

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Technická fakulta



**Bakalářská práce**

**2013**

**Jakub Červenec**

Česká zemědělská univerzita v Praze  
Technická fakulta  
Katedra materiálu a strojírenské technologie

# **Kompozitní materiály ve stavbě automobilů**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Müller Miroslav, Ph.D.  
Vypracoval: Jakub Červenec

Praha 2013

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

# **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Červenec Jakub

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Kompozitní materiály ve stavbě automobilů**

Anglický název

**Composite materials in automobile construction**

---

## **Cíle práce**

Shromáždit literární podklady o problematice kompozitních materiálů a jejich možnostech ve stavbě automobilů.

## **Metodika**

Současný stav řešeného problému (literární rešerše).  
Závěry a přínos práce.

## **Osnova práce**

1. Úvod.
2. Cíl práce a metodika.
3. Materiálové aspekty kompozitních materiálů.
4. Možnosti kompozitních materiálů ve stavbě automobilů.
5. Závěr.
6. Seznam literatury.

### Rozsah textové části

cca 30 stran

### Klíčová slova

automobil, kompozit, konstrukce, materiál

### Doporučené zdroje informací

AGARWAL, B. D., BROUTMAN, L. J.: Vláknové kompozity. 1. vydání. Praha: SNTL, 1987. 296 s.  
ASTRÖM, B. T.: Manufacturing of Polymer Composites. London: Chapman & Hall, 1997. 469 s.  
BAREŠ, R. A.: Kompozitní materiály. 1. vydání. Praha: SNTL, 1988. 328 s.  
JANČÁR, J.: Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. 1. vydání. Brno: VUT – Brno, 2003. 194 s.  
LAŠ, V.: Mechanika kompozitních materiálů. 1. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004. 156 s.  
LENERT, J.: Mechanika kompozitních materiálů. Vysoká škola báňská, Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2002, 80 s.  
MACHEK, V., SODOMKA, J.: Polymery a kompozity s polymerní matricí. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. 86 s.  
MÍŠEK, B.: Kompozity. 1. vydání. Brno: Technický dozorčí spolek Brno, 2003. 81 s.

Časopis: International Journal of Adhesion and Adhesives, Composite structures, Research in Agricultural Engineering, International Journal of Solids and Structures, Journal of Materials Processing Technology, Surface and Coating Technology, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Strojírenská technologie, The journal of adhesion, Journal of material science, The Journal of Physical Chemistry, International Journal of Fatigue, Journal of materials processing technology, Polymer Degradation and Stability, Manufacturing technology

### Vedoucí práce

Müller Miroslav, doc. Ing., Ph.D.

### Termín zadání

listopad 2011

### Termín odevzdání

duben 2013



prof. Ing. Milan Brožek, CSc.  
Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.  
Děkan fakulty

V Praze dne 10.2.2012

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslava Müllera, Ph.D. a použil jen uvedených pramenů a literatury.

Souhlasím, aby moje práce byla k dispozici ČZU v Praze.

V Praze, dne .....

.....

vlastnoruční podpis

## Poděkování

Úvodem mé práce bych chtěl poděkovat všem, jenž mi při tvorbě této práce pomohli, zejména pak panu doc. Ing. Miroslavovi Müllerovi, Ph. D. za cenné náměty a připomínky. Dále pak mé rodině za morální a časovou podporu ve studiu.

**Anotace:** Cílem této práce je seznámení kompozitních materiálů ve stavbě automobilů, které se stále více využívají v automobilovém průmyslu. V prvních kapitolách je obeznámení historického přehledu podle vývoje materiálu, vysvětlení definičních pojmů, základní rozdělení fází matric a vláken, a nakonec vybrané metody technologické výroby. Hlavní náplní této práce je použitelnost a všeobecné využití kompozitů v sériově vyráběných automobilech. Poslední částí této práce je seznámení komponentů v konstrukci automobilu a detailní popis kompozitních materiálů v karoserii, podvozku a poháněcí soustavě.

**Klíčová slova:** automobil, kompozit, konstrukce, materiál

## **Composite materials in the construction of automobiles**

**Abstract:** The aim of this work is the introduction to the composite materials in building cars that are increasingly used in the automotive industry. In the first chapters there is historical overview of the evolution of material explanation of definition of terms, basic phase separation matrices and fibers, and finally selected technological production methods. The main concern of this work is usability and the general use of composites in mass-produced cars, these are cars, trucks, racing cars and buses. The last part of this paper is to introduce the components in the construction of the automobile and a detailed description of composite materials in the body, chassis and drive system.

**Key words:** car, composite, construction, material

# OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce a metodika .....</b>	<b>2</b>
2.1	Cíl práce .....	2
2.2	Metodika .....	2
<b>3</b>	<b>Materiálové aspekty kompozitních materiálů .....</b>	<b>3</b>
3.1	Historický přehled – Vývoj kompozitních materiálů .....	3
3.2	Definice kompozitních materiálů .....	4
3.3	Základní komponenty (fáze) kompozitů .....	5
3.3.1	Matrice .....	6
3.3.3.1	Kovové matrice .....	7
3.3.3.2	Keramické a skleněné matrice .....	7
3.3.4	Vlákna .....	8
3.3.4.1	Amorfní vlákna .....	8
3.3.4.2	Monokrystalická vlákna (Whiskery) .....	8
3.3.4.3	Polykrystalická vlákna .....	9
3.3.4.4	Uhlíková vlákna .....	9
3.3.4.5	Kovová vlákna .....	9
3.3.4.6	Binární vlákna .....	9
3.3.4.7	Přírodní vlákna .....	10
3.3.4.8	Syntetická vlákna .....	10
3.4	Technologie výroby kompozitů .....	11
3.4.1	Ruční kladení .....	13
3.4.2	Stříkání .....	13
3.4.3	Lisování za studena .....	14
3.4.4	Lisování pomocí vakua .....	14
3.4.5	Lisování v autoklávu .....	14
3.4.6	Lisování za tepla a tlaku .....	15
3.4.7	Vysokotlaké vstřikování (RTM – resin transfer moulding) .....	16
3.4.8	Vakuové prosycování .....	16
3.4.9	Tažení (pultruze) .....	17
3.4.10	Navíjení .....	18
3.4.11	Odstředivé lití .....	19
<b>4</b>	<b>Možnosti kompozitních materiálů ve stavbě automobilů .....</b>	<b>20</b>
4.1	Vývoj použití kompozitních materiálů ve stavbě automobilů .....	21
4.2	Všeobecné využití kompozitů v sériově vyráběných automobilech .....	23
4.2.1	Osobní automobily .....	23
4.2.2	Nákladní automobily .....	24
4.2.3	Autobusy .....	24
4.2.4	Závodní automobily (Formule 1) .....	25
4.3	Stavba automobilů .....	26
4.3.1	Karoserie .....	26
4.3.2	Podvozek .....	28
4.3.4	Poháněcí soustava .....	30
<b>5</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>Seznam literatury .....</b>	<b>32</b>
<b>7</b>	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>34</b>



# 1 Úvod

Automobilový průmysl se stále vyvíjí, každým rokem můžeme vidět nové typy modelů automobilek např. Škoda Octavia Combi , BMW X5, Mercedes S 2013 a dalších.

Jejich zlepšování a konkurenceschopnost je dána zlepšováním podmínek v konstrukci i mimo ně. Hlavní problematikou podniků je životnost, bezpečnost a funkce automobilu. V poslední době pozorujeme, že zákazníci se snaží nakupovat ty vozidla, které mají co nejmenší poruchovost a nízkou cenu. Design, jednoduchost funkcí, pohodlnost a hlavně bezpečnost jsou hlavními body, které upřednostňují požadavky zákazníka. Proto je nutné pro automobilové společnosti analyzovat nové trendy v technologii, jaké novinky na trhu jsou a jak je využít pro svůj prospěch. Materiály se stále vyvíjí a jejich vlastnosti se mění, poznáváme lepší a odolnější materiál, který má např. dobrou pevnost, ale na druhou stranu je při vysokých teplotách méně odolný. Návrháři a konstruktéři mají za úkol vybrat správnou látku, aby umožňovala mít ty nejlepší parametry na daný komponent.

Kompozity jsou jedním z druhů materiálu, které můžeme použít ve stavbě automobilů. Problematika kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu je velice rozšířená a probíraná v několika odvětvích. Kompozity a technologie představují revoluční transformaci v oblasti konstrukčních materiálů. Jejich hranice, které byly při použití osvědčených konstrukčních materiálů a technologií jsou prozatím nepřemožitelné. V posledních letech se tyto materiály a technologie, které byly původně určeny pouze pro strategické využití - kosmonautika a vojenský průmysl, začínají více projevovat v automobilovém průmyslu. Kompozitní materiály nalézají uplatnění všude tam, kde jejich výjimečné fyzikálně-mechanické vlastnosti vyvažují poměrně vysoké pořizovací náklady. Při přetrvávající ekonomické krizi se snaží společnosti, co nejúspěšněji využívat materiály, které mají vysokou nákladnost.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem práce je seznámení kompozitních materiálů a předvedení základních komponentů pro výrobu technologií složitých materiálů. Nejdůležitějším cílem bakalářské práce jsou možnosti a analýzy kompozitů ve stavbě automobilu.

### **2.2 Metodika**

Práce je syntézou materiálových aspektů a možnostech kompozitních materiálů ve stavbě automobilů. První část je kompilací informací a poznatků zjištěných prostudované použité literatury. Literární rešerše se zabývá poznatky, které jsou důležité pro porozumění druhé části.

Hlavně se jedná o excerpci z vědeckých a odborných časopisů, týkající se kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu. Z vybraných poznatků je v rešerši struktura výskytu materiálů přepracovaná v programu MS Excel.

Poslední částí je analýzou kompozitních materiálů zakomponovaných v částech vozidel.

