



Zemědělská
fakulta
Faculty
of Agriculture

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Zemědělská fakulta

Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití kompozitních materiálů v konstrukci dopravní a
manipulační techniky

Autor práce: Augustin Fusko

Vedoucí práce: Mgr. Tomáš Zoubek

České Budějovice

2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval(a) pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

Podpis

Poděkování

Touto formou děkuji svému konzultantovi Mgr. Tomášovi Zoubkovi, za trpělivost, ochotu, cenné rady, odborné vedení a připomínky při zpracování mé bakalářské práce.

Abstrakt

Moje bakalářská práce rozdělena na dvě hlavní části, které jsou dále rozděleny na kapitoly a podkapitoly.

V první části se práce zabývá spíše teorií od historie kompozitních materiálů přes definice, jednotlivé druhy až k druhům výroby samotných kompozitů. Podrobněji jsou rozebrány jen některé, nejčastěji používané, druhy kompozitních maticí a vláken. V další kapitole se práce zabývá různými druhy a možnostmi výroby kompozitů.

Ve druhé části se práce zaměřuje na praktičtější využití kompozitních materiálů. Jako příklad jsou uvedeny osobní automobily, vlaková doprava, uplatnění pro každodenní život jako jsou například tlakové lahve na plyn, které můžeme používat, pokud máme plynový sporák, ale hlavně se využívají jako zásobník paliva v malé manipulační technice.

Klíčová slova: kompozitní materiály, historie, výroba, využití

Abstract

My bachelor thesis is divided into two main parts, which are further divided into chapters and subchapters.

In the first part, the work deals more with the theory from the history of composite materials through definitions, individual types to types of production of composites themselves. Only some of the most commonly used types of composite matrices and fibers are discussed in more detail. In the next chapter, the work deals with various types and possibilities of composite production.

In the second part, the work focuses on a more practical use of composite materials. Examples are passenger cars, train transport, applications for everyday life, such as gas cylinders, which we can use if we have a gas stove, but are mainly used as a fuel tank in small handling equipment.

Key words: composite materials, history, production, use

Obsah

Úvod.....	7
Cíl práce	8
1 Kompozitní materiály a jejich historie.....	9
2 Charakteristika kompozitu	11
3 Výztuže (disperze) kompozitních materiálů	16
4 Matrice kompozitních materiálů	20
4.1 Kompozity s kovovou maticí (MMCs)	20
4.2 Kompozity s polymerní maticí (PMCs).....	20
4.3 Kompozity s keramickou maticí (CeMCs)	21
4.4 Kompozity s uhlíkovou maticí (CaMCs).....	21
5 Vláknové kompozity	22
5.1 Přírodní vlákna	22
5.2 Skelná vlákna	23
5.3 Uhlíková vlákna	24
5.4 Aramidová vlákna	25
5.5 Polymerová vlákna	25
5.6 Ocelová vlákna	26
5.7 Produkty z kompozitních vláken	26
6 Výroba kompozitu	28
6.1 Ruční kladení.....	29
6.2 Stříkání	29
6.3 Lisování	30
6.4 Vysokotlaké vstřikování.....	31
6.5 Tažení (Pultruze)	31

6.6	Vakuová technologie	32
6.7	Navíjení	33
7	Vybrané příklady uplatnění kompozitních materiálů	34
7.1	Kompozitní materiály v leteckém průmyslu	35
7.2	Kompozitní LPG lahve pro pohon manipulační techniky	35
7.3	Automobilový průmysl.....	37
7.4	Zemědělství	40
7.5	Železniční doprava	41
7.6	Nákladní vozidla.....	42
8	Závěr	43
9	Zdroje.....	44
10	Seznam obrázků	49
11	Seznam tabulek	51

Úvod

V dnešní době jde lidstvo stále kupředu. Výhoda kompozitních materiálů spočívá v lepších vlastnostech díky synergickému účinku. Kompozitní materiály jsou vícesložkové materiály, které lidská populace vědomě využívá již od roku 800 př.n.l., jinak můžeme říct, že kompozity jsou tak staré jako lidstvo samo. V dnešním moderním světě jsou kompozity hojně využívány kvůli své vysoké pevnosti v poměru s hmotností. S takovými materiály se setkáváme dnes a denně, jen málokdo si toho všimne a uvědomí si, že se jedná právě o kompozit. Kompozitní materiály se díky svým vlastnostem prosadily zejména v dopravním průmyslu, ať už se jedná o pozemní, vzdušnou či námořní dopravu. Mezi další výhody patří například to, že některých typů kompozitů je výroba jednodušší a méně nákladná než například oceli. Kompozitní materiály se využívají ve všech odvětví.

Cíl práce

Cílem této práce je poskytnout přehled současného stavu využívání kompozitních materiálů v konstrukci dopravní techniky, poskytnout náhled na vývoj kompozitních materiálů a na vybraných příkladech demonstrovat používání kompozitních materiálů v konstrukci dopravní techniky.

1 Kompozitní materiály a jejich historie

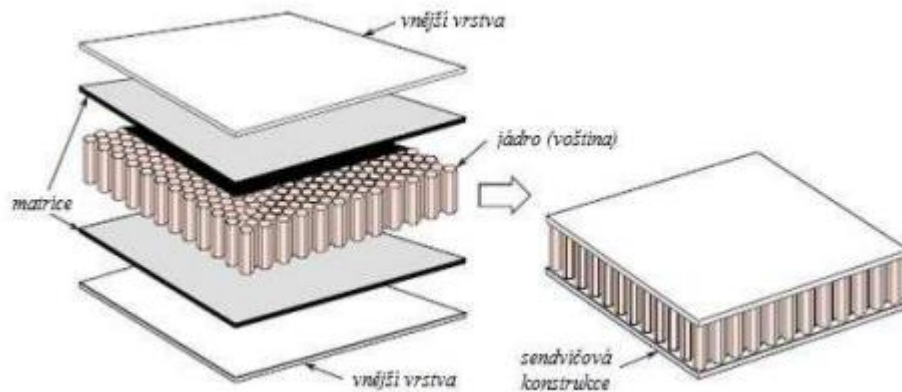
Na vzniku kompozitních materiálů se nejvíce podílela příroda, která inspirovala vědce výskytem jako například ve dřevě a bylinných tkáních. Teoreticky lze říct, že první kompozity pocházejí z doby pravěku, kdy si člověk sestrojil luk ze dřeva, rohoviny a pazourku a další nástroje, které můžeme vidět na obrázku 1. Materiály jako takové pochází z doby 800 let př.n.l. z Izraele, kde vyráběli pevné cihly z hlíny a slámy.



Obr. 1 Sada nástrojů pravěkého člověka (Rozhkov, 2021)

S hojnějším využíváním kompozitních materiálů se začalo již v roce 1916, kdy R. Kemp podal návrh na výrobu trupu letadla z vyztužených plastů, který si nechal patentovat. Během roku 1935 začínala výroba skelných vláken firmou Owens-Corning Fiberglass Corporation. Trup letadla vyrobený v roce 1940 byl již zkonstruován z fenolické pryskyřice a lněného vlákna. O výrobu takového letadla se zasloužila firma Gordon Aerolite Spitfire. Další vývoj v odvětví kompozitních materiálů nastal během roku 1942, kdy se poprvé aplikovaly lamináty z nenasyčených polyesterových pryskyřic, které byly vyztužovány skleněnými vlákny. Takto inovované materiály se využívaly k výrobě lodí, letadel i automobilů. Během následujícího roku se začala využívat tzv. sendvičová konstrukce pro výrobu letadel, která se skládala z polyesterového laminátu vyztuženého jádrem z balzového dřeva. Zmiňovanou sendvičovou konstrukci můžeme vidět na obrázku 2.

Definice pro kompozitní materiál existuje nespočet. Samotná definice je v každém státu jiná a také závisí na druhu pracoviště, kde se s kompozitem pracuje.



Obr. 2 Schéma sendvičové konstrukce (Metela, 2013)

Nejstarší definice:

- *Jakýkoliv vícefázový materiál, tvořící pevnou látku – dřevo, litina, beton.*

Novější definice:

- *Fáze si ponechávají své vlastnosti, ale v systému se uplatní pouze jejich přednosti a potlačí nedostatky – i smaltovaná ocel.*
- *Fáze musí být v objemu rovnoměrně rozděleny – nevyžaduje se vždy.*
- *Fáze se musí vyskytovat odděleně a kompozit se vytvoří jejich kombinací – používají např. experti EU, vylučuje usměrněné tuhnutí.*
- *Někdy se požaduje uměle vytvořený systém, jindy se rozlišují přírodní a umělé kompozity – dřevo, skelný laminát.*

Definice MIL – NASA USA:

- *Kompozitní materiál je kombinace dvou nebo více materiálů (vyztužovací elementy, výplně a spojovací matrice), lišících se v makroměřítku tvarem nebo složením. Složky si v nich zachovávají svou identitu (tzn. vzájemně se úplně nerozpouštějí ani neslučují), ačkoliv na své okolí působí v součinnosti. Každá složka může být fyzikálně identifikována a mezi ní a dalšími složkami je rozhraní.*

Definice G. F. Milтона, Cambridge:

- *Kompozity jsou materiály, ve kterých jsou délkové nehomogenity v rozměrech mnohem větších, než jsou atomární (což nám umožňuje používat pro tyto nehomogenity rovnice klasické fyziky), které jsou ale v makroskopickém měřítku přirozeně (statisticky) homogenní.*

V České republice se na pracovišti přiklání nejčastěji k jedné z novějších výše uvedených definic. (GDP Koral, 2009; Daďourek K., 2010; Bareš R. 1988)

