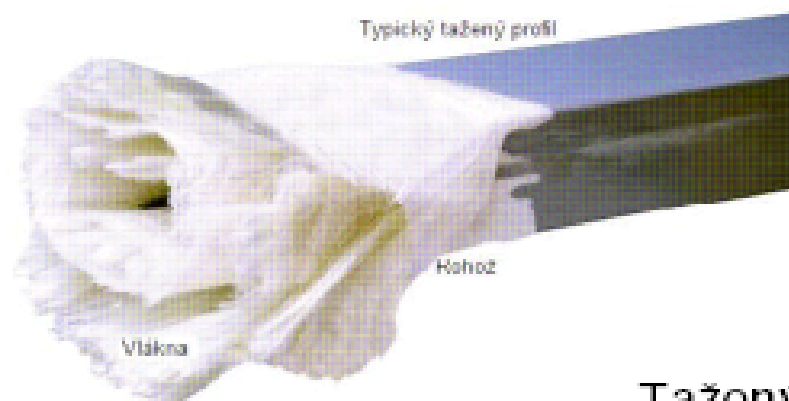
Určité procento výztuží musí tvořit roving (jednosměrná vlákna). Obsah výztuží v laminátu se liší: např. při kombinaci rohoží a rovingu je podíl rovingu cca 52%, přičemž celkový obsah skla v laminátu je 50% hmotnosti. Podíl skla v profilu pouze z rovingu může dosahovat až 75%.

výroba kompozitů - PULTRUZE

Při použití několikanásobných forem je možné táhnout určený počet profilů zároveň. Pro zformování dutých profilů, materiál obaluje vyhřívané jádro, které je vedeno vnitřní částí formy.



Pultruzní linka.



Tažený profil.

VYUŽITÍ VLÁKNOVÝCH KOMPOZITŮ

- Krátkovláknové kompozity se používají především pro injektované výlisky nebo pro extrudované plastové výrobky
- Dlouhovláknové kompozity se často používají u velkých konstrukcích jako jsou lodě, tlakové nádoby, křídla větrných turbín, konstrukční profily....



25/35

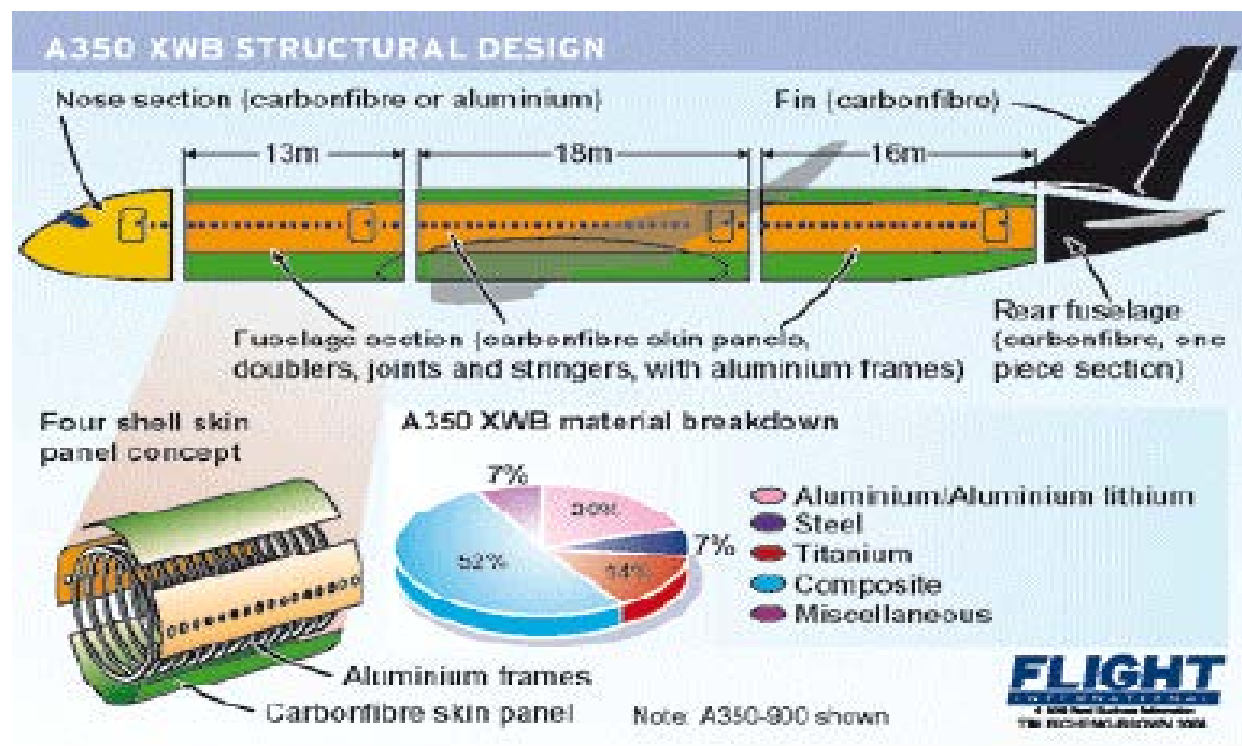


Dispergované kompozitní materiály

- Funkce konstituentů jsou schodné jako u vláknových kompozitů
- Tvar jednoho z konstituentu je jiný než specifický tvar vlákna – konstituenty mají většinou 3D strukturu
- Rozměry mohou být v řádech od několika nm (kompozitní tenké vrstvy -TiAlSiN) po desítky cm (kamenivo v betonu)
- Většina těchto kompozitů je vícesložková
- Kompozitní efekt je v relativně úzkém rozmezí koncentrace zastoupených komponent
- Dřevo, Beton.....připraveny přednášky