## **3 Materiálové aspekty kompozitních materiálů**

### **3.1 Historický přehled – Vývoj kompozitních materiálů**

Z historického hlediska je koncepce vyztužených vláken velmi stará. Již v antickém Egyptě byly známy slámou vyztužené hliněné cihly. V 19. století byly běžně užívány ocelové tyče k vyztužení zdiva, což vedlo ke vzniku předepjatého betonu. Na začátku dvacátého století se začaly používat fenolové pryskyřice vyztužené azbestovými vlákny. První laminátový člun byl vyroben v roce 1942. Vyztužené plasty byly v této době již také používány v letectví a v elektronice. [1]

Metoda vinutých vláken byla vyvinuta kolem roku 1946 a do raketové techniky uvedena v roce 1950. První vlákna z vysokopevnostního uhlíku a boru byla do průmyslu zavedena kolem roku 1960. Tato vlákna byla aplikována v leteckém průmyslu v roce 1968. Kompozity s kovovými matricemi (například bor, hliník) byly do praxe zavedeny v roce 1970. V roce 1970 začíná expanze kompozitních materiálů v letectví, v automobilovém průmyslu, v průmyslu sportovního zboží a v průmyslu biolékařském. V Osmdesátých letech dvacátého století vysoký trend využívání kompozitních materiálů pokračuje. V současné době je kladen důraz na vývoj nových kompozitů s kovovými a keramickými matricemi, dále na vývoj kompozitů typu uhlíková vlákna/uhlíková matrice pro využití za vyšších teplot. [1]

Ve srovnání s monolitickými materiály je nutno u kompozitních materiálů vyzvednout vysokou pevnost a tuhost, vhodné únavové vlastnosti, nízkou hmotnost, konečnou adaptibilitu k zamyšleným funkcím konstrukce. [1]

Rovněž však je nutno zdůraznit některá omezení kompozitních materiálů. Jedná se hlavně o stanovení mechanických charakteristik kompozitních materiálů (nutno znát někdy i více než 10 materiálových parametrů), což vyžaduje rozsáhlá měření. Rovněž je velice komplikované projektování a optimalizace konstrukcí vytvářených z kompozitů. Jedná se také o technologické zpracování těchto materiálů, které navíc vyžaduje značně přísnější kontrolní mechanismy. [1]

## 3.2 Definice kompozitních materiálů

Kompozitní materiál si představujeme složený ze dvou či více odlišných částí. Tento materiál má dvě nebo více odlišných složek. Rozdílnost těchto složek a zároveň rozdílnost jejich mechanických vlastností je třeba chápat z hlediska makrostruktury, neboť kdybychom se většinu materiálů podívali z hlediska mikrostruktury, byly by rovněž kompozity. [2]

Vlastnosti kompozitů jsou dány vlastnostmi svých materiálových složek, jejich objemovým podílem a geometrií vyztužení vzhledem k systému. Proto je vhodné provést rozdělení kompozitů viz. obr. 1. na základě geometrie složky vyztužení. Je zřejmé, že základní odlišnost je na vláknové a částicové kompozity. [2]

Vláknové kompozity jsou, vyztuženy vlákny, která mají délkové rozměry podstatně větší než průřezové. [2]

Částicové kompozity jsou plněny částicemi, které jsou definovány jako nevláknový útvar, který nemá dlouhý rozměr. Mohou být ve tvaru koule, krychle, kvádrů, popř. jiného tvaru. Částice se mohou rovněž podílet na přenosu namáhání, ale v mnohem menším měřítku než vlákna. Hlavní význam částic je zlepšení mechanických vlastností materiálu, např. úprava elektrické a tepelné vodivosti, zvýšení odolnosti proti opotřebení, snížení koeficientu tření, apod. Částice mohou mít v matici náhodnou orientaci, nebo přednostní orientaci z důvodu dosažení požadovaných mechanických vlastností. [2]

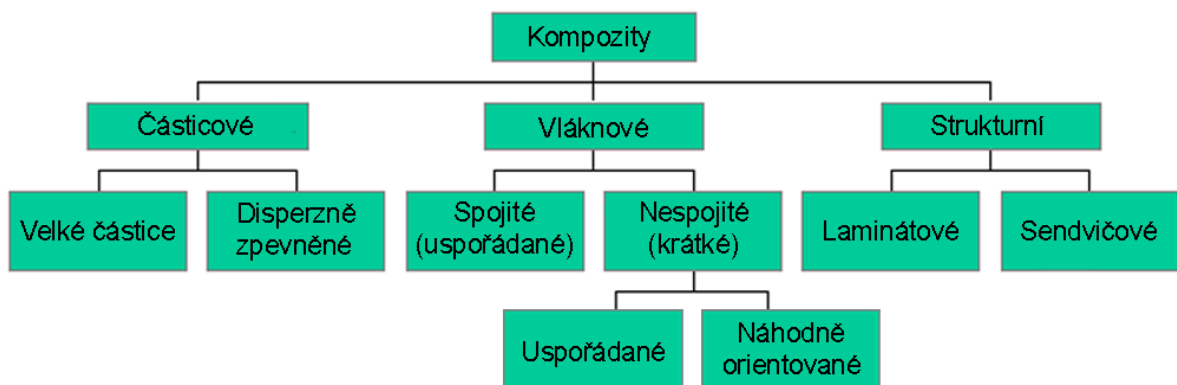
Vláknové kompozity lze rozdělit na jednovrstvé a vícevrstvé. Jednovrstvé kompozity jsou buď tvořeny jednou vrstvou nebo jsou složeny z několika samostatných vrstev, z nichž každá vrstva má stejnou orientaci a stejné vlastnosti, Jednovrstvé kompozity lze dále rozdělit dle délky vlákna na dlouhovláknové a krátkovláknové. [2]

U dlouhovláknových jednovrstvých kompozitů mohou být vlákna uspořádána v jednom směru (jednosměrně orientovaná vlákna) a tím je vytvořen tzv. jednosměrový kompozit – lamina. Tyto kompozity mají vysokou pevnost ve směru vláken, ale velmi nízkou pevnost ve směru kolmém na vlákna, což je dáno vlastnostmi matrice. Aby se dosáhlo vyrovnanějších vlastností kompozitu, provádí se vyztužení i v druhém směru. Kompozit s dvousměrně orientovanými vlákny je tvořen např. tkaninou (rohoží), která obsahuje vzájemně kolmá vlákna v jedné vrstvě a pryskyřici (matrici). U krátkovláknových kompozitů jsou krátká vlákna (někdy označovaná jako sekaná vlákna) orientovaná nahodile nebo v určitém směru. Ve většině případů jsou orientovaná nahodile a bývají často vstříkována do formy zároveň s tekutou pryskyřicí. [2]

V praxi se nejčastěji používají vícevrstvé kompozity, které se skládají z několika tenkých různě orientovaných jednosměnových vláknových kompozitů – lamin. Jsou-li materiály v každé vrstvě stejné, například skelná vlákna v epoxidové pryskyřici, nazývá se tento kompozit laminát. V případě, že jsou vrstvy vyrobeny z různých materiálů, například jedna vrstva je vyztužena skelnými vlákny a druhá uhlíkovými, hovoříme o tzv. hybridních laminátech. [2]

Významnou vlastností vláknových kompozitů je jejich poměr vysoké pevnosti a tuhosti k hmotnosti. Další předností těchto materiálů je možnost vyrobit materiál požadovaných mechanických vlastností v daných směrech. [2]

Obr. 1 Základní rozdělení kompozitů



Zdroj: [chel.lf1.cuni.cz/html/Kompozity%202009%20cesky.pdf](http://chel.lf1.cuni.cz/html/Kompozity%202009%20cesky.pdf)

### 3.3 Základní komponenty (fáze) kompozitů

Kompozitní soustava je tvořena maticí, tj. fází spojitá, která je armována vyztuží, jež je obvykle fází nespojitou. [3]

Matrice a jejich druhy:

- Kovové matrice
- Polymerní matrice
- Keramické a skleněné matrice

Výztuže a jejich druhy:

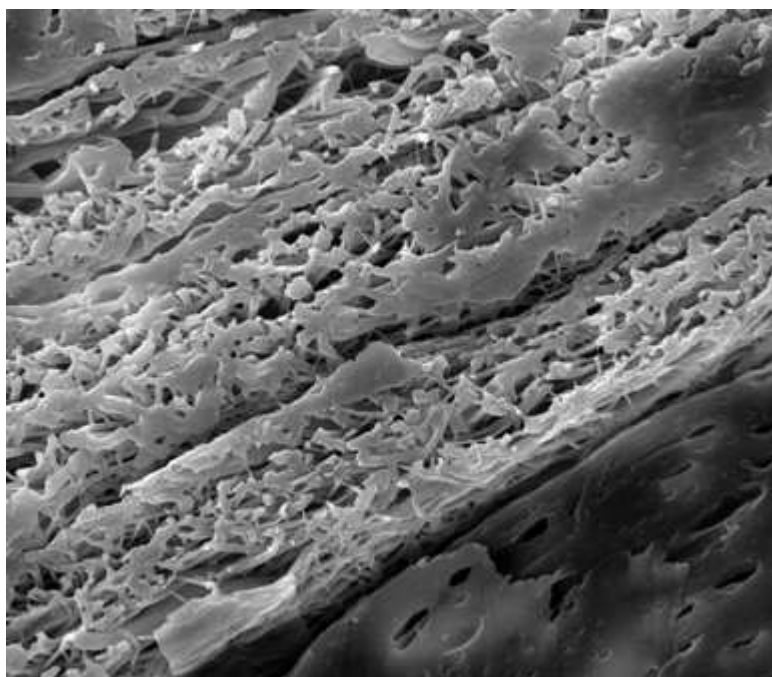
- Amorfnní vlákna
- Polykrystalická vlákna
- Monokrystalická vlákna
- Binární vlákna
- Polymerní vlákna
- Syntetická vlákna

### 3.3.1 Matrice

Základní funkcí matrice je přenos vnějšího zatížení na vyztužující fázi. Je požadována dobrá soudržnost matrice s materiálem vyztužující fáze (dokonalá snášivost bez chemické reakce na mezifázovém povrchu matrice a výztuže) a často také její nízká hmotnost. V porovnání s vyztužující fází má zpravidla nižší pevnostní vlastnosti a větší plasticitu. Spojuje jednotlivé částice výztuže, chrání je před vnějšími vlivy a brání rozvoji křehkého porušení. [3]

Kompozitní materiály je možné do konečné kompozitní struktury kombinovat ze všech materiálových skupin – kovů, polymerů, keramiky, eventuelně jiných anorganických materiálů, viz. obr.2. [3]

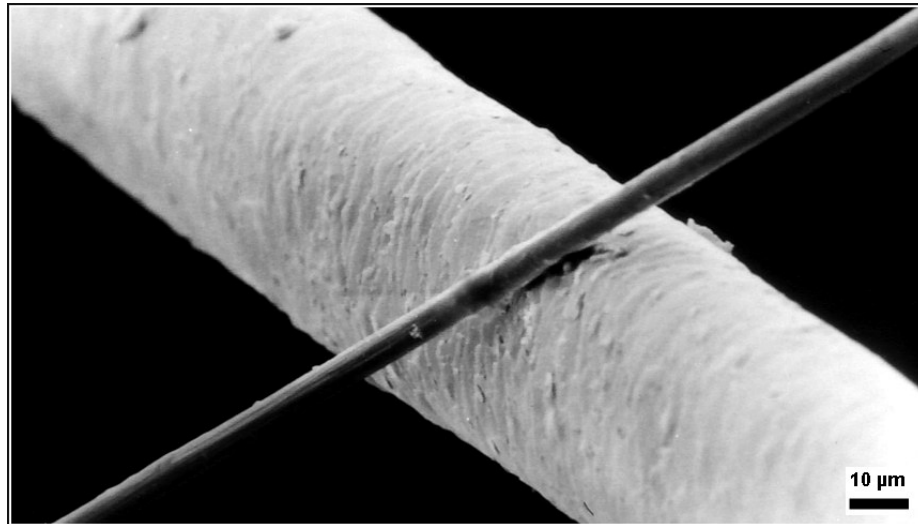
*Obr. 2 Příčný řez kompozitem na bázi polymerních nanovláken*