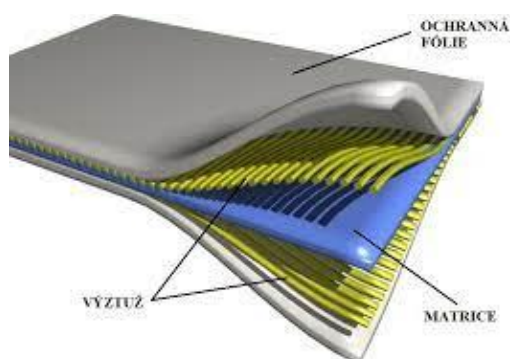
2 Charakteristika kompozitu

Z výše uvedených definic vyplývá, že za kompozitní materiál je považován heterogenní materiál složený ze dvou či více složek. Dané složky se odlišují nejen chemickými ale také fyzikálními vlastnostmi, které můžeme vidět v tabulce 1. V každém kompozitu je tzv. matrice a disperze. Matrice je spojitá fáze, která vše drží pohromadě a chrání disperzi. Disperze je fáze nespojitá, která je v kompozitu volně rozptýlená a vyztužuje materiál. Z tohoto důvodu bývá disperze také nazývána jako „výztuž“. Tyto dvě části můžeme vidět na obrázku 3.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti vybraných vláken kompozitů (Vnouček, 2021)

	E_t	σ_{Pt}	ρ	σ_{Pt} / ρ	$\varepsilon_{f,krit}$
	GPa	MPa	10^3 kgm^{-3}	MPa / kgm^{-3}	%
Sklo - E	72,4	3500	2,54	1,38	2,5
Sklo - S	85,5	4600	2,48	1,85	2,5
Grafit - E	390	2100	1,9	1,1	0,7
Grafit - S	240	2500	1,9	1,3	0,7
Bor	385	2800	2,63	1,1	0,8
W	414	4200	19,3	0,22	
Aramid Kevlar 49	130	2800	1,5	1,87	2,5
Azbest	160	3100	2,56	1,21	1,9
SiC	250	2200	2,6	0,85	0,9
Polyethylen PE Spektra	172	3000	0,97	3,09	1,7
Ocel	210	340-2500	7,8	0,0440-0,321	

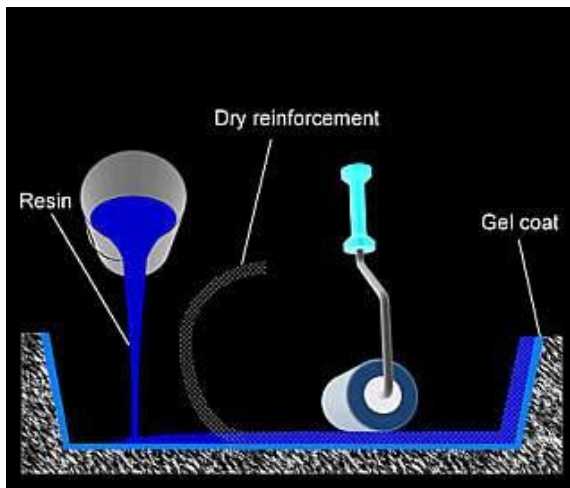
Kde E_t je modul pružnosti v tahu, σ_{Pt} je pevnost v tahu, ρ je hustota, σ_{Pt} / ρ je měrná pevnost a $\varepsilon_{f,krit}$ je tažnost.



Obr. 3 Složení kompozitního materiálu (Válek, 2013)

Při spojení matrice a disperze vznikne úplně nový materiál s vylepšenými mechanickými vlastnostmi (modul pružnosti, tvrdost, pevnost...). Kompozitní

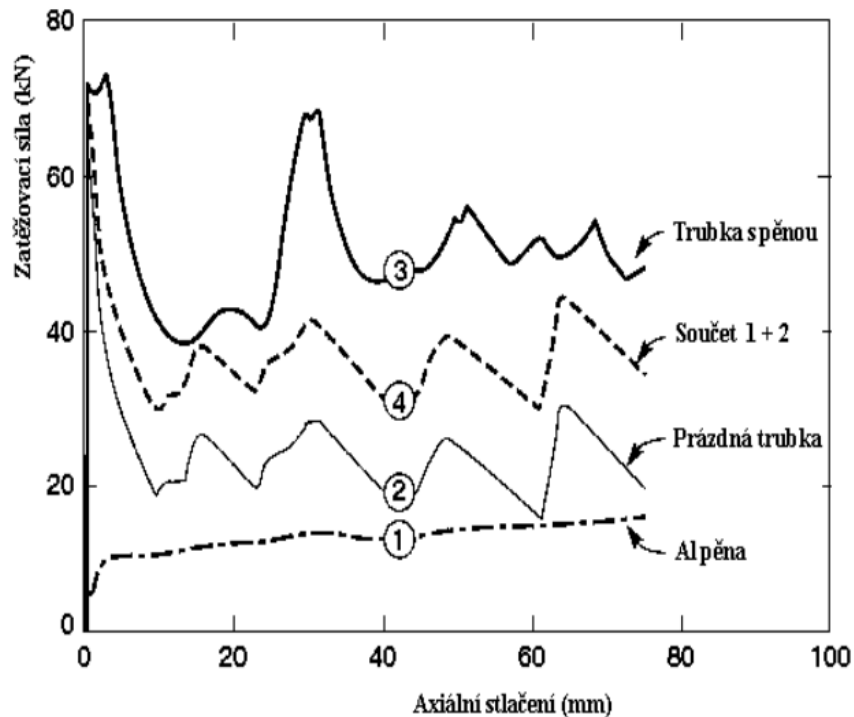
materiály jsou charakteristické mimo jiné tím, že při výrobě jsou jednotlivé složky míseny mechanicky, příklad můžeme vidět na obrázku 4, čímž se liší například od slitin, které jsou také heterogenní. U slitin, ale jednotlivé fáze vznikají fázovými přeměnami (tuhnutí) a jsou blízko termodynamické rovnováže.



Obr. 4 Příklad mechanického míšení kompozitního materiálu (Tomková, 2016)

Samotné kompozity lze rozdělit podle délky vláken do dvou skupin. První skupinu tvoří krátko vláknové ($\frac{l}{D} < 100$), kde „L“ je délka vlákna a „D“ jeho průměr, a druhou dlouho vláknové ($\frac{l}{D} > 100$). Nahrazením kompozitu za běžný materiál, jako je například ocel, může dojít ke snížení hmotnosti, ale zejména dojde ke zlepšení mechanických vlastností. Hmotnost kompozitu lze také ovlivňovat samotným množstvím jednotlivých složek, jejichž poměr lze upravit přímo pro daný účel. Specifické vlastnosti samotného kompozitu lze upravit podle požadavků, aby byl odolný například proti chemikáliím, nebo měl elektrické a teplotní izolační vlastnosti, což přináší výhody v porovnání s tradičními materiály. Na tyto vlastnosti může mít vliv vzájemná adheze jednotlivých komponentů a správné provedení výrobních kroků jako je například lubrikace. Lubrikace je proces při kterém jsou na čerstvě vyrobená vlákna ve formě emulze nanášené jednotlivé vrstvy, které zabraňují poškození jednotlivých vláken a zároveň zlepšují adhezi s matricí.

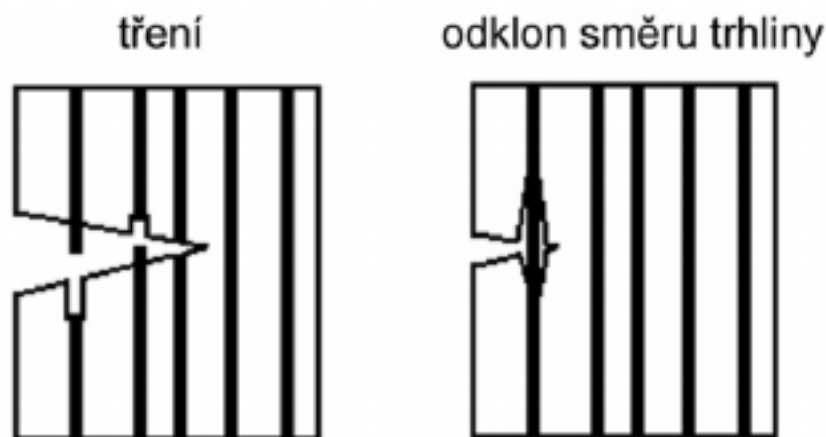
Další charakteristickou vlastností je tzv. synergický efekt, který můžeme vidět na obrázku 5, což je dosažení takových vlastností, které jednotlivé látky nemají, a to ani když použijeme sumaci. Aby bylo dosaženo tohoto efektu, tak musí být dvě či více složek v souladu, čímž dosáhneme jedinečné struktury.



Obr. 5 Hliníková pěna (kompozit), vložená do hliníkové trubky ke zvýšení odolnosti tlakovému namáhání. (Dad'ourek, 2008)

Jako konkrétní příklad může být například grafitové vlákno, které sice podléhá oxidaci, ale oproti tomu má poměrně dobré mechanické vlastnosti. Další materiál bude hliníková slitina, která nepodléhá oxidaci, ale s klesající teplotou klesá zároveň pevnost. Spojením materiálů vzniká kompozit, který je antioxidační a zároveň má stálou pevnost až do teploty 500°C.

Mezi kompozitní materiály vyznačujícími se velkou pevností řadíme například kompozit složený z keramické matrice vyztužený keramickými vlákny. Jak matrice, tak i disperze jsou samostatně velmi křehké, ale výsledný kompozit je charakteristický vysokou houževnatostí, že je odolnější proti křehkému porušení. Lomová trhlinka je v kompozitu bržděna na rozhraní matrice a vláken, jak je znázorněno na obrázku 6. Nejzásadnější vliv na vlastnosti kompozitu má tedy kvalita rozhraní mezi maticí a výztuhou.



Obr. 6 Brzdění trhliny pomocí výztuhy kompozitu (Daďourek, 2010)

Tab. 2 Výhody a nevýhody kompozitních materiálů (Daďourek, 2008)

Výhody	Nevýhody
Vynikající poměr pevnosti a tuhosti k hustotě	Náklady na materiál
Dobrá odolnost proti tečení a únavě	Náročnost výroby
Vysoká pevnost za zvýšených teplot	Složité opravy
Značná houževnatost	Rozptýl materiálových vlastností
Korozivzdornost	Anizotropie
Anizotropie	Složité zkoušky materiálů a inspekce

Z tabulky 2 můžeme porovnat výhody a nevýhody kompozitů. Kvalitu kompozitů ovlivňuje také přesná orientace vláken a vytvrzovací postup. Většina kompozitů patří k anizotropním materiálům. Anizotropní materiály mají určité vlastnosti, které jsou závislé na směru měření. Za anizotropní materiály můžeme považovat základní jednotky (krystality) technických materiálů, ale jako celek je materiál brán jako izotropní – keramika nebo kovy. Izotropní materiály, v oblasti kompozitů, mají ve všech směrech měření stejné vlastnosti. V neposlední řadě také okolní prostředí, jako například teplota, vlhkost vzduchu a další.