Sendviče

- Mezi kompozitní materiály lze v některých případech považovat i tzv voštiny, polykomponentní pěny a sendvičové vrstvy



Dopravní letadlo Airbus 350 XWB

http://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_A350

Voština

- Voština je speciálním druhem kompozitního materiálu složeného z jednoho pevného a jednoho plynného konstituentu.
- Princip zvýšené odolnosti spočívá ve struktuře voštiny uzavřené mezi 2 desky
- Materiál voštiny je složen z pravidelných n-úhelníků s vysokým štíhlostním poměrem
- Pevnost této struktury je dána stabilitou stěny voštiny



včelí plást

28/35

kartonová deska



Speciální druhy kompozitů

- Kompozity vyvinuté pro balistickou ochranu
- Přistoupeno k jejich používání po vyčerpání standardních možností obrany – dodatečná montáž – plánované použití
- Nekonvenční využití kombinace oceli, keramiky, plastu a výbušnin v sendvičové struktuře
- účinné proti municii s výtržným účinkem (HEP) a kumulativním střelám (HEAT)
- Problematické proti podkaliberním střelám (APDS – APDSFS)
- Na obrázku je pravděpodobně balistická ochrana čínského tanku typ 98



T72 M4/3

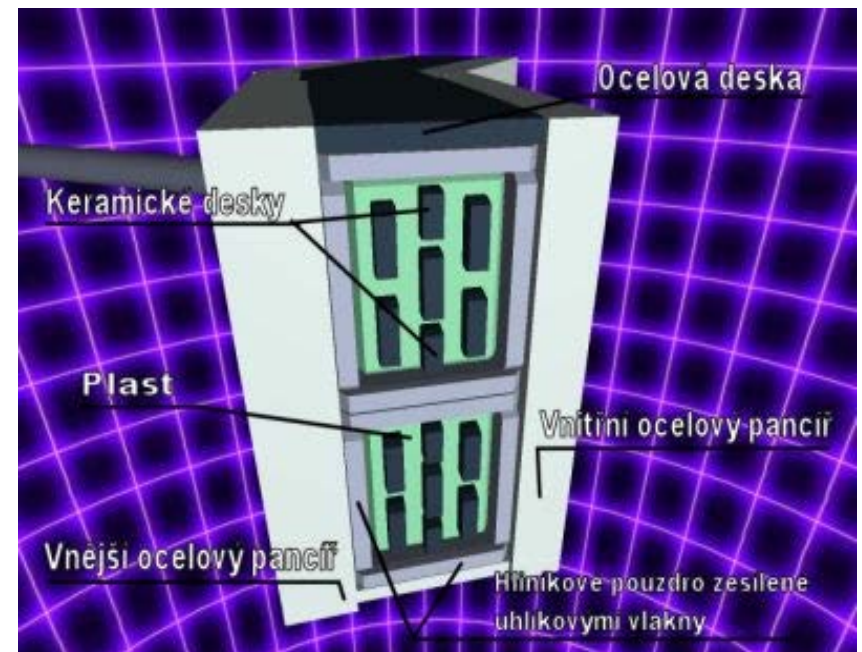
- Dodatečná montáž balistické ochrany ve formě dynamického pancíře (kostky na povrchu stroje)



- Dynamický pancíř jsou bloky plastické trhaviny, kovových desek a keramiky ve speciálních schránkách z tohoto důvodu lze celý tento komplet považovat za kompozit

M1A1 Abrams

- Kompozitní pancíř typu CHOBHAM tvořený sendvičovou strukturou oceli-plastu-keramiky-plastu-oceli
- O bližší vnitřní struktuře existují pouze kusé informace pravděpodobná rekonstrukce viz obrázek dole



Kompozity v energetice

- Použití kompozitních materiálů v energetice je vázáno na specifické vlastnosti
- Nejčastější se používají vláknité kompozity pro stavbu větrných elektráren – lopatky větrných kol
- V jaderné energetice se experimentuje s kompozitním materiálem určeným pro skladování vyhořelého paliva
- Experimenty s využitím tradičních kompozitních materiálů jako radiačních štítů je problematické z důvodu splnění podmínky dostatečné tloušťky materiálu pro odclonění účinků záření gama
- Materiály běžně používané jako radiační štíty, - beton jsou v tomto ohledu považovány za kompozitní materiál.
- Tyto materiály se modifikují nebo kombinují s látkami zachycujícími rychlé neutrony (polyethylen) nebo gama záření (olovo, ochuzený uran)

„Životní cyklus“ kompozitu

- Vytvořitelnost
- Testovatelnost
- Inspekce – kontroly
- Likvidovatelnost

Otázky ke zkoušce

- Co je podstatou kompozitního efektu?
- Výrobní postupy kompozitních materiálů?
- Druhy kompozitních struktur – výplně?
- Využití kompozitních materiálů

použité zdroje

- <http://www.koral.biz/mp.do?id=119&sKey2=AABAAB>
- <http://www.volny.cz/zkorinek/>
- <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kompozit>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/T72>
- http://en.wikipedia.org/wiki/M1_Abrams
- http://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_A350