Zdroj: <http://www.mmspektrum.com/clanek/biokompatibilni-materialy.html>

Mezní poměrné prodloužení matrice při tahovém namáhání by mělo být větší než mezní prodloužení výztuže, aby plnila funkci pojiva ještě i při počínajícím porušování výztuže. Tento požadavek splňují pouze matrice kovové a polymerní. Keramické matrice mezní prodloužení při přetržení menší než výztuž. Chování jednotlivých matric v závislosti napětí ( $\sigma$ ) – poměrné prodloužení ( $\epsilon$ ) v porovnání s chováním výztuže (uhlíkové vlákno), viz. obr.3. [3]

*Obr. 3 Uhlíkové vlákno ve zvětšeném měřítku*



Zdroj: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/71/Cfaser\\_haarrp.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/71/Cfaser_haarrp.jpg)

Má-li být výrobou dosaženo kompozitu vyšších mechanických parametrů než má výchozí matriční složka, pak se musí jednak volit pevnější vyztužující fáze (vlákno) a jednak musí být zabezpečena dobrá adhezní vazba mezi výztuží a maticí. [3]

### **3.3.3.1 Kovové matrice**

Kovové matrice splňují podmínky dobré elektrické vodivosti, tepelné vodivosti, smykovou pevnost a tvárnost (zpomalující mechanismus rozvoje trhlin), odolnost proti opotřebení, vyšší tepelnou odolnost, možnost povlakování a spojování. Nejrozšířenější z kovových matic je hliník, hořčík, titan a jejich slitiny a některé slitiny na bázi niklu. [3]

### **3.3.3.2 Keramické a skleněné matrice**

Keramika je anorganický nekovový materiál s heterogenní strukturou, tvořenou krystalickými látkami o různém složení a uspořádání. [3]

Keramické materiály mají obvykle dobrou chemickou odolnost, malou tepelnou vodivost, vysokou teplotu tání, vysokou tvrdost a pevnost v tlaku a odolnost vůči creepu za vysokých teplot. Elektricky jsou nevodivé. Hlavní nevýhodou je jejich značná křehkost, nesnadná obrobitelnost a velká citlivost na vnitřní defekty. Jsou vhodné pro využití při vysokých teplotách. [3]

Sklo je amorfni látka, jež vznikla ztuhnutím taveniny bez krystalizace. Vlastnosti skla jsou velmi blízké keramice. [3]

### **3.3.4 Vlákna**

Pro vlákna je charakteristické, že jejich pevnost v tahu ve směru osy vlákna je výrazně vyšší než je pevnost stejného kompaktního materiálu. Vyztužovací vlákna v kompozitu mohou být vzhledem ke svým průřezům dlouhá (dlouhovlákonové kompozity) nebo krátká (krátkovláknové kompozity). Nejcennější jsou vlákna s velkým poměrem povrchu k jejich objemu. [4]

Pro pevnost kompozitu mají největší důležitost defekty vláken, které snižují jeho pevnost. Pevnost vláken roste se zmenšujícím se průřezem, protože se zmenšují přirozené defekty. Většina vyráběných vláken má kruhový průřez od 5 do 20  $\mu\text{m}$ . Vlákna mají proto v porovnání s kompaktním materiálem mnohem větší pevnost ve směru délky, protože nečistoty jsou ve struktuře vlákna minimalizovány v důsledku jeho malého průřezu. [4]

#### **3.3.4.1 Amorfni vlákna**

Většina amorfni látek se vyrábí rychlým tažením z taveniny vytékající z platinových trysek o průměru cca 1mm. Dloužením (rychlým tažením taveniny rychlostí až  $400\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ) se průměr vláken zmenší na 3,5 až  $20\mu\text{m}$  asi za  $10^{-5}\text{s}$ . Důležitý vliv na zvláknování má viskozita a rychlost změny viskozity s teplotou. Obojí pak závisí na chemickém složení. Stejně důležitá je i teplota počátku tuhnutí. [4]

#### **3.3.4.2 Monokrystalická vlákna (Whiskery)**

Monokrystalická vlákna neboli Whiskery jsou vláknité kovové monokrystaly o příčném rozměru až 0,1 mm a délky až 100mm, jejichž vlastnosti mnohonásobně převyšují vlastnosti jejich forem tuhých látek. Pevnost v tahu mají až 14GPa. Vlákna nejsou kruhová, ale mají



šestiúhelníkový, čtvercový nebo rovnoběžníkový průřez, povrch bez trhlinek a rovněž vnitřní struktura je téměř bez poruch. Čím jsou tenčí, tím mají méně vad. [4]

Vzhledem k malému příčnému průřezu jsou vlákna ohebná, takže při mechanickém míšení s matricí se nelámou. [4]

#### **3.3.4.3 Polykrystalická vlákna**

Polykrystalická vlákna jsou vyráběna z  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ , uhlíku (grafitu), BN nebo  $\text{B}_4\text{C}$ . Mají odolnost proti vysokým teplotám (800 až  $2500^\circ\text{C}$ ), vysoký elektrický odpor při vysoké teplotní vodivosti a oxidační stabilitu do  $820^\circ\text{C}$ . [4]

#### **3.3.4.4 Uhlíková vlákna**

Uhlík může existovat ve třech formách. Diamantové, grafitové a amorfnní (skelné). Avšak pouze krystalické formy mají vysoký modul pružnosti. Amorfnní uhlíková vlákna mají nízký modul pružnosti (70GPa) i když mez pevnosti může být vysoká (2 GPa). [4]

Uhlíková vlákna nemohou být vyráběna stejným způsobem jako vlákna kovová, skelná, křemenná nebo vlákna plastová vzhledem k tomu, že uhlík netaje, není tažný a je dokonale odolný proti rozpouštědlům. Všechny uhlíkové materiály jsou získávány pyrolýzou organických sloučenin s výjimkou grafu vyskytujícího se v přírodním stavu. [4]

#### **3.3.4.5 Kovová vlákna**

Kovová vlákna (kromě whiskerů a binárních vláken) vyztužují polymerní, keramické i kovové matrice. Vyrábějí se z W, Mo, oceli, Be, Al, slitin Ti atd. Vývoj je směřován zejména do výroby kovových skel (amorfnní vlákna), které představují zcela novou třídu materiálů. Kovová vlákna se vyrábějí o průměru desítek  $\mu\text{m}$ . S výjimkou ocelových a hliníkových vláken jsou ceny ostatních poměrně vysoké. Kovokeramická vlákna lze vyrobít i z různých kovových oxidů jako jsou Al-B-Si, Al-Cr-Si, Zr-Si. [4]

#### **3.3.4.6 Binární vlákna**

Binární vlákna jsou vlákna skládající se ze dvou různých materiálů: ze základního vlákna a z obalu odlišným materiálem. Jedním z prvních binárních vláken byla wolframová vlákna potažená bórem, který samotný je sice pevný, ale křehký, a proto nevhodný pro tažení do jemných vláken. Takováto vlákna jsou extrémně pevná a tuhá vhodná až do teploty  $400^\circ\text{C}$ . Pro vyšší teploty (až do  $700^\circ\text{C}$ ) je nutné povléknout vlákna vhodnou povrchovou vrstvou

chránící vlákna před oxidací, což se provádí povlakem SiC, BN nebo B<sub>2</sub>C o tloušťce vrstvy 1 až 4 mm. Tyto povlaky mají ještě další funkci-ochranu proti chemické reakci s kovovými matricemi (Al,Ti). Dalším druhem binárních vláken jsou vlákna na kovovém nosiči (Fe,Ni) povlakovaná uhlíkem (PAN). [4]

#### **3.3.4.7 Přírodní vlákna**

Mnoho přírodních vláken má výhodné vlastnosti. Jejich nevýhodou je velká citlivost na vodu, vyšší teplotu a biologickou korozi. [4]

#### **3.3.4.8 Syntetická vlákna**

Syntetická vlákna se vyrábějí ve formě nekonečného vlákna a ve formě stříže, přičemž poměr obou forem je u různých druhů chemických vláken různý.

Z Chemických vláken mají největší význam celulosová (viskózová), polyesterová, polyamidová, polyakrylonitrilová (PAN) a polypropylenová vlákna. Produkce chemických vláken sestává asi z poloviny z nekonečných vláken a z poloviny ze stříže (vlákna rozstříhaná na délku 30 až 180 mm). [4]

Pevnost v tahu závisí u vláken i na jejich délce. U polymerních materiálů je příčinou vysoké pevnosti a tuhosti molekulární struktura. Pro největší část kompozitů se používá na výztuž vláken skleněných, uhlíkových, bórových, keramických, kovových, aramidových nebo jejich kombinací (hybridní lamináty). Lamináty složené z epoxidové matrice a skleněných vláken mají velmi dobrou houževnatost a trvanlivost, mechanickou pevnost a nízké polymerační smrštění. Přitom vytvářejí výborné adhezivní spojení vláken s matricí.

Nejpoužívanějšími vysokomodulovými vlákny jsou vlákna uhlíková, aramidová a bórová. Někdy se z cenových důvodů využívají i přírodní vlákna (juta, sisál) v kombinaci se skleněnými vlákny. Z těchto vláken vynikají především vlákna o průměru 12 $\mu$ m z vysoce orientovaného aromatického polyamidu (PPT), který se nazývá Kevlar. Pracovní diagram tahové zkoušky Kevlaru je téměř lineární až do porušení. [4]

### 3.4 Technologie výroby kompozitů

Jak vyplývá již z charakteru jednotlivých složek a základního rozdělení plastů, vzniká (až na výjimky) vláknový kompozit – laminát teprve při výrobě polotovaru resp. výrobku. [6] Vzhledem k tomu je třeba posuzovat technologický postup při výrobě vyztužených plastů za velmi podstatný faktor, který v zásadě určuje jak jeho konečné vlastnosti, tak i ekonomiku výroby. [5]

Proto je třeba věnovat volbě technologie značnou pozornost. [5]

Výrobní technologie je dána především charakterem výrobku a její volba se řídí několika zásadními faktory:

- sériovost dílce
- velikost a členitost výrobku
- kvalita povrchu
- požadované vlastnosti, zejména pevnost a hmotnost
- limit nákladů

Obvykle je třeba volit určitý kompromis, aby bylo možno alespoň do jisté míry vyhovět všem požadavkům nebo se těm, které jsou nejdůležitější, co nejvíce přiblížit. [5]

Sériovost je jedním ze základních faktorů ovlivňující volbu zpracování. Je zřejmé, že dílce v malých sériích není možno vyrábět strojními technologiemi, naopak velké série není ekonomické vyrábět ručním kladením. [5]

#### Požadavky na finální vlastnosti

Většina mechanických vlastností závisí na obsahu a orientaci výztuže v kompozitu a i na typu použité pryskyřice. Tyto faktory jsou značně závislé na použité technologii. [5]

#### Výroba modelů a forem

Při ručním kladení, stříkání a injekčních metodách je prvním krokem návrh a příprava modelu. [5]