Tab. 3 Porovnání kompozitních materiálů s ostatními materiály (Daďourek, 2008)

	Pevnost (MPa)	Modul pružnosti (GPa)	Tepelná vodivost (W/K.m)	Hustota (g/cm ³)
Vyztužené plasty	250-900	17-45	0,0-0,7	1,6-2,0
Ocel	480-600	206	52-63	7,85
Nerez	630-650	210	33	7,70
Hliník	290	69-75	84-170	2,7

Z tabulky 3 můžeme vyčíst, že konkrétní druh kompozitů, vyztužené plasty, mají velmi odlišné vlastnosti oproti oceli, nerezů nebo hliníku. Jako konkrétní vlastnosti jsou v tabulce uvedeny: pevnost, modul pružnosti, tepelná vodivost a hustota. (Mechanika, 2008; GDP Koral, 2009; Daďourek, 2010, Daďourek, 2008; Pf.jcu.cz, 2021; Očadlík, 2012; MM Science Journal, 2010)

3 Výztuže (disperze) kompozitních materiálů

Výztuže mohou mít velmi rozmanitý tvar i velikost. Nejmenší rozměry, v řádech nanometrů, zahrnují nanokompozity, o něco větší jsou tzv. mikrokompozity, které se v průmyslu využívají nejvíce. Asi největší, makrokompozity, se využívají nejvíce ve stavebnictví, kde se jejich rozměr pohybuje kolem 100 mm, takovým příkladem může být železobeton, který můžeme vidět na obrázku 7. Železná nebo ocelová výztuž je betonem obvykle zalita a slouží k vylepšení jeho vlastností. Ocelová konstrukce je do betonu kladena tak, aby při zatížení na konstrukci působily tahové síly. Beton má velmi dobré vlastnosti v tlaku, nikoliv v tahu, čehož lze docílit ocelovou konstrukcí. V polovině 20. stol. měly železobetonové konstrukce velký význam ve vojenství při výrobě bunkerů a řopíků. (Svoboda, 2018)



Obr. 7 Ukázka výroby železobetonu (Hennlich, 2021)

Kompozity se vyrábějí zejména proto, že výztuž samostatně s odpovídajícími vlastnostmi, použít nelze.

Kompozity dělíme na tři druhy: první, druhý a třetí druh, což závisí na typu disperze.

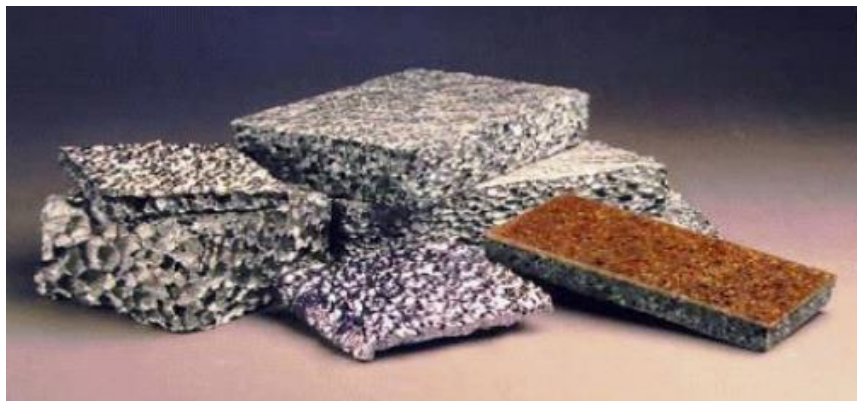
Kompozity prvního druhu obsahují disperzi z pevné látky (vlákna, desky a částice), jsou v technice nejdůležitější a dále se dělí dle matrice na plastové, kovové a keramické, ojediněle i skleněné. Druhý druh má disperzi ve formě kapaliny (olej). Není tolik častý jako kompozit prvního druhu. Nejčastější využití nalezneme u samomazných ložisek, například u strojů pracujících pod hladinou. Samomazné

ložisko včetně karteru můžeme vidět na obrázku 8. Takové ložisko má tu výhodu, že se nemusí mazat tak často a boční kryty zajišťují ochranu před okolním prostředím jako je například prach a voda. Taková ložiska se využívají také u zemědělských strojů jako je například upevnění diskové sekce na hřídeli.

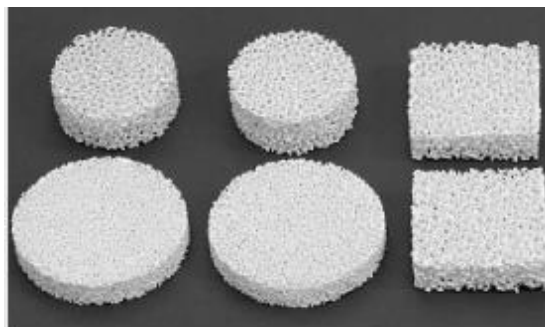


Obr. 8 Kryté samomazné ložisko (industrial cz, 2021)

Disperzi ve formě plynu obsahuje třetí druh kompozitu, který využívají hmoty pěnového charakteru, jako například kovové pěny (hliníková pěna), pěnoplasty (pěnový polystyren) na obrázku 9 a pěnokeramika (pěnokorund) na obrázku 10.



Obr. 9 Pěnokeramika (Daďourek, 2010)



Obr. 10 Pěnoplasty (Vavrčík, 2018)

Disperze v kompozitu udává vlastnosti materiálu, které do jisté míry závisí na podílu hmotnosti a tvaru disperze. Rozlišujeme následné typy disperzí:

Částicové disperze:

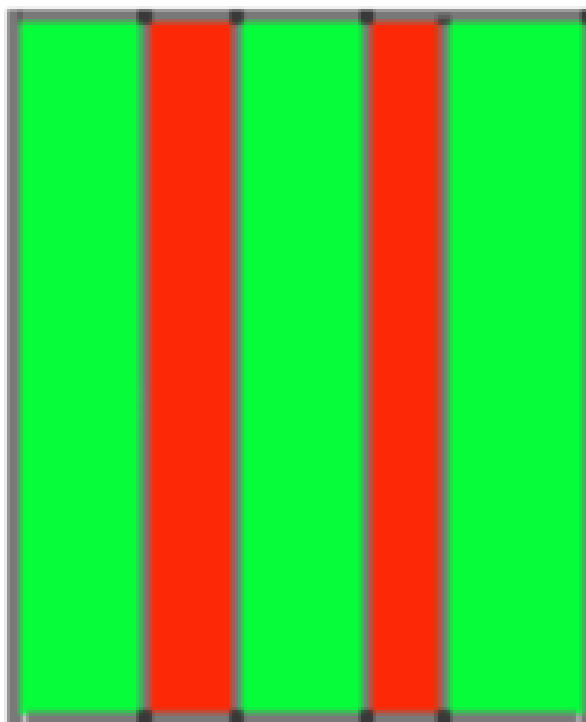
Částice mohou mít přírodní minerální nebo průmyslově-chemický původ. Pomocí výztuže můžeme zvýšit tuhost a zlepšit tvarovou stálost přidáním anorganických částic. Elastomery zvyšují jeho houževnatost a sulfid s grafitem zlepšují kluznost a zvyšují otěruvzdornost.

Směr útvaru výztuže nepřesahuje rozměry ostatních.

- Jednosměrné: tyčinky a jehličky
- Vrstevnaté: destičky
- Izometrické: globule

Deskové disperze

- Speciální druh, ve kterém se ztrácí rozdíl mezi disperzí a maticí. Stejným způsobem je možné využít dvě střídající se fáze považovat za dvě matrice, které dokážou držet tvar. Deskový kompozit můžeme vidět na obrázku 11.



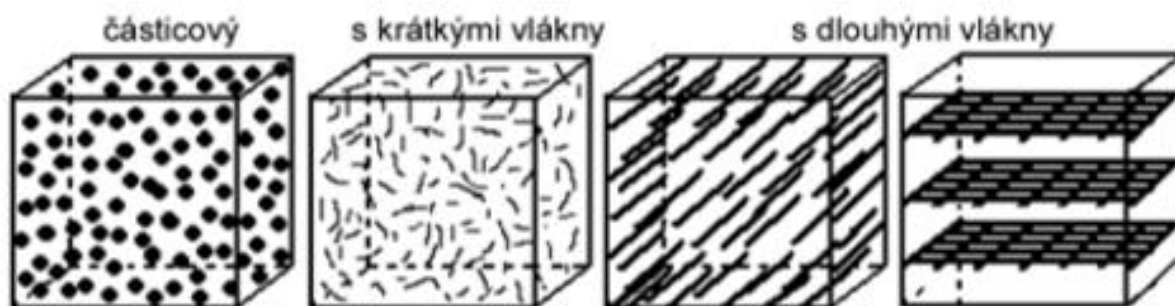
Obr. 11 Desková disperze (Dařourek, 2010)

Vláknité disperze:

U vláknité disperze rozlišujeme tři druhy, které jsou znázorněné na obrázku 12.

Obvykle jeden rozměr výztuže výrazně převyšuje dva zbývající.

- Krátká: pevnost se nevyužívá v plné míře, vlákna jsou mnohem menší než daný výrobek
- Dlouhá: pevnost se využívá úplně, vlákno je po celé délce výrobku
- Spojitá: jsou po celé délce výrobku (Daďourek, 2010; Vnouček, 2021; Steidl, 2005)



Obr. 12 Vlákniatá disperze kompozitů (Daďourek, 2010)

4 Matrice kompozitních materiálů

Matrice je prvek, který zajišťuje spojitost disperzí v jeden komplexní celek, zajišťuje rovnoměrné rozložení tlaku a síly na vlákna a také udržuje správný směr výstužných vláken. Mimo jiné také chrání vlákna před vlivy vnějšího prostředí a izoluje od sebe jednotlivá vlákna výztuže, čímž zabraňuje spojitým trhlinám a prodlužuje tak jejich životnost. Obecným mechanickým požadavkem na matici je dobrá adheze k výztuži a dobrá mezní tažnost.