Jako materiál slouží dřevo a překližka, modelářské hlíny, tuhé pěny a tmely, případně pro povrchové vyztužení také tenčí laminát. Po dokonalém zpracování tvaru je nutno model tepelně stabilizovat na teplotu, které bude model při výrobě formy vystaven, povrchově upravit např. polyuretanovými laky nebo polyesterovým topcoatem, speciálními tmely

vytvořit dělicí a ořezové roviny, v případě vícedílných forem dělicí roviny opatřit čepy nebo průchodkami pro přesné usazení forem a v případě potřeby osadit ořezové plochy kováním chránícím vůči opotřebení a důkladně naseparovat. [5]

Volba materiálu pro vlastní formu je dána hlavně seriovostí a také typem technologie. [5]

Pro prototypy, které se téměř vždy vyrobí ručním kladením, se užívá speciální sádra, dřevo, pěny, tmely (v e-shopu je k dispozici spousta různých tmelů včetně velmi kvalitních epoxidových). [5]

Výrobní formy pro ruční a injektážní technologie se zhotovují většinou z laminátu případně v kombinaci s pěny nebo balzou a dalšími sendvičovými materiály, pro injektážní technologie z polymerbetonu nebo kovové. Kovové jsou formy pro lisovací technologie, navíjení, tažení a odstředivé lití. [5]

Pro výrobu nenáročných a levnějších laminátových forem jsou nejčastěji používanými materiály skleněné rohože a polyesterové pryskyřice. [5]

Prvním, velmi důležitým krokem, je aplikace formového gelcoatu na naseparovaný model. Na kvalitě povrchu modelu, výběru a pečlivé aplikaci formového gelcoatu závisí kvalita povrchu formy a její životnost. [5]

Aby se snížilo vnitřní pnutí a smrštění a tedy i změna rozměrů formy je třeba při stavbě konstrukční části formy postupovat po dílčích krocích, nejprve na vytvrzený formový gelcoat klást jednu, nejvýš dvě vrstvy kvalitní rohože o gramáži 225-450 g/m<sup>2</sup> a prosytit pečlivě pryskyřicí s co nejnižším smrštěním včetně odstranění vzduchových bublin. Někteří výrobci forem dávají přednost před konstrukčními vrstvami aplikovat jako první na gelcoat jemnou povrchovou rohož nebo flís o nízké gramáži. [5]

Teprve druhý den po vytvrzení prvních vrstev lze klást další konstrukční vrstvy, nejlépe opět s prodlevami na vytvrzení vrstev předchozích. Výroba formy je tak relativně časově náročnou operací. [5]

Pro výrobu přesných nebo více namáhaných forem se v poslední době nejčastěji používají speciálně formulované, termoplasty modifikované a vysoce plněné polyesterové pryskyřice, kdy je možno v jednom kroku dosáhnout tloušťky až 14 mm a dosáhnout prakticky nulového smrštění. Výroba formy se tak zkrátí na 2 dny včetně zpevnění formy např. žebrováním na rubové straně a připevnění manipulačního rámu. [5]

Lze rovněž použít kvalitnější epoxidové pryskyřice s pomalu vytvrzujícími tužidly, které výrazně snižují riziko smrštění a mechanické poškození často používané formy. [5]

Před uvedením nových forem do provozu je nutno je opatřit spolehlivým separátorem buď na bázi tvrdých karnaubských vosků nebo kapalnými semipermanentními bezsilikonovými separátory. [5]

Kvalitních separátorů je velký výběr, důležité je přesně dodržovat návod výrobce pro aplikaci na nové formy. [5]

### 3.4.1 Ruční kladení

Ruční kladení se někdy nazývá i kontaktní lisování a se o proces, ve kterém je nanášení pryskyřice i výztuže prováděno ručně na vhodný povrch pozitivní nebo negativní formy viz. *Příloha I*. Podle toho, na který povrch jsou komponenty nanášeny, je dosaženo kvality povrchu vytvrzeného kompozitního dílce, jedná se o jednu z omezujících zvláštností tohoto výrobního procesu, totiž že pouze jedna strana výrobku má kvalitní povrch. Po položení výztuže a provlhčení pryskyřicí je připravený ruční kompozit ponechán k vytvrzení. [6]

Výhodami ručního kladení jsou především jednoduchost technologie, minimální náklady na nástroje a prakticky neomezená variabilita tvarů a velikostí. Flexibilita konstrukce, možnost jednoduše aplikovat a jednoduché dokončovací operace jsou největšími výhodami tohoto výrobního procesu. [6]

#### **Používané materiály:**

Výztuže: Skleněný roving (nekonečný pramenec o různém texu), výjimečně i jiné kontinuální vlákno, např. speciální roving Spheretex jedná se o voluminezní roving tvořený základními skleněnými vlákny mezi nimiž jsou zakomponovány mikrokuličky expandovaného polymeru. [5]

Pryskyřice: Většina polyesterových pryskyřic ortoftalového, izoftalového nebo tereftalátového typu. [5]

### 3.4.2 Stříkání

Tato metoda spočívá v tom, že se na povrch formy nastříká katalyzovaná směs krátkých skleněných vláken a matrice, ke slisování a vytvrzení viz. *Příloha II*. [6]

Výhodou tohoto výrobního postupu je jeho přenosnost, nízká cena zařízení, pokud je proces automatizován je produktivita poměrně dobrá a reprodukovatelnost výrobků rovněž. Není žádné omezení velikosti výrobku. [6]

### 3.4.3 Lisování za studena

Provádí se působením nízkého tlaku 0.3 – 10 kg/cm<sup>2</sup> za normální teploty. Formy nejsou vyhřívané, mohou tedy být nákladově nenáročné (laminát, plech, hladké dřevotřískové lamino). Používá se forem dvoudílných, tzn. že výlisek má oboustranně hladký povrch. Tlak se získává nejjednodušeji pomocí šroubových svěrek nebo hydraulických válců v jednoduché rámové konstrukci nebo v etážových nízkotlakých lisech. [5]

#### **Používané materiály:**

Výztuže: Nejčastěji tkaniny na bázi skleněných či jiných vláken o různé gramáži, stylu tkaní a orientaci. [5]

Pryskyřice: Polyesterové nebo epoxidové pryskyřičné systémy vytvrzující za normální teploty. [5]

### 3.4.4 Lisování pomocí vakua

Je-li třeba zvýšit obsah výztuže a odsát přebytečnou pryskyřici pro zvýšení mechanických vlastností nebo zakomponovat tuhé sendvičové materiály – pěny nebo voštiny, volí se přítlak vakuem viz. *Příloha III*. [5]

Při použití měkkých sendvičových materiálů, které je nutno prosytit pryskyřicí, je možno také použití vakua, je však nutné volit podstatně menší podtlak. [5]

#### **Používané materiály:**

Výztuže: Tkaniny a pásy na bázi skleněných, uhlíkových nebo syntetických vláken všeho druhu, jejich kombinace nebo tzv. hybridní (směsné) výztuže různé gramáže. [5]

Pojiva: Polyesterové nebo epoxidové pryskyřice [5]

### 3.4.5 Lisování v autoklávu

Jedná se o nejnákladnější a nejsložitější technologii pro seriovou výrobu velkorozměrných konstrukcí. Výchozím materiálem jsou vždy prepregy, vyžadující vytvrzování za zvýšených teplot. Skladba vrstev je prakticky stejná, jako při lisování vakuem, forma pokrytá pružnou folií nebo plachetkou se umístí do vyhřívaného autoklávu, provede se nejprve evakuace podtlakem cca 0.8 bar a pak se autokláv natlakuje na cca 6 bar. Obsah výztuže se pak pohybuje přes 60%. [5]

Prepregy jsou kladeny buď ručně nebo v případě velkosériové výroby leteckých nebo kosmických dílů jsou ukládány speciálním zařízením, řízeným počítačem. [5]

#### **Používané materiály:**

Prepregy na bázi skleněných, uhlíkových nebo aramidových vláken (pro letecké a kosmické aplikace jsou užívána také vlákna borová nebo siliciumkarbidová) nejčastěji s epoxidovou matricí, vytvrzující při 120-200°C. [5]

Lisování v autoklávu se používá pro nejnáročnější velkorozměrové struktury pro kosmický a letecký průmysl, závodní automobily a velkorozměrové obkladové panely dopravních prostředků se střední až vysokou sériovostí. [5]

### **3.4.6 Lisování za tepla a tlaku**

Provádí se za zvýšených teplot a tlaků ve dvou nebo vícedílných kovových formách, které musí mít leštěné nebo lépe tvrdě chromované pracovní povrchy viz. *Příloha IV*. Formy se vyhřívají nejčastěji elektricky nebo topným médiem a jsou upevněny v hydraulických lisech schopných vyvodit tlaky 10-300 kg/cm<sup>2</sup>. Výchozím materiálem jsou buď prepregy-tzv. lisovací rohože (SMC – sheet moulding compounds), lisovací těsta (DMC - dough moulding compounds) nebo lisovací směsi premixy (BMC – bulk moulding compounds). [5]

Prepregy – lisovací rohože (SMC) jsou směsi sekaných, nejčastěji skleněných vláken, pojiva, většinou na bázi polyesterových nebo vinylesterových pryskyřic převedeného do částečně vytvrzeného stavu B, plniv, pigmentů a různých aditiv zlepšujících tokové vlastnosti, kvalitu povrchu a upravujících některé vlastnosti, např. snižují hořlavost nebo smršťení. Za zvýšené teploty a tlaku jsou prepregové přřezy schopny ve formě dalšího toku, materiál zcela zaplní dutinu formy a dalším působením tepla nastane kompletní vytvrzení. [5]

#### **Použité materiály:**

Prepregy – lisovací rohože (SMC) ve formě listového materiálu, krytého oboustranně separační folií, dodávané v rolích. Pojivem jsou nejčastěji polyesterové pryskyřice různých typů. V případě lisovacích těst (DMC) a premixů (BMC) se používají i speciální tereftalátové typy. [5]

Lisování za tepla a tlaku je jednou z nejproduktivnějších výrobních technologií pro velkosériovou výrobu (2-5 tis. kusů) malých a středně velkých dílů. Výhodou jsou krátké

výrobní cykly v řádu několika minut, vysoká reprodukovatelnost kvality a rozměrů a možnost automatizace procesu. [5]

### 3.4.7 Vysokotlaké vstřikování (RTM – resin transfer moulding)

Tato metoda patří do skupiny metod pracujících s uzavřenou formou viz. *Příloha V*. Do této formy je vložena suchá výztuž (preform), forma je uzavřena a je do ní pod tlakem vstříknuta katalyzovaná pryskyřice. Vytvrzování se děje většinou při pokojové teplotě. [6]

Výhodou RTM metody je to, že je možno vyrobit kompozitní díly, které mají po obou stranách dobrý povrch, přičemž například barva může být na každé straně jiná. Velmi přesně je také možno řídit tloušťkové tolerance. Jelikož se jedná o nízkotlaký proces při pokojové teplotě, je možno použít nástroje vyrobené z plastů a tím se významně celý proces zefektivňuje. [6]

#### Používané materiály

Výztuže: Rohože z nekonečného vlákna (např. typ Unifilo) nebo prošíváné rohože a speciální komplex skleněná rohož+vnitřní řídká rohož ze syntetických vláken typu Rovicore nebo Combiflow, povrchové rohože o nízké gramáži. [5]

Pojiva: Nejčastěji polyesterové pryskyřice se zabudovaným urychlovačem, v řadě případů ve směsi s levnými plnivými (uhličitan vápenatý, aluminiumtrihydrát) pro snížení nákladů a úpravu vlastností, např. snížení hořlavosti, speciální typy tzv. Class A se sníženým smrštěním pro automobilové díly k přímému nasazení bez dalších povrchových úprav. [5]

### 3.4.8 Vakuové prosycování

Technologie obdobná RTM light, odpadá zcela injekční zařízení. Užívají se 3 modifikace:

1) Vakuové prosycování spružnou vrchní částí formy viz. *Příloha VI*. Spodní forma je tuhá, podobně jako u RTM light s odsávacími kanálky, vrchní část, nejčastěji kompozitní, má určitou pružnost, která reguluje přítlak, uzavírací sílu a prosycování zajišťuje vakuum 0.6-0.8 bar. [5]

Pojivo je buď přiváděno ze zásobníku nebo se před uzavřením formy zhruba rozprostře na suchou výztuž. Metoda je vhodná pro oboustranně hladké dílce, do kterých mohou být zakomponovány jádrové materiály – pěny nebo voštiny- pro vytvoření sendvičové struktury. [5]



2) Vakuové prosycování pod pružnou folií. Technologie má mnoho společného s lisováním pomocí vakua. Spodní forma je klasického typu jako pro ruční kladení. Místo druhé části formy se používá pružná folie, která je k okrajům formy připevněna těsnícími pásky. Iniciované pojivo se přisává ze zásobníku, v případě velkorozměrných dílců se rozvádí perforovanými trubičkami až do vzdálenějších míst. Vakuum je aplikováno na obvodu formy pomocí kanálku, vytvořeného těsnícími profily. [5]

#### **Použité materiály:**

Výztuže: Vytvrzující materiály všeho druhu, od tkanin na bázi skleněných, uhlíkových nebo aramidových vláken nebo jejich kombinací o různé gramáži a stylu tkaní, s různou orientací až po speciální prošívání nebo složené rohože. Je možno vkládat pěnové materiály pro tvorbu sendvičových struktur nebo semisendvičové materiály typu Coremat. Lze použít i strhávacích tkanin, pásek a povrchových rohoží. [5]

Pojiva: Polyesterové i epoxidové nízkoviskozní pryskyřice, pro velkorozměrové dílce vzhledem k dlouhým dobám prosycování je třeba volit vytvrzovací systémy s dlouhou dobou zpracovatelnosti. Metody vakuového prosycování jsou obzvláště vhodné pro velkorozměrné díly jako trupy a paluby lodí, velké dílce pro kapotáž lokomotiv a vagonů, lopatky větrných elektráren apod., kde by jiné metody byly velmi pracné (ruční kladení) nebo neúnosně nákladné (RTM nebo klasické lisování). [5]

### **3.4.9 Tažení (pultruze)**

Tato technologie je založena na tažení svazků vláken, rohoží a tkanin pryskyřicovou lázní, kde dochází k prosycení výztuže viz. *Příloha VII*. V následném kroku je prosycená výztuž tvarována do požadovaného průřezu a zároveň je celý kompozit vytvrzen v kontinuální vytvrzovací hlavě. [6]

Největšími výhodami pultruze jsou FRC (fiber reinforced composite) velmi dobrých vlastností, prakticky neomezená variabilita tvaru průřezů, nekonečná délka vyrobeného profilu, vysoká produktivita, minimální nároky na lidskou práci, vysoký stupeň automatizace, vysoká reprodukovatelnost fyzikálních vlastností. [6]

### **Použité materiály:**

Výztuže: Zejména skleněný roving, méně často uhlíkové pramence, tkané stuhy a pásky z různých vláken nebo rohože s těžko rozpustným pojivem, povrchové rohože, případně s potiskem. [5]

Pojiva: Nízkoviskozní polyesterové, vinylesterové nebo epoxidové pryskyřičné systémy vytvrzující rychle za zvýšených teplot (80-160°C). Pojiva obvykle obsahují vnitřní separátory, aditiva pro zlepšení hladkosti povrchu a usnadňující probarvení, pigmenty a plniva např. pro snížení hořlavosti. [5]

### **3.4.10 Navíjení**

Tato technologie je založena na kontinuálním navíjení svazku vláken či jinak upravených výztuží na kruhovou, smrštitelnou formu viz. *Příloha VIII*. Vlákna jsou navíjena buď již navlhčena pryskyřicí nebo se povlčují až po vinutí. Požadovaných vlastností kompozitu se dosahuje přesným uspořádáním a orientací pramenců vláken a výztuží. Vytvrzení se provádí na jádře, které je potom z vytvrzeného výrobku vyňato. [6]

Výhodou je použití nejlevnější formy výztuže - rovingu. Proces má poměrně velmi dobrou produktivitu a může být vysoce automatizovaný. [6]

### **Používané materiály:**

Výztuže: Většinou pramence – skleněný roving o různém texu, pro náročné aplikace uhlíkové pramence. [5]

Nově je používán i roving Twintex (Vetrotex), který se skládá ze skleněných a polymerních termoplastických vláken. Kromě tzv. přímého rovingu lze použít i speciální vylehčené pramence Spheretex na bázi skleněných, uhlíkových nebo aramidových vláken, mezi nimiž jsou zakomponovány expandované polymerní mikrokuličky. [5]

Pojiva: Polyesterové pryskyřice různého typu, vinylestery i epoxidy. Pro skladování potravin a pitné vody je třeba hotové nádrže tepelně dotvrzovat, aby se dosáhlo co nejvyššího stupně vytvrzení a minimálního obsahu volného styrenu. [5]

### 3.4.11 Odstředivé lití

Dutá tělesa rotačního tvaru, zejména potrubí pro zásyp, se vyrábějí na strojním zařízení, které je kombinací strojního stříkání a odstředivého lití viz. *Příloha IX*. [6]

#### **Použité materiály:**

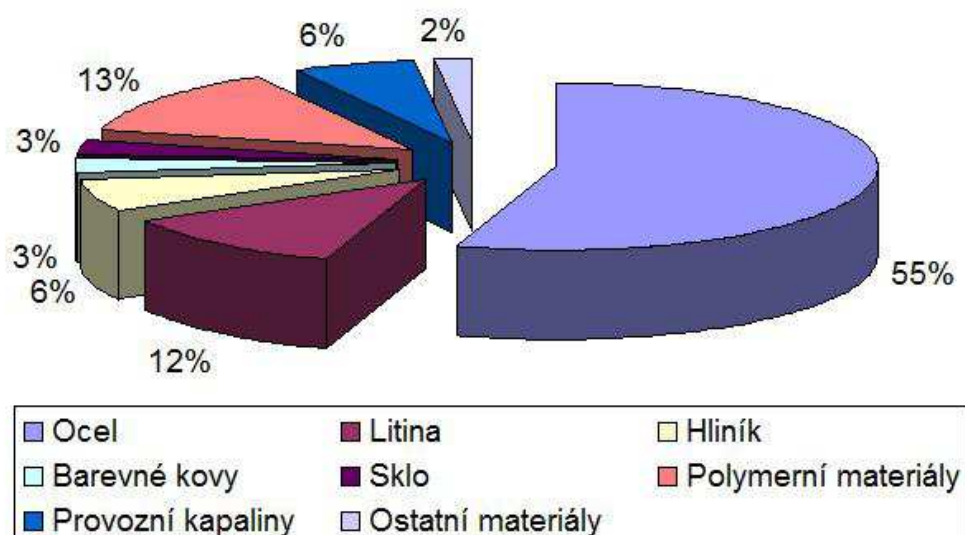
Výztuže: Převážně sekany skleněný roving. [5]

Pojiva: Jako základní jsou používány běžné polyesterové pryskyřice ortoftalového typu, pro vnitřní linerovou vrstvu se používají vinylestery pro korozně namáhané aplikace nebo vysoce pružná (až 50%) speciální pryskyřice odolná vůči abrazi pro odvod splaškových vod. Jako plniva (až 35 %) se používá směs křemičitého písku a uhličitanu vápenatého. [5]

## 4 Možnosti kompozitních materiálů ve stavbě automobilů

Vývoj moderních technologií v automobilovém průmyslu je považován za velmi důležitý bod, aby se zvyšovali prospěšné vlastnosti materiálů zakomponovaných v automobilech viz. obr. 4. Nejdůležitějšími faktory, které ovlivňují návrhy automobilů jsou především výsledná spotřeba, emise škodlivin, především náklady, bezpečnost a odolnost vůči opotřebení. Materiály mají za úkol splnit tyto kritéria: cenově dostupné k zákazníkům nebo firmám, nižší hmotnost, jednodušší smontování a recyklaci.

Obr. 4 Zastoupení konstrukčních materiálů v sériově vyráběných automobilech v roce 2009



zdroj: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/133>, vlastní zpracování

Podle Automotive Composites aliance (ACA), sdružení výrobců kompozitů, dodavatelů surovin a nástrojařů se sídlem v Rochesteru, Michigan, USA, vozidla tvůrci obvykle vybírají kompozity pro jejich schopnost snížit čas, hmotnost a náklady. [7]

## 4.1 Vývoj použití kompozitních materiálů ve stavbě automobilů

První kompozitní materiál v automobilech byl použit v roce 1947. Materiál byl převážně ze sojového oleje, který byl základem fenolové pryskyřice vyztužené konopným vláknem. Roku 1955 byl v oblasti polymerních kompozitů pro výrobu a stavbu karoserie trabantu použit duroplast viz obr. 5. Kompozit duroplasty byl tvořený pryskyřicí a bavlněným odpadem. Byla zde velká odolnost proti korozi. Po roku 1991 byla výroba duroplasty společně s trabantem ukončena.

*Obr. 5: Karoserie z duroplasty v trabantu*



Zdroj: <http://www.drive4life.cz/cz/menu/17/clanky/trendy-a-zajimavosti/clanek-111-doba-plastova/>

Počátkem 60. let převážně nízko-nákladových společnostech byl využíván sklolaminát ve formě monokoku.

Určité typy vozidel byly tvořeny samonosnou celo-laminátovou karosérií. Protože jeho výroba byla nákladná a nedostatečná technologická úprava, nebylo možné její využívat ve velkovýrobě. Např. Lotus Elite viz. *Obr. 6*, Mini Marcos a další.

*Obr. 6 Lotus Elite*



Zdroj:

[http://www.time.com/time/specials/2007/article/0,28804,1658545\\_1657867\\_1657783,00.html](http://www.time.com/time/specials/2007/article/0,28804,1658545_1657867_1657783,00.html)

Velký zlom roku 1979 znamenal ve formuli 1, kde v automobilových kompozitech bylo poprvé použito uhlíkové vlákno. Na voze byl použit klasický hliníkový rám, nově vyztužený uhlíkovým vláknem. Tento kompozit byl i později použit ke konstrukci předního a zadního přítláčného křídla a na výzkum brzd.