Rozdělení kompozitních materiálů dle povahy jejich matrice je následující:

- s kovovou maticí (metal matrix composites – MMCs)
- s polymerní maticí (polymer matrix composites – PMCs)
- s keramickou maticí (ceramic matrix composites – CeMCs)
- s uhlíkovou maticí (carbon matrix composites – CaMCs) (Daďourek, 2010)

4.1 Kompozity s kovovou maticí (MMCs)

Kompozity s kovovou maticí využívají vhodné vlastnosti kovových materiálů, z nichž je matrice kompozitu vyrobena. Tyto vlastnosti se odvíjejí od použitého kovu. Obecně však platí, že nejvyužívanějšími vlastnostmi kompozitních materiálů s kovovou maticí jsou teplotní a elektrická vodivost, teplotní odolnost, vyšší smyková pevnost, lepší tvárnost a oteruvzdornost. V porovnání s kompozity s plastovou maticí mají však vyšší výrobní náklady. Nejčastěji používané kompozitní materiály s kovovou maticí jsou vyráběny z hliníkové slitiny, titanové slitiny a tříložkové superslitiny niklu, kobaltu a železa. Vyžití nalezneme například ve vojenství na pancéřování, kde se využívá ocel vyztužená pravděpodobně nitridem boru, protože nitrid boru se nerozpouští v roztavené oceli. (Ped.muni.cz, 2021, Vnouček, 2021)

4.2 Kompozity s polymerní maticí (PMCs)

Kompozity s polymerní maticí využívají z důvodu odolnosti vůči rzi. Tyto vlastnosti se ovšem odvíjejí od materiálů, ze kterých je vlákno vyrobeno. Pokud použijeme křemenná či skelná vlákna, stává se takový materiál elektricky nevodivý. Z ekologických důvodů se ve velkovýrobách postupně nahrazují reaktoplasty za termoplasty zejména z důvodů recyklovatelnosti. Výhody závisí na použití druhu vláken, například pokud budou aplikována uhlíková vlákna, vzniká dobrá propustnost RTG záření. (Ped.muni.cz, 2021)

4.3 Kompozity s keramickou maticí (CeMCs)

Kompozity s keramickou maticí mají dobré tahové vlastnosti, a to i za vyšších teplot. Jak už název napovídá, tak matrice se skládá nejčastěji ze samotné keramiky, sklo-keramiky nebo skla. Nevýhodou je vysoká křehkost a vysoká citlivost na objemový podíl keramických vláken. Pokud by keramická vlákna přesahovala 50 % objemu, materiál by se stával pórovitým, čímž by se značně zmenšilo prodloužení materiálu před přetržením. (Ped.muni.cz, 2021)

4.4 Kompozity s uhlíkovou maticí (CaMCs)

Některé vlastnosti kompozitních materiálů s uhlíkovou maticí lze srovnat s kompozity s maticí keramickou. Materiál vyztužený uhlíkovými vlákny se díky své tepelné odolnosti využívá například na brzdách letadel nebo na plášti raketoplánu. (Mechanika, 2008; Vnouček, 2021; Daďourek, 2010; Ped.muni.cz, 2021)

5 Vláknové kompozity

Vlákno je útvar, který svojí délkou mnohonásobně přesahuje ostatní rozměry, zejména svůj průměr. V dnešní době se nabízí jako možnost vyztužování celá řada vláken, kterou současná věda stále rozšiřuje. Nejčastěji se vlákna rozdělují na tyto typy: přírodní, skleněná, uhlíková, aramidová, polymerová a ocelová vlákna. Výzkum se nejvíce specializuje na kombinaci pevných a tuhých vláken ve využití spolu s plastovou maticí. Takový materiál se dnes hojně využívá z důvodu vysoké pevnosti, tuhosti a houževnatosti v součinnosti s velmi nízkou hmotností materiálu.

Výroba samotných vláken bývá nejčastěji tajemstvím duševního vlastnictví a patří do kategorie pokročilejších výrobních technologií.

- přírodní vlákna
- skleněná vlákna
- uhlíková a grafitová vlákna
- aramidová a silikonová vlákna
- polymerová vlákna
- ocelová vlákna (Hahn, 2013)

5.1 Přírodní vlákna

Proces získávání přírodních vláken je velmi individuální. Rozděluje se na několik kroků, z nichž některé mohou mít více variant.

Začátek získávání vláken je na poli kde vytrhané nebo posečené rostliny, záleží na druhu rostliny, jsou rozloženy na zemi a následně odvezeny. Ve výrobě začínají procesem máčení, aby změkly a oddělilo se vlákno od zbylého pletiva. Následně se oddělují vlákna ručně. Například kompozity s vlákny vytvořených z konopí se nejčastěji využívají v osobních automobilech na přístrojové desky nebo na dveřní panely z důvodů dobré kombinovatelnosti s termoplastickými maticemi. Nejpoužívanější konopná vlákna můžeme vidět na obrázku 13. (Atelier, 2019)



Obr. 13 Konopná vlákna (Atelier, 2019)

5.2 Skelná vlákna

Postup výroby se provádí tažením taveniny připravené v platinových pecích. Následná vlákna se ochlazují a opatřují ochrannou vrstvou, která zlepšuje smáčivost organickými matricemi, zvyšuje přilnavost a snižuje možnost oxidace. Dříve byla tato vlákna součástí azbestu, který je dnes zakázaný. V dnešní době se můžeme s těmito vlákny setkat v technických vatách, které se užívají jak ve stavebnictví, tak v automobilovém průmyslu z důvodu tepelné izolace. Skelná vlákna můžeme vidět na obrázku 14. (Sklocement, 2021)

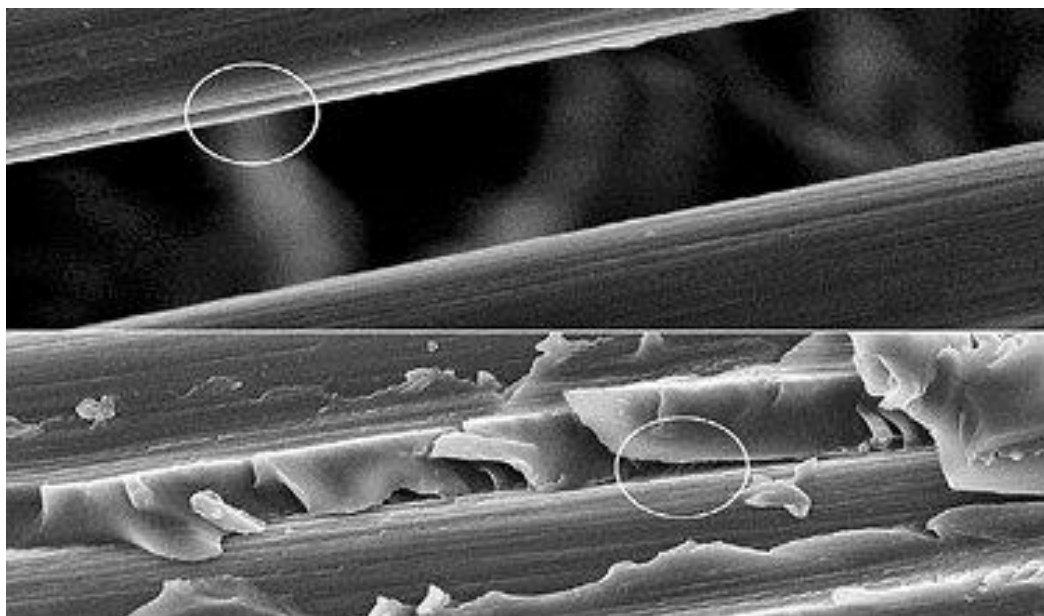


Obr. 14 Skelná vlákna (Sklocement, 2021)

5.3 Uhlíková vlákna

Vyrábí se pomocí pyrolýzy polyakrylonitrilových vláken, která se v první fázi zahřívají a protahují, aby se získala požadovaná orientace molekul. Následně se vlákno okysličuje v atmosféře při teplotě 220-230 °C po dobu 10hod. čímž se stabilizuje. Následuje grafítizace při teplotách od 1000 do 1500 °C a další protahování. Další krok je další grafítizace, tentokrát při teplotách 2500-3000 °C a pod elektrickým napětím. Další způsob výroby uhlíkových vláken využívá dehet.

Rozhodující vliv na vlastnosti kompozitního materiálu má délka a způsob uložení vláken. Jako příklad uvedu izotropii a anizotropii materiálu. Nejvýraznější izotropie bude u materiálu, kde budou vlákna stejného počtu ve všech směrech. Nejvýraznější anizotropie bude naopak u materiálu, kde budou dlouhá vlákna souměrně uložena. O něco nižší bude anizotropie u materiálu, kde budeme skládat vlákna ve dvou osách. Uhlíková vlákna můžeme vidět na obrázku 15. V horní polovině obrázku vidíme samotné uhlíkové vlákno a v dolní polovině je uhlíkové vlákno spojeno vinylesterem v uhlíkový kompozitní materiál.



Obr. 15 Uhlíková vlákna (Daďourek, 2010)

Uplatnění nejpoužívanějších uhlíkových vláken popisují v kapitole 7.1, kde je popsáno uplatnění zejména v automobilovém průmyslu. (Daďourek, 2010)

5.4 Aramidová vlákna

Aramidová vlákna jsou obchodně známá jako Kevlarová vlákna. Jedná se o plně organické vlákno s velmi vysokou pevností a relativně malou hmotností. Vlákno se vyrábí rozpuštěním polymeru v koncentrované kyselině a následně je vytlačováno přes trysky do studené vody. Následuje vysušení a impregnace. Aramidové vlákno můžeme vidět na obrázku 16.