Na formulovém voze McLaren roku 1981 byly využity a zkombinovány k výrobě rámu, jak uhlíkové, tak i kevlarová vlákna. Rámy byly pevnější a snížila se jejich hmotnost.

V současné době se nalézají uhlíkové kompozity, jak ve sportovních vozech, tak i v dostupných sériově vyráběných vozech např. BMW (Bayerische Motoren Werke)

V 80. letech sériově vyráběných vozidel pro velkovýrobu (např. Pontiac) se komponenty neomezovaly na jeden druh kompozitu jako doposud. Třeba karoserie byla vytvořena ze 4 variant vyztuženého polymeru. Byl to pokrok desingovém tvarování různým typem výroby a zachování nízkých nákladů.

Prvním sériovým silničním automobilem roku 1992, jehož nosná karoserie byla tvořena monokokem z laminátu vyztuženém uhlíkovými vlákny. Další díly z hliníku a hořčíku tvořící úchytné body zavěšením byly při výrobě zapracovány do monokoku pro dosažení vysoké pevnosti viz. obr. 7. Uhlíkový laminát špatně snášel teplotní rozdíly a protože motor se při plném výkonu ohříval na vysoké teploty, tak pro izolaci karoserie byla využita zlatá folie. Je to jedno z mála míst, kde nebylo možné využít laminátu.

*Obr. 7 Lamborghini a jeho stavba z monokoku*



Zdroj: <http://www.auto.cz/lamborghini-aventador-lp700-4-stavba-monokoku-54710>

## **4.2 Všeobecné využití kompozitů v sériově vyráběných automobilech**

### **4.2.1 Osobní automobily**

Firmy se poslední dobou specializují především na zpracování kompozitu a na stoprocentní carbonový pohledový design viz. obr. 8. Logickým počinem, je specializace na různé tuningové modifikace automobilů a výrobu nejrůznějších tuningových dílů, včetně návrhu, vývoje a výroby jejich tvarů - modelů, včetně výroby kompletních sad kompozitových forem a včetně následné výroby zpravidla kompozitních pohledových dílů.

Kompozity z uhlíkových vláken jsou dobře zavedené v limitované sérii vozů. Vývoj materiálů a procesů, která umožní jejich využití ve velkoobjemových vozidlech. [8]

*Obr. 8 Audi Q5 s vylepšeními od Senneru*



Zdroj: [http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/novinky/audi-q5-s-vylepsenimi-od-senneru\\_40146.html](http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/novinky/audi-q5-s-vylepsenimi-od-senneru_40146.html)



## 4.2.2 Nákladní automobily

Nákladní automobily jsou založeny na výrobě termosetových kompozitů vůči pevnostním a hmotnostní poměrům. Komponenty v těžkých nákladních vozidel jsou vystaveny vysokým teplotám, agresivními látkami, a fyzickému opotřebení, přesto se očekává, že předpokládaná životnost bude co nejdéle.

Rostoucí náklady na tlakově litého hliníku, zinku a hořčíku, spolu s novými emisními předpisy a rostoucími výkonnostními požadavky jsou příčinami, které se výrobce snaží zavést kompozity na bázi BMC (Bulk Moulding Compound) a SMC (Sheet Molding Compound) do komponentů v těžkém nákladním průmyslu viz. obr. 9.

Sandwich kompozity založené na základních materiálech Diab se používají pro všechny hlavní konstrukční prvky. To poskytuje kombinaci pevnosti, tuhosti a houževnatosti, která je požadována pro drsné prostředí a náročných cyklů. [9]

*Obr. 9 Nákladní automobily na bázi kompozitních materiálů*



Zdroj: <http://www.scienceweek.cz/headlines/tags/alternativn%C3%AD+pohony/page/10>

## 4.2.3 Autobusy

Díky naší rozvíjející se výrobě nejrůznějších dílů, se firmy zabývají např. přestavbami a zakázkovými úpravami autobusů viz. obr.10. Firmy na výrobu autobusů se snaží zajišťovat kompletní dodávky nejen kompozitových, ale i carbonových pohledových dílů a to včetně výroby modelů a kompletních sad kompozitových forem.



Obr.10 Elektromobil s využitím kompozitních a carbonových dílů



Zdroj: <http://www.bvv.cz/eurotrans/eurotrans-2013/aktuality/e-bus-citishow-brno-2013/>

#### 4.2.4 Závodní automobily

V jeho historii můžeme pokládat za vznik kompozitů v závodních automobilech. V roce 1968 v závodě 24hodin Le Mans vyhrálo závodní vozidlo Ford z vyztužených uhlíkových vláken. [10]

Úspora hmotnosti ve formulích je na nejvyšší důležité. Přes řídicí orgán, na kterém se ukládá minimální hmotnostní limit, týmy stále tráví většinu času jak zdokonalovat komponenty na nejnižší možnou hmotnost. Pokles pod minimální hmotnosti jim umožňuje přerozdělovat hmotnost kolem vozu ve formě zátěže. Vehicle Dynamics studie prokázaly výhody při kontrole vozidla hromadné distribuci při jejím vyřizování viz obr.11. V důsledku toho se musí všechny součásti na voze F1 být navrženy tak, aby na absolutní minimální hmotnosti byly předepsané podle pravidel. [11]

Podle zákoníku LS-DYNA jsou všechny metody konečných prvků analýzy prováděny dle norem [12].

Obr.11 Monopost MVR02



Zdroj: <http://f1news.autoroad.cz/technika/36912-virgin-predstavuje-druhou-generaci-vozu-stvoreneho-na-pocitaci-mvr-02-foto/>

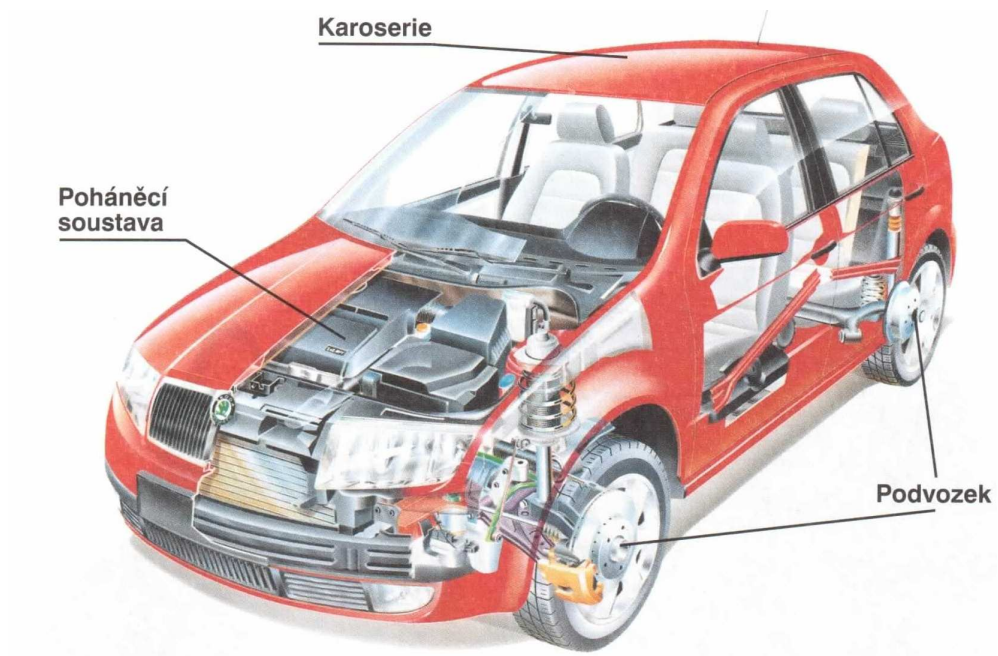
## 4.3 Stavba automobilů

Základními technickými částmi současných všech automobilů jsou karoserie, podvozek, poháněcí soustava, příslušenství, výstroj a výbava.

Základní části automobilu:

- **Karoserie**
- **Podvozek**
- **Poháněcí soustava**

Obr.12 Základní části automobilu



Zdroj: Vogel, učebnice Autoškola

### 4.3.1 Karoserie

Hlavním účelem karoserie je umožnit přepravu posádky a nákladu, chránit je před nepohodlností a poskytovat účinnou ochranu při případné dopravní nehodě.

Použití kompozitních materiálů ve stavbě karoserie se stále zvyšuje. V budoucnosti se očekává z možností zvyšování výroby kompletní konstrukce z kompozitů.

*Obr.13 Výroba karoserie*



Zdroj: <http://www.kompozity-michalik.cz/?cube=galerie&c2=84>

### **Čelní panel přídě**

Panel se vyrábí jako tlakový odlitek z polykarbonátu.

### **Kapota motoru**

Konstrukce kapoty motoru je z polyesterové pěny vyztužené sklolaminátem, nebo jako plátované sendviče, poskládané ze dvou plátů tenkého hliníkového plechu, mezi kterými je jádro z tvrdé plastové pěny. V přední části, kde dochází nejčastějším nehodám s chodci, je kapota neformovatelná, aby snížila co nejvíce nárazu. Další výhodou je pokles hladiny hluku v automobilu.

### **Střecha**

Střecha je konstruována ze sendvičů z polyesterových pěn s již dokončeným stropem tvoří panel, vsunutý do dutinových nosníků skelet.

### **Zadní stěna**

Stěna je vyrobena z tlustostěnných výlisků z nenasyčeného polyesteru.

### **Nárazníky**

Nárazníky jsou obvykle tvořeny z polykarbonátu, jeho velkou výhodou je odolnost proti nárazům a má vynikající netřísťivé vlastnosti.

### **Blatníky, dveře, boční panely**

Tyto komponenty jsou konstruovány z nenasyčeného polyesteru. Dveře pro zvýšení tuhosti při bočním nárazu se do nich dává výztuhy z oceli s vysokou pevností.

### **Přístrojová deska**

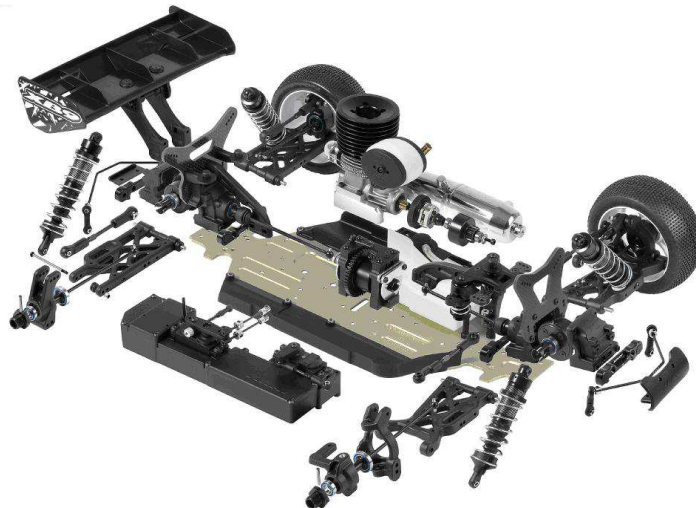
Deska se vyrábí z modifikovaného polyfenylu, jejichž cílem je cirkulační systém na kterém pracují integrační kanály.

## **4.3.2 Podvozek**

Podvozek umožňuje bezpečný a kontrolovaný pohyb vozidla a zajišťuje potřebný kontakt vozidla s vozovkou.

Pod karoserií je podvozek, který je převážně vyroben z uhlíkového kompozitu. Kombinace skořepinové konstrukce z uhlíkového kompozitu a ocelového ochranného rámu stanovuje nová měřítko v oblasti bezpečnosti viz. *obr.14*.

*Obr.14 Části podvozků z uhlíkových vláken*



Zdroj: <http://www.teamxray.com/xb9/cz/>

### **Rám, nápravy**

Tyto části vzhledem k jejich hmotnostním vlastnostech a mechanickým zatížení se vyrábí převážně z uhlíkových vláken.

## **Brzdy**

Brzdy nabízí nejen mnohem vyšší účinností a životností, ale odolávají také vadnutí a jsou lehčí, čímž zlepšují ovladatelnost. Brzdy z kompozitního materiálu je velice rozšířená, proto se vyrábí mnoho druhů např. karbon-keramika, kevlar, či z uhlíkového vlákna viz. obr. 15.

## **Odpružení**

Na vedení a odpružení kol se zde podílí příčná listová pružina z kompozitu vyztuženého skleněnými vlákny. V porovnání s konvenční ocelovou nápravou představuje nové řešení snížení hmotnosti.

## **Kola s pneumatikami**

Odolnost proti otěru, proti stárnutí, či odolnost vůči olejům a benzínu se používá výroba kol ze syntetické pryže, neboli kaučuku.

*Obr.15 Karbon-keramická brzda*



Zdroj: <http://www.autoweb.cz/karbon-keramicke-brzdy-do-10-let-standardem/>

#### 4.3.4 Poháněcí soustava

Poháněcí soustava zajišťuje pohon vozidla, což znamená že vytváří hnací sílu potřebnou k pohybu vozidla a zprostředkuje její přenos kola.

##### **Setrvačník**

Základem elektromechanického setrvačníku je speciálně konstruovaný rotor z kompozitních materiálů o velmi vysokých otáčkách s velkou setrvačností, který je vyráběn z uhlíkových vláken viz. obr 16.

*Obr.16 Rotor z kompozitních materiálů*



Zdroj: <http://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/5.php>

## 5 Závěr

Bakalářská práce na téma "Kompozitní materiály ve stavbě automobilů" je důležitá v současné době, protože se zabývá problematikou složitých materiálů v automobilovém průmyslu.

Kompozitní materiály jsou v současnosti z jedním nejvyužitelnějším prvkem vozidel, i když jejich vývoj vznikal velice složitými etapami. Ve stavbě automobilů byly z počátku karoserie vyrobeny z polymerních kompozitů a v současné době se vyrábí především z karbonových, či uhlíkových vláken.

Ve vývoji těchto etap se nejvíce diskutovalo v jakých podmínkách by bylo výhodnější zakomponovat složitý materiál do konstrukce vozidel. Automobilové společnosti mají stále těžší podmínky vyrábět podle předepsaných norem. Konstrukční odborníci se stále zabývají tím, jak zvýšit bezpečnost, nebo snížit hmotnost, aby byla menší spotřeba paliva.

Podle poznatků použití materiálu v roce 2009 v automobilovém průmyslu se zjistilo, že polymerní materiál se vyskytoval v 15% z celkového výskytu materiálů v automobilech, což je hned za ocelí (55%). V etapách se složitý materiál vyskytoval převážně v karosériích v prvních sériích vozidel McLaren, Lotus a dalších. Postupem času se kompozit rozvíjel i v dalších částech komponentů, kompozitní materiál lze považovat za důležitý prvek v automobilech. Jejich počet v možnostech ve stavbě automobilů se stále rozšiřuje a dle poznatků má největší obsazenost v karosériích to jsou především střechy, nárazníky, blatníky a dveře. V podvozcích jsou zastoupeny brzdy, rámy a tlumiče. A v poháněcí soustavě se zatím kompozit objevuje v setrvačnicích.

Kompozitní materiál má stále významnější podstatu v zabudování ve stavbě automobilů, Jeho hlavní výhodou je nízká hmotnost, vysoká tuhost a pevnost, nižší tepelná roztažnost a chemická odolnost, či ohnivzdornost, přesně tyto vlastnosti může automobil využít ve svůj prospěch. Nevýhodou materiálu je cena a recyklace. Výzkum se tímto problémem stále zabývá. Je otázkou budoucnosti, kdy se najdou vhodné aplikace k překonání těchto problémů. Podle mého názoru kompozitní materiál má velkou budoucnost nejen v automobilovém průmyslu, ale i v jiných odvětvích. Proto tento složitý materiál se bude stále více propagovat a jeho dominance bude mít větší váhu než ocel.



## 6 Seznam literatury

- [1] LENERT, Jiří. *Mechanika kompozitních materiálů*, 2. vydání, Ostrava, Vysoká Škola Báňská v Ostravě, 2002. str. 4 ISBN 80-248-0026-8.
- [2] LAŠ, Vladislav. *Mechanika kompozitních materiálů*, 3. vydání, Západočeská Univerzita v Plzni, Plzeň, 2004. str. 8-9 ISBN 80-7043-273-X
- [3] MÍŠEK, Bohumil. *Kompozity*, Technický dozorčí spolek v Brně, Brno, 2003, str. 4-5 ISBN 80-903386-0-7
- [4] MACHEK, Václav - SODOMKA Jiří. *Polymery a kompozity s polymerní maticí*, České Vysoké Učení Technické, Praha, 2008, str. 39-46 ISBN 978-80-01-03927-4
- [5] JANČAŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*, 1.vydání, Vysoké Učení Technické, Brno, 2003, str. 20-35 ISBN 80-214-2443-5
- [6] HAVEL, Jiří. *Technologie výroby kompozitů* [online] 17.2.2013 [cit. 2013-03-09] dostupné z <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-%20schemata.html>.
- [7] Car makers increase their use of composites, *Reinforced Plastics* [online]. 2004 vol. 48 no. 2 [2013-03-22]. Dostupné z [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-3617\(04\)00149-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-3617(04)00149-3)
- [8] Carbon composites and cars – technology watch 2012, *Reinforced Plastics* [online]. 2013 vol. 57 no.1 [2013-03-22]. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-3617\(13\)70031-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-3617(13)70031-6)
- [9] Composite replaces aluminium in truck body, *Reinforced Plastics* [online]. 2006 vol. 50 no. 5 [2013-03-22]. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-3617\(06\)70983-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-3617(06)70983-3)
- [10] PHILLIPS, L.N. Improving racing, *Composites* [online]. 1969 vol.1 no.1 [2013-04-02]. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0010-4361\(69\)80012-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0010-4361(69)80012-1)
- [11] SAVAGE, G. Sub-critical crack growth in highly stressed Formula 1 race car composite suspension components, *Engineering Failure Analysis* [online]. 2009 vol.16 no.2 [2013-03-22]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2008.02.016>
- [12] FERREIRA A. J. M.. Progressive crushing of fiber-reinforced composite structural components of a Formula One racing car, *Composite Structures* [online]. 2005 vol.68 no.4 [2013-04-02]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2004.04.015>



## 7 Seznam obrázků

Obr. 1 Základní rozdělení kompozitů

Obr. 2 Příčný řez kompozitem na bázi polymerních nanovláken

Obr. 3 Uhlíkové vlákno ve zvětšeném měřítku

Obr. 4 Zastoupení konstrukčních materiálů v sériově vyráběných automobilech v roce 2009

Obr. 5: Karoserie z duroplastu v trabantu

Obr. 6 Lotus Elite

Obr. 7 Lamborghini a jeho stavba z monokoku

Obr. 8 Audi Q5 s vylepšeními od Senneru

Obr. 9 Nákladní automobily na bázi kompozitních materiálů

Obr.10 Elektromobil s využitím kompozitních a carbonových dílů

Obr.11 Monopost MVR02

Obr.12 Základní části automobilu

Obr.13 Výroba karoserie

Obr.14 Části podvozků z uhlíkových vláken

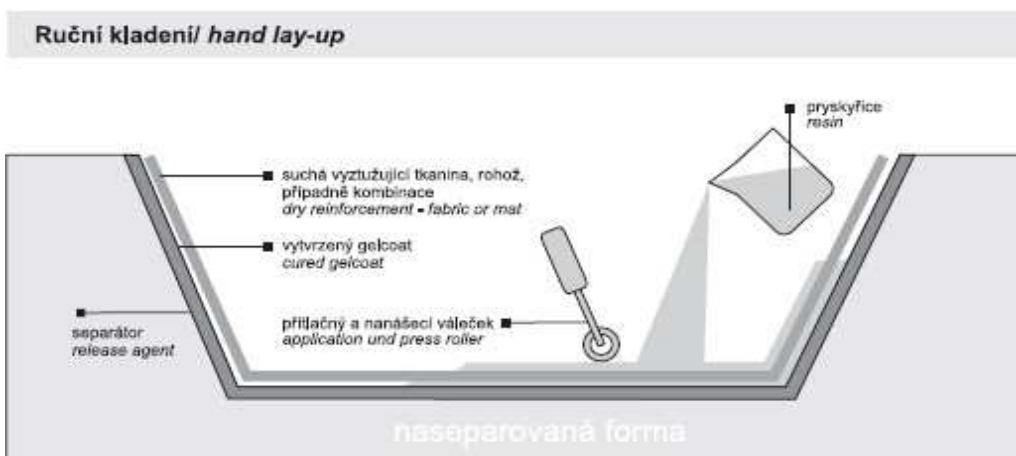
Obr.15 Karbon-keramická brzda

Obr.16 Rotor z kompozitních materiálů

## **8 Seznam příloh**

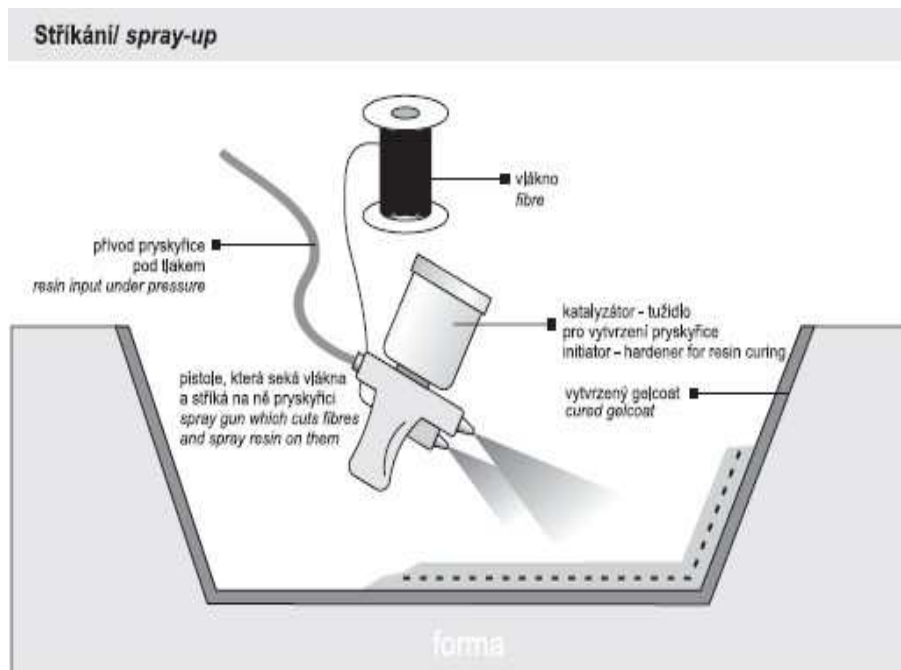
- Příloha I Ruční kladení
- Příloha II Stříkání
- Příloha III Lisování pomocí vakua
- Příloha IV Lisování za tepla
- Příloha V Vysokotlaké vstřikování
- Příloha VI Vakuové prosycování
- Příloha VII Schéma tažení
- Příloha VIII Navíjení
- Příloha IX Odstředivé lití