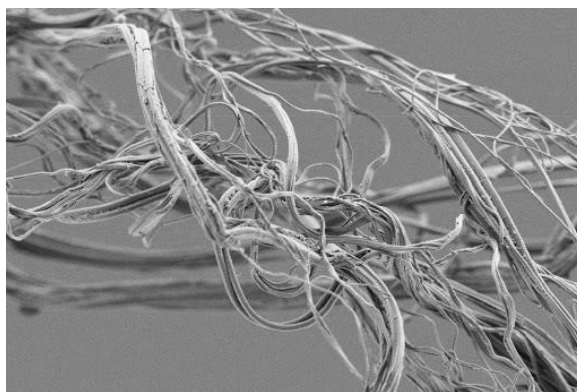


Obr 16 Aramidová stříž (Wikipedia, 2020)

Uplatnění aramidových vláken nalezneme hlavně v oděvním průmyslu, kde se využívají pro oděvy do horkého prostředí nebo v automobilovém průmyslu, kde se využívají při výrobě filtrů. (Wikipedia, 2020)

5.5 Polymerová vlákna

Základní složkou pro výrobu vláken jsou plasty. Může se jednat například o polypropylen, polyethylen, polyester, nylon, aramid, nebo směsi těchto složek. Nejvíce využívaným typem polymerových vláken jsou vlákna polypropylenová. Jejich největší předností je vysoká odolnost proti kyselému i zásaditému prostředí. Za nevýhodu u polymerových vláken lze považovat vyšší citlivost proti UV záření a nízkou požární a teplotní odolnost. Polymerová vlákna si můžeme prohlédnout na obrázku 17. (Fibribet, 2010)



Obr. 17 Polymerová vlákna (Fibribet, 2010)

5.6 Ocelová vlákna

Ocelová vlákna jsou nejpoužívanější ve stavebnictví, a to do betonu. Hlavní funkcí vláken spočívá v eliminaci vzniku trhlin. Ocelová vlákna můžeme vidět na obrázku 18. (Fibribet, 2010)



Obr. 18 Typy ocelových vláken (Fibribet, 2010)

5.7 Produkty z kompozitních vláken

Vlákna se nejčastěji formují do různých polotovarů v závislosti na metodě, kterou se vyrábí. Nejhojněji se vlákna splétají do pramenů, které se využívají jako základní produkt ve výrobě dalších polotovarů. Některé z produktů můžeme vidět na seznamu níže:

- Sekané prameny – lisovací a vstřikovací směsi
- Mletá vlákna, znázorněná na obrázku 19 – velmi křehká – sklo

-
- Rovingy – metoda stříkání, pultruze (nepřetržitý druh výroby vláken kompozitů) nebo navíjení
 - Prameny bez zákrutů
 - Příze, znázorněná na obrázku 20– délková textilie z jednoho nebo více vláken
 - Pramencové tkaniny – tkaniny vyrobené výlučně z pramenů
 - Rovingové tkaniny, znázorněné na obrázku 21
 - Tkaniny z příze
 - Rohože – sekaná vlákna v součinnosti s polymerními lepidly
 - Prepregy – rovingy uspořádané paralelně, tkaniny nebo rohože s polymerní matricí – např. termoplasty a reaktoplasty (Mechanika, 2008; Vaňková, 2008; Daďourek, 2010; Hahn, 2013, Prefa Kompozity, 2018)



Obr. 19 Rozemletá skelná vlákna (Element, 2021)



Obr. 20 Příze (Element, 2021)

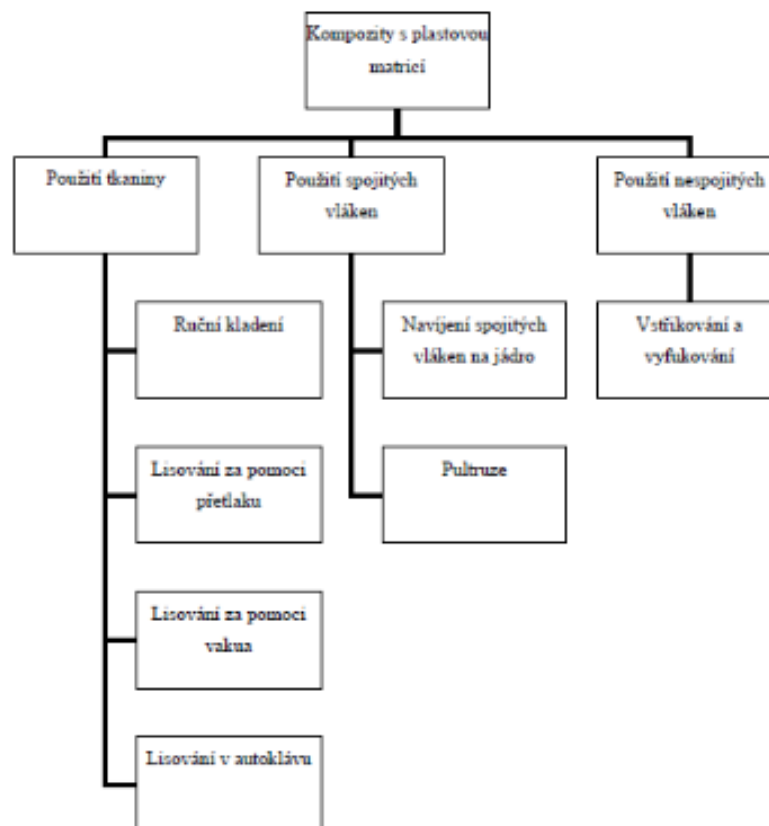


Obr. 21 Rovingové tkaniny (Element, 2021)

6 Výroba kompozitu

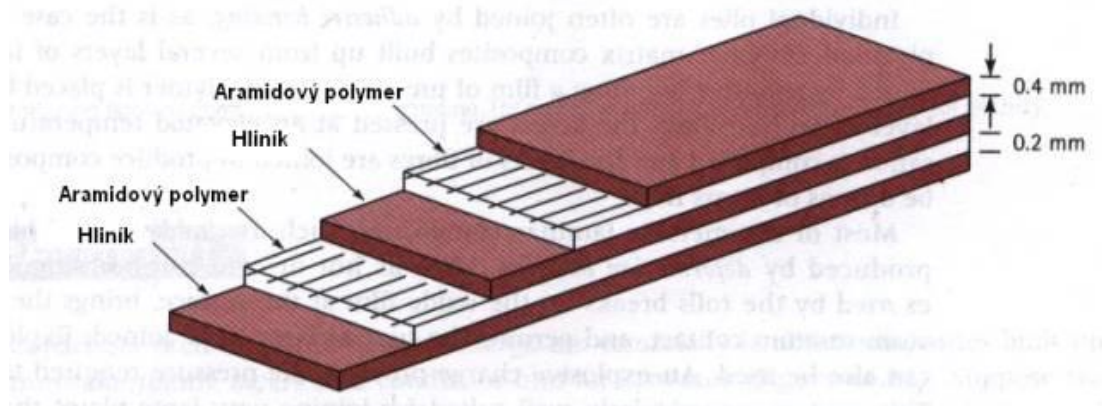
Kompozity všech technologií můžeme rozdělit podle druhu formy na otevřené (jednodílné) nebo na uzavřené. Typ formy určuje rychlost odpařování ředidla pryskyřice a pryskyřice samotné. Takováto technologie spočívá ve spojení vlákna a disperze, což závisí na materiálu matrice.

Na obrázku 22 je uveden diagram výroby kompozitů s plastovou matricí. (Vaňková, 2017)



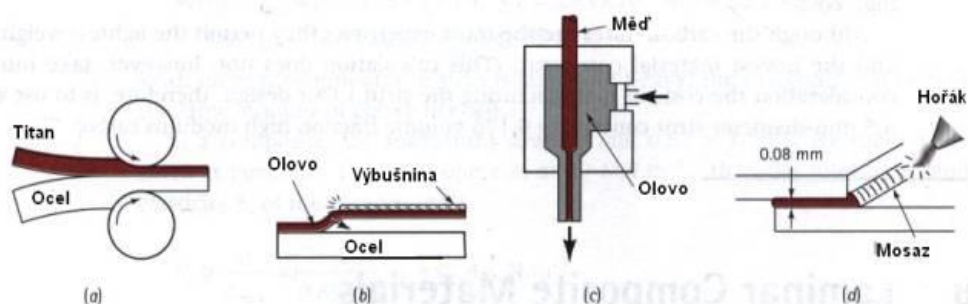
Obr. 22 Kompozity s plastovou matricí (Mechanika, 2008)

Na obrázku 23 můžeme vidět výrobu dekového kompozitu s aramidovou maticí.



Obr 23 Výroba aramid-hliníkového kompozitu (Vaňková, 2017)

Na obrázku 24 můžeme vidět různé způsoby výroby laminárních kompozitů.



Obr 24 Způsoby výroby laminárních kompozitů (Vaňková, 2017)

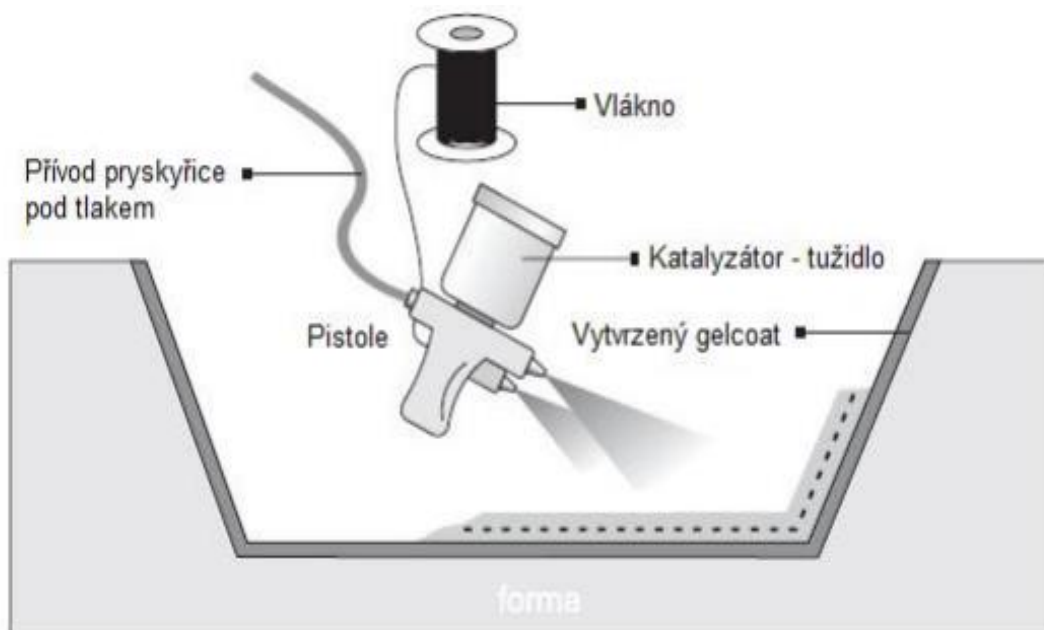
6.1 Ruční kladení

Základní výrobní technologie. Forma se nejprve opatří speciálním povlakem, který se může nanést ručně nebo stříkáním. Následně, po částečném vytvrzení, se do formy vrství jednotlivé výztuže, které se ručně nasycují pryskyřicí, která se nanáší buď to štětcem nebo válečkem. Nejvíce se využívá k výrobě prototypů kvůli své nízké výrobní nákladovosti a malé náročnosti.

6.2 Stříkání

Jak už název napovídá, tak se jedná o nanášení vlákna a pryskyřice zároveň. Materiál se stříká opět do otevřené formy, která je připravená stejně jako u ručního kladení. K takovému způsobu se používá speciálně uzpůsobená vzduchová pistole, která se ovládá nejčastěji ručně. Tento způsob se využívá nejvíce v sériové výrobě.

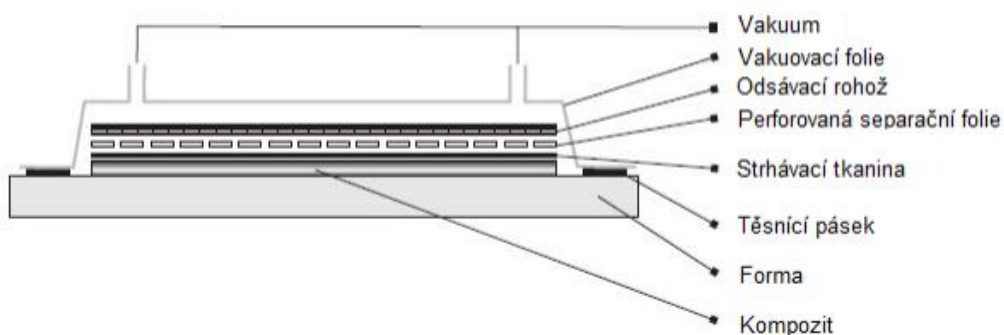
V porovnání s ručním kladením je tento způsob celkem nákladný, jestli že uvažujeme i pořizovací náklady pistole a také vzniká více odpadu. Schéma výroby je znázorněno na obrázku 25.



Obr. 25 Schéma stříkání (Mechanika, 2008)

6.3 Lisování

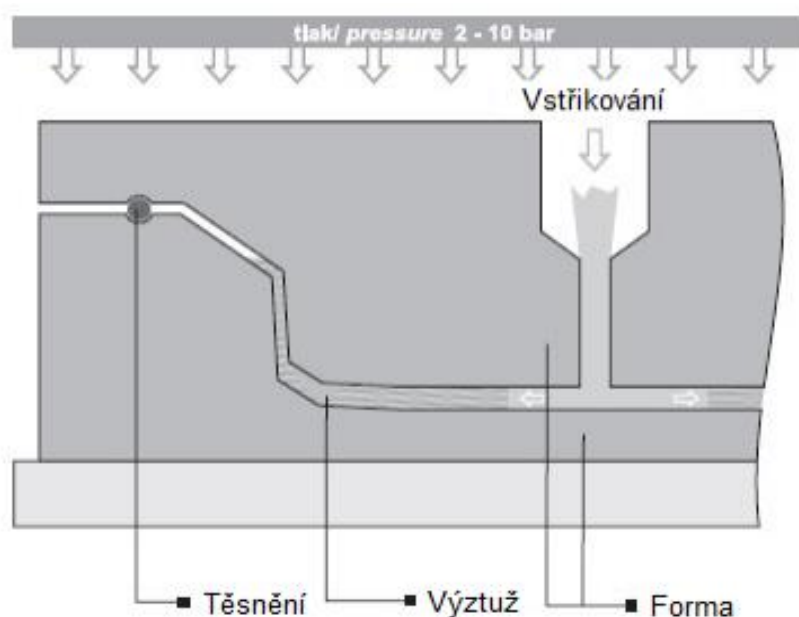
U lisování rozlišujeme lisování za studena, vakuem a za použití tepla a tlaku v autoklávu. Nejjednodušší a zároveň nejlevnější způsob lisování je lisování za studena ve dvoudílné formě. Naopak nejdražší, nejsložitější a nejnákladnější na výrobu je lisování v autoklávu, které se využívá při lisování součástek automobilů, letecký průmysl a kosmický průmysl. Za nejproduktivnější metodu z lisování můžeme označit lisování za tepla, kde se využívá dvou nebo vícedílných vyhřívaných forem. Lisování vakuem můžeme vidět na obrázku 26.



Obr. 26 Schéma lisování (Mechanika, 2008)

6.4 Vysokotlaké vstříkování

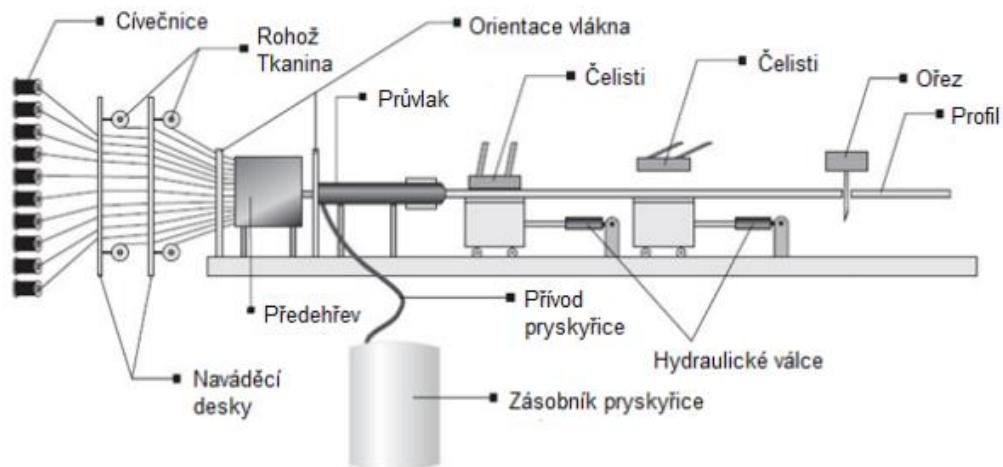
Kvůli vysokým vnitřním tlakům, které jsou nezbytné pro tuto výrobu, musí být formy robustní. Formy jsou buď to z kovového materiálu nebo polymerbetonu. Forma se vyloží skelnými vlákny, uzavře a následně se injektážní pistolí vstříkuje do formy pojivo. Pojivo se do formy vstříkuje, dokud nedojde k přesycení, dokud nezačne výztuž otvorem vytékat. Tento druh výroby se nejčastěji používá při sériové výrobě, kvůli krátkým cyklům. Mezi největší nevýhodu patří vysoké pořizovací náklady na vstříkovací zařízení, jehož schéma je vyobrazeno na obrázku 27



Obr. 27 Schéma vysokotlakého lití (Mechanika, 2008)

6.5 Tažení (Pultruze)

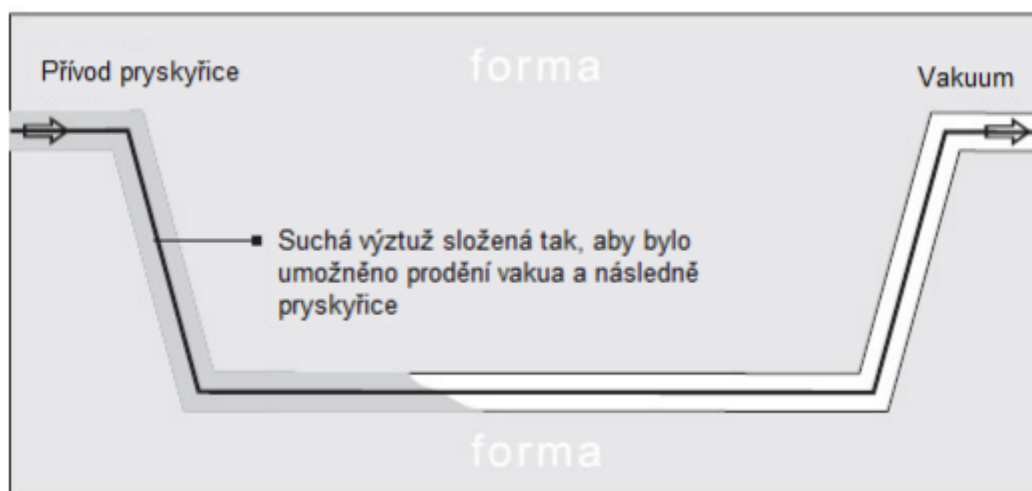
Pomocí této metody lze vyrábět mnoho druhů profilů: plné, duté, tvarované profily, profily s velmi vysokým obsahem výztuže (až 80%). Touto metodou se vlákna postupně táhnou skrz zahřátou průtažnici. Proces tažení je relativně levný, s malými pořizovacími náklady, ovšem za nevýhodu lze považovat nemožnost použití pro složité geometrické útvary. Nejčastěji používaný je skleněný rowing a méně často je používaná uhlíková premace. Schéma výroby pultruzí můžeme vidět na obrázku 28.