## Příloha I Ruční kladení



Zdroj: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>

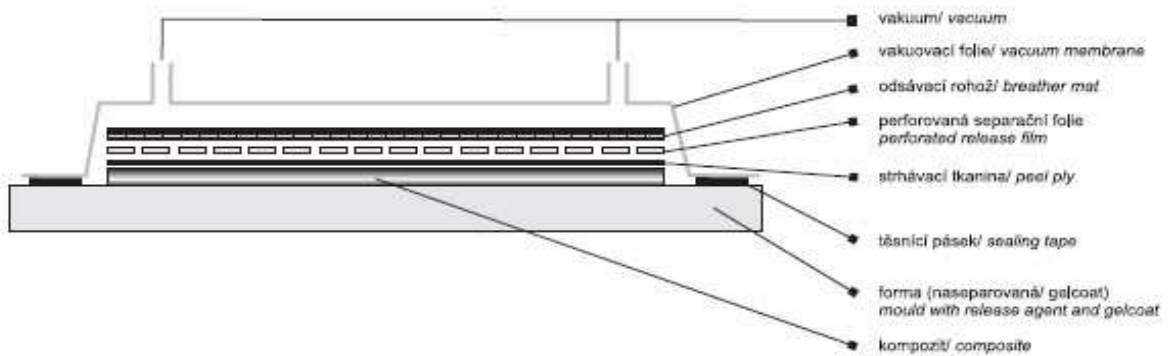
## Příloha II Stříkání



Zdroj: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>

### Příloha III Lisování pomocí vakua

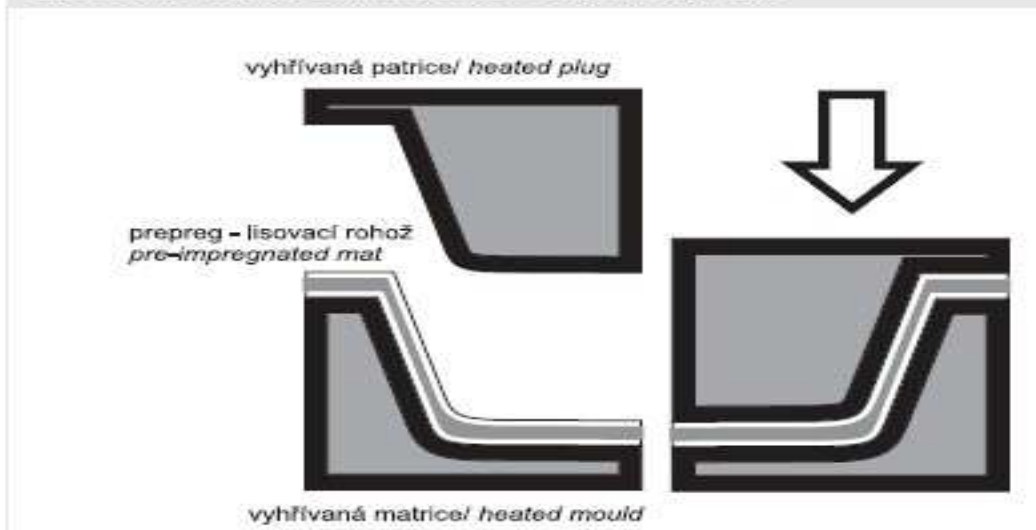
#### Lisování pomocí vakua/ vacuum bagging



Zdroj: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>

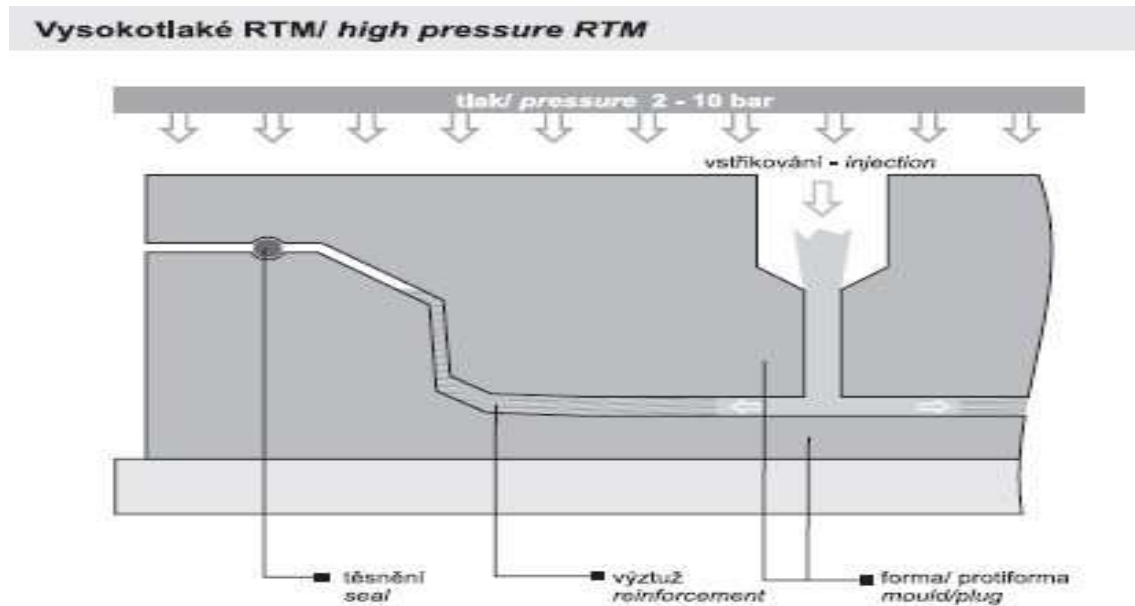
### Příloha IV Lisování za tepla

#### Lisování za tepla SMC/ Hot press moulding SMC



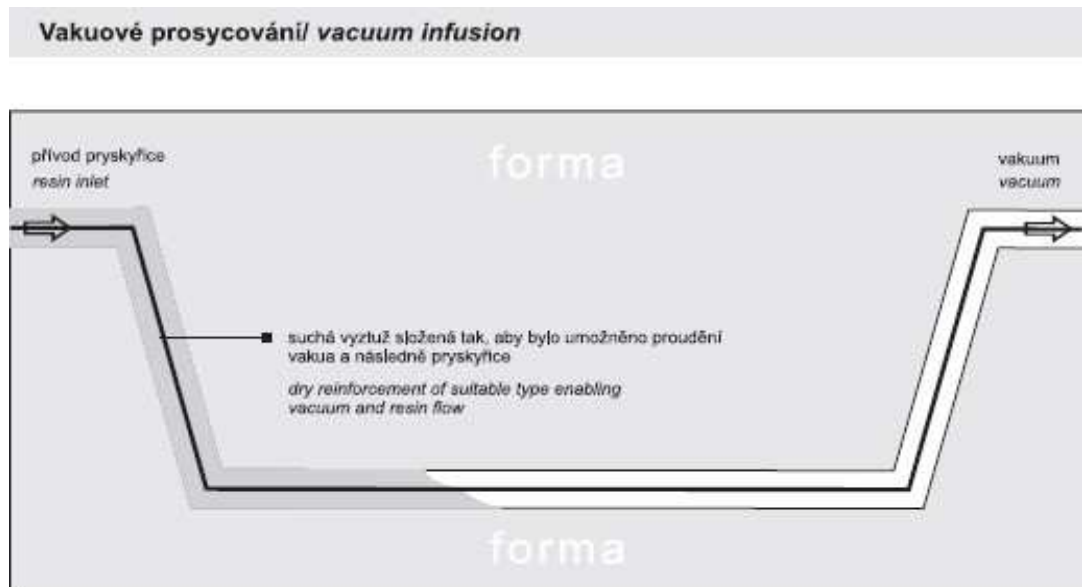
Zdroj: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>

## Příloha V Vysokotlaké vstřikování



Zdroj: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>

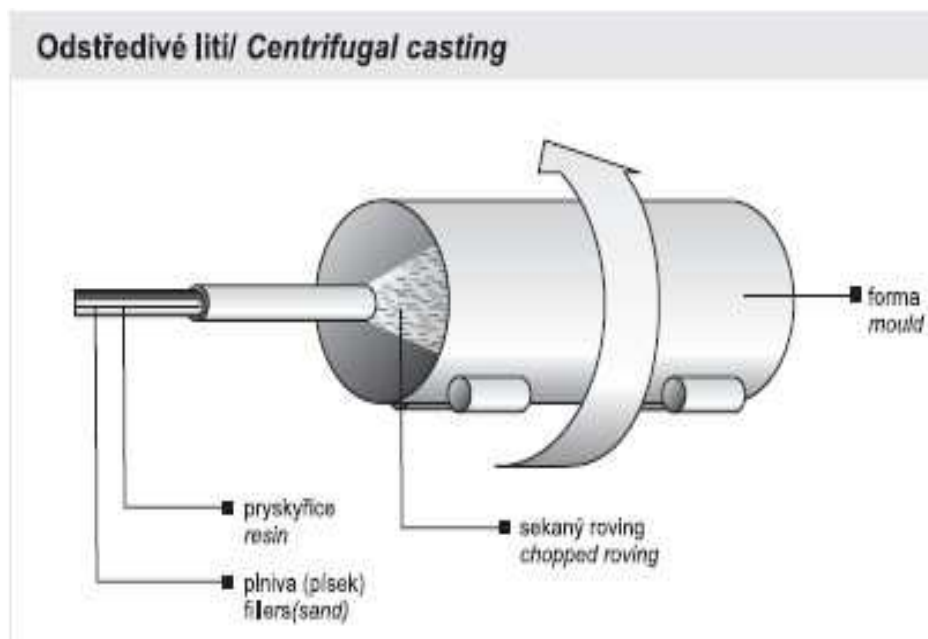
## Příloha VI Vakuové prosycování



Zdroj: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>



Příloha IX Odstředivé lití



Zdroj: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>