Obr. 28 Schéma pultruze (Mechanika, 2008)

6.6 Vakuová technologie

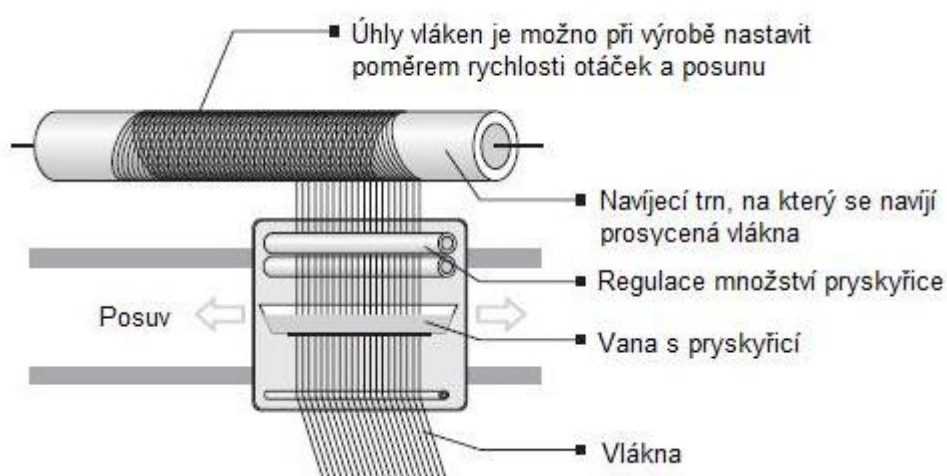
Při vakuovém prosvycování rozlišujeme dvě technologie: dvoudílná forma – spodní díl je tuhý a vrchní pružný anebo prosvycování pod pružnou fólií. Prosvycování pod pružnou fólií probíhá s formou jako se používá u ručního kladení, ale místo druhé části formy použijeme pružnou fólii, která se k formě připevní pomocí těsnících pásek a vzduch se odsává kanálky po obvodu formy. Tato technologie se využívá u velkorozměrových dílů – části trupů letadel, kapotáže, lopatky větrných turbín a paluby lodí. Metoda dvoudílné formy se využívá, pokud potřebujeme dílce oboustranně hladké. Výroba vakuovou technologií je znázorněna na obrázku 29.



Obr. 29 Princip vakuového prosvycování (Mechanika, 2008)

6.7 Navijení

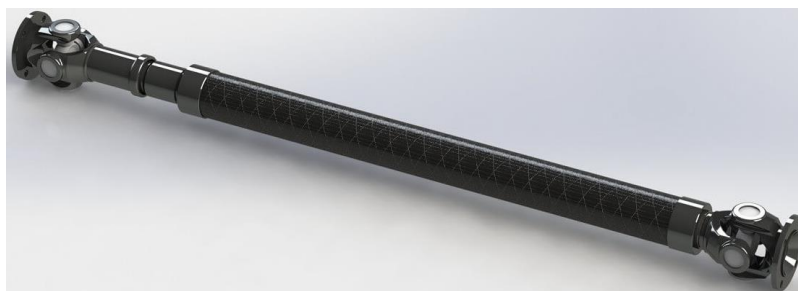
Výztuž se navijí na tvar výsledného výrobku, jak můžeme vidět na obrázku 30. Nejčastěji výrobky tvoří kolena, trubky, nádrže, nádoby a další dutá tělesa. Výztuž v tomto případě obvykle tvoří skleněné, uhlíkové, či aramidové vlákno. Nevýhodou této technologie je opět pořizovací cena navijecího zařízení, a navíc složité odstraňování vnitřních forem. Výrobky ale mají kvalitní povrchové a fyzikální vlastnosti. (Mechanika, 2008; Ausperger, 2016; Ped.muni.cz, 2021; Steidl, 2005; Prefa Kompozity, 2018; Ausperg, 2016; Mech.fd.cvut.cz, 2021)



Obr. 30 Navijecí schéma (Mechanika, 2008)

7 Vybrané příklady uplatnění kompozitních materiálů

Další vývoj kompozitních materiálů budou nejvíce určovat odvětví jako jsou letectví, vojenství a kosmonautika. Odborníci z německo-rakousko-švýcarského odborového svazu Carbon Composites se domnívají, že v příštích letech se bude nárůst kompozitních materiálů v těchto odvětví pohybovat mezi 8-13 %. Toto tvrzení vychází z plánů leteckých společností, které chtějí nasazovat velká dopravní a transportní letadla jako například Airbus A380, Boeing 787 Dreamliner. V roce 2022 by měla podle předpokladů tržba za osobní letadla s podílem uhlíkových vláken činit zhruba 6 mld. USD (cca 132,6 mld. Kč). Ve vojenském průmyslu by se tržby za techniku s kompozity měly pohybovat kolem 1,4 mld. USD (cca 30,94 mld. Kč). Výše uvedená odvětví spotřebovávají ročně kolem 13 900 tun kompozitů s uhlíkovými vlákny, čímž si zaručují celosvětové prvenství ve spotřebě, která činí zhruba 46 500 tun. Na spotřebě se podílejí 30 %, ale na meziročním obratu dokonce 50 %. Nejžádanější kompozitní materiály jsou plasty vyztužené skelnými vlákny. Kompozitní materiály v osobních automobilech se také hojně využívají, a to buď za účelem dobrého vzhledu nebo při tuningu sportovních automobilů kvůli snížení hmotnosti (kap. 7.3). Hmotnost můžeme snížit například výměnou kardanového hřídele (pokud je to automobil 4x4). Kardanové hřídele se ale také využívají u nákladních automobilů a jsou často měněny za kompozitní. Odborníci tvrdí, že výrobou kompozitní hřídele místo klasické ocelové dokážou ušetřit až 50% hmotnosti. Kompozitní kardanovou hřídel můžeme vidět na obrázku 31. V nákladní dopravě se využívají kompozitní materiály zejména kvůli aerodynamice, ale také kvůli bezpečnosti (kap. 7.6). Kompozitních materiálů ale využíváme i v běžném životě, aniž bychom si to uvědomovali. Příkladem může být plynová tlaková lahev, kterou využíváme nejen v domácnosti, jako zdroj plynu pro kuchyňský sporák, ale také jako palivo pro stroje k tomu určené (kap. 7.2) (Technický týdeník, 2016, Ace IT s.r.o. 2002)

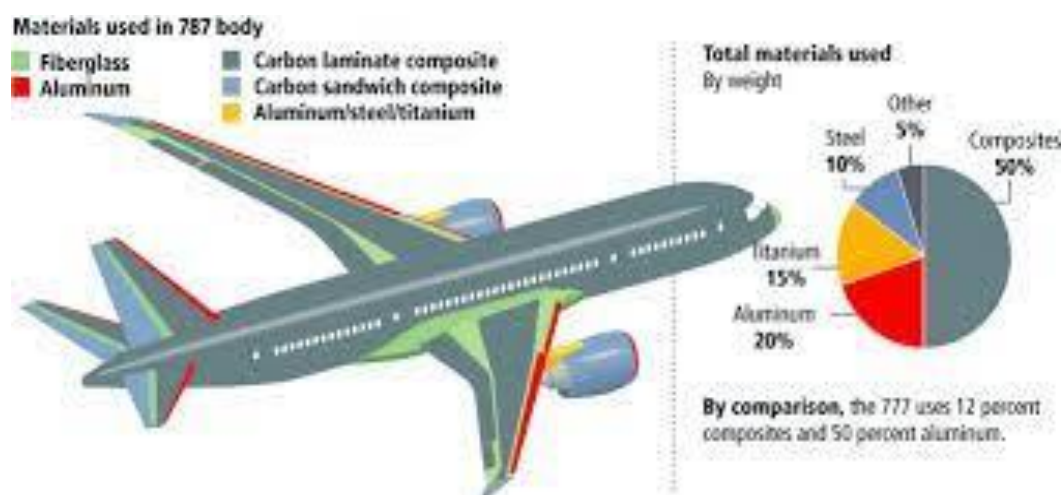


Obr. 31 Kompozitní kardanová hřídel (ACE IT s.r.o. 2002)

7.1 Kompozitní materiály v leteckém průmyslu

„Kompozitní materiály jsou pro letecký průmysl důležité, protože poskytují ve srovnání s kovovými součástmi stejnou nebo větší konstrukční pevnost, ale také menší podíl výměn,“ říká Scott Causey, specialista na letecký průmysl ve společnosti Seco.

V leteckém průmyslu se nejčastěji na trup letadla využívají skelná vlákna, aramidová vlákna a uhlíková vlákna. Na části motorů a brzdových součástí se z důvodu vysoké teploty využívají nejčastěji kompozitní materiály s keramickou maticí. Využití kompozitních materiálů můžeme vidět na obrázku 32, které také snižuje náklady na montážní sestavy, protože dřívější kovové součásti lze v některých případech nahradit celkem z kompozitního materiálu.



Obr. 32 Využití kompozitních materiálů na trupu letadla (Beneš, 2021)

Dále se také využívají kompozity zpevněné dlouhými vlákny s maticí polykrystalického polyfenylenového sulfidu (PPS). Tyto materiály tvoří více než 1000 dílů pro Airbus A380, a to nejen na trupu a křídlech letadla ale také v interiéru, jako například dvířka, klapky, schůdky, podlahové panely a další. (MM Science Journal, 2010; Beneš, 2021)

7.2 Kompozitní LPG lahve pro pohon manipulační techniky

Vozidel s plynovým pohonem stále přibývá, ať už se jedná o osobní automobily nebo o vysokozdvížné vozíky či jinou manipulační skladovou techniku, jak můžeme vidět na obrázku 33. Při používání osobních automobilů mají plynná paliva výhodu jak po stránce ekologické, tak po stránce ekonomické. U manipulační techniky jako jsou například výše uváděné vysokozdvížné vozíky, je největší výhodou že na rozdíl od

naftového motoru může tento stroj pracovat i v uzavřených prostorách. Jako nádrž na palivo se nejčastěji využívá výměnná 10kg propan-butanová lahev z oceli, která je postupně nahrazována lehčími a bezpečnějšími lahvemi z kompozitního materiálu. Pro porovnání, naplněná ocelová lahev váží cca 12kg, zatímco kompozitní lahev váží zhruba o polovinu méně což výrazně usnadňuje manipulaci. Porovnání ocelové lahve s kompozitními je představeno na obrázku 34. Lahve tvořené kompozitním materiálem jsou oproti ocelovým bežešvé. V případě požáru se materiál vytaví a plyn vyhoří a neexploduje. Takováto lahev má obdobné složení jako laminát, skelná vlákna nasycená pryskyřicí. Z tohoto důvodu uniká na trh mylná informace o úniku plynu skrz stěnu lahve, protože materiál je do určité míry prodyšný. Kompozit v tomto případě ale zajišťuje jen pevnost lahve a slouží jako obal vnitřní části, tzv. lineru, který je vyroben z vysoko hustotního polyethylenu, který má nulovou prodyšnost a stoprocentní těsnost. Složení takové lahve můžeme vidět na obrázku 33. Plnění kompozitních lahví probíhá stejně jako u klasické ocelové lahve. (Press Room, 2020)



Obr. 33 Složení kompozitní lahve na LPG (MM Science Journal, 2010)



Obr. 34 Porovnání ocelové lahve a kompozitních lahví (MM Science Journal, 2010)

7.3 Automobilový průmysl

První využití kompozitů u osobních automobilů se datuje k roku 1941, kdy Henry Ford experimentálně využil kompozitních materiálů. Takovému automobilu dal název „Soybean Car“ což v překladu znamená „sojové auto“, které můžeme vidět na obrázku 35. Jednalo se o materiál, který tvořily sojové oleje a konopná vlákna. Sojový olej tvořil základ fenolové pryskyřice, čímž dodával materiálu podle odhadů 10x větší odolnost proti proražení než ocel o stejné tloušťce. Tyto informace o „sojovém“ automobilu ovšem nejsou oficiálně ověřeny, protože během druhé světové války byly tyto prototypy zničeny. (Mac's Motor city garage, 2015)



Obr. 35 Soybean Car (Mac's Motor city garage, 2015)

Kompozitní materiály se v moderním automobilovém průmyslu začínaly používat zejména na střechy osobních automobilů, čímž došlo ke snížení hmotnosti, snížení těžiště a lepších pevnostních vlastností. Na jednotlivé části karoserií automobilky nejčastěji využívají karbon. Jako příklad využití kompozitních materiálů uvedu střechu BMW M3, kterou můžeme vidět na obrázku 36, kde byla využita CFRP střecha o tloušťce 1,2mm namísto původní, 1,8mm ocelové střechy. Toto řešení má za následek snížení hmotnosti automobilu o 6 kg a posunutí těžiště směrem dolů. (Seibon, 2019)



Obr. 36 Karbonová střecha BMW M3 (Seibon, 2019)

Kompozitních materiálů se v automobilovém průmyslu hojně využívá také z důvodu dokonalého tvarování karoserie. Například karoserie modelu italské automobilky Lamborghini Sesto Elemento se celý skládá celá z CFRP. Model automobilu je uveden na obrázku 37.



Obr. 37 Lamborghini Sesto Elemento (Seibon, 2019)

Kompozitní materiály se v automobilovém průmyslu nevyžívají jen na karosářské díly, ale také například na části motorů. O takové využití se zasloužila Honda S 2000 s motorem H22 o objemu 2,2 l. Při výrobě vložek válců tohoto motoru bylo využito směsi oxidu hlinitého a oceli vyztužené keramickými částicemi. Spolu se speciálně vyrobenou vložkou byl také vyroben píst, který byl klasicky kovaný, ale vyztužený ocelovým vláknem. Části motoru můžeme vidět na obrázku 38.



Obr. 38 Vložky válců (vlevo) a vyztužený píst motoru (vpravo) (Coche, 2002)

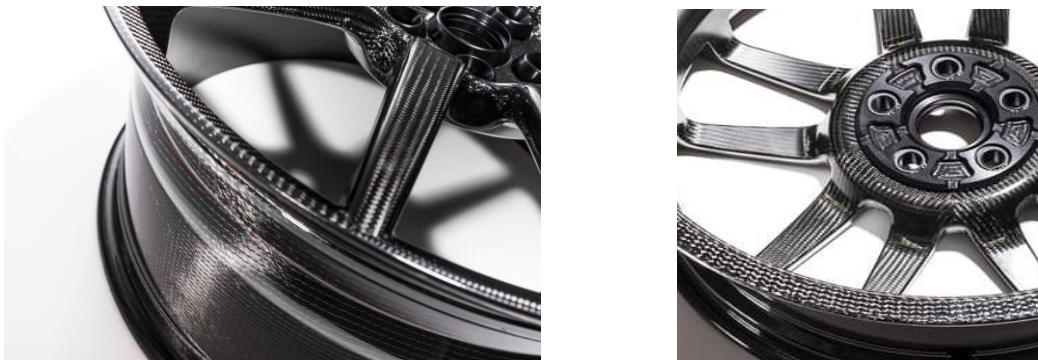
Šasi včetně nádrže, jednoho z nejlehčích, sériově vyráběných automobilů váží zhruba 90 kg. Jedná se o osobní sériově vyráběný supersport značky Koenigsegg Agera R, jehož konstrukce je tvořena CFRP monokok materiály. Za příplatek tento automobil nabízí také stahovací střechu nebo střešní box na lyže, který je také tvořen uhlíkovým vláknem. Automobil můžeme vidět na obrázku 39.



Obr. 39 Koenigsegg Agera R (Koenigsegg, 2015)

Kompozitní materiály využívá ale také koncern Volkswagen na výrobu blatníků. Jedná se o termoplast zpevněný dlouhými vlákny Celstan+ (LFT), který se vyrábí pomocí pultruze. Takový materiál má mimořádně vysokou kvalitu ve smyslu houževnatosti, tuhosti a bezproblémové povrchové úpravě. Kromě karoserie si mohou zájemci o sportovní automobil, konkrétně Ford GT, připlatit za

celokarbonové disky. Automobilka tvrdí, že jeden karbonový disk dokáže uspořit váhu 2 libry což je cca 0,9kg. Celokarbonový disk můžeme vidět na obrázku 40.



Obr. 40 Celokarbonový disk pro Ford GT (Sandvik, 2021)

Snížení hmotnosti se využívá nejen u sportovních automobilů ale i u Off-roadů z důvodu lepší průchodnosti terénem. (Sandvik, 2021; Koenigsegg, 2015; Chung, 2003; Coche, 2002)

7.4 Zemědělství

Nejčastějším materiálem využívaným v zemědělském odvětví je polyetylen. Kompozitní materiály můžeme nejčastěji vidět jako opěrné tyčky k sazenicím ve vinohradnictví a sadařství, stojky pro elektrické ohradníky a podlahové rošty v zemědělské výrobě. Kompozitní materiály v tomto odvětví můžeme využívat také například na přívod vody či jako nádrž na dešťovou vodu. Trubku vyrobenou z kompozitního materiálu můžeme vidět na obrázku 41.



Obr. 41 Drátěná vyztužená polyetylenová trubka pro přívod vody (Písačka, 2017)

Mezi základní přednosti uplatňované v zemědělství patří zejména dlouhá životnost s minimálními nároky na údržbu, velmi nízká hmotnost například roštů v živočišné výrobě – v porovnání s ocelí jsou kompozity o 75% lehčí než ocel a o 30% lehčí než

hliník. Snadná manipulace, dobrá odolnost proti povětrnostním vlivům včetně UV záření, a hlavně proti korodování. (Krmela, 2021; Písačka, 2017)

7.5 Železniční doprava

Stejně jako v automobilovém průmyslu se kompozitní materiály využívají velmi hojně, ať už se jedná o osobní či nákladní dopravu. Z kompozitů se nejčastěji vyrábějí jednotlivé části vlaků, ale také například kryty kolejnic, či pochůzkové rošty. Kompozitní materiál můžeme také nalézt u některých vagonů jakožto brzdové špalíky. Podle propočtů by mělo kompozitní brzdové obložení více vydržet, je o poznání lehčí, a hlavně se nebude ozývat nepříjemné pískání při zastavování vlaku. Technik uvádí, že starý litinový brzdový špalík váží cca osm kilo, tak nová kompozitní váží cca 3 kg. U nákladního vagónu tedy jen brzdové špalíky dokážou, podle odhadů, ušetřit minimálně 80 kg z celkové hmotnosti. Porovnání starého litinového brzdového špalíku a nového kompozitního můžeme vidět na obrázku 42. (Duchoň, 2019)



Obr. 42 Nový a starý brzdový špalík (Duchoň, 2019)

Základní přednosti kompozitů, které se uplatňují v železniční dopravě je nízká hmotnost, nehořlavost a nevodivost, možnost probarvení hmoty (nemusí se natírat dalšími nátěry), vysoká pevnost a tuhost a v neposlední řadě také snadná manipulace. (Duchoň, 2019)

7.6 Nákladní vozidla

Kompozitní materiály výrazně snižují hmotnost nástavbových součástí, což zvyšuje hmotnost přepravovaného nákladu. Nejčastěji se využívají při montáži chladírenských a mrazírenských nástaveb kvůli své vynikající termoizolaci. Jako u předchozích možností využití jsou vlastnosti podobné proto uvedu jen dlouhou životnost, minimální nároky na údržbu a termoizolaci.

Skelný laminát (SMC) se využívá na nákladních automobilech zejména za účelem zvýšení aerodynamiky a snížení úspory paliva. Jako příklad využití uvedu tahač Volvo FH s návěsem, který můžeme vidět na obrázku 43.



Obr. 43 Využití SMC u nákladních automobilů (Kotek, 2010)

V přední části kabiny jsou umístěny panely, které zabraňují tvorbě turbulence, čímž snižují spotřebu až o 0,6 % a střešní deflektor, pokud je správně nastaven, zabraňuje proudění vzduchu mezi návěs a kabinu, což dokáže snížit spotřebu až o 6,9%. O nejvyšší úsporu paliva se zasloužily boční panely, které jsou umístěny za kabinou a na podvozku mezi nápravami. Tyto doplňky zabraňují bočnímu proudění vzduchu a přispívají ke snížení spotřeby paliva. Panely mezi nápravami a za kabinou mají ale také bezpečnostní význam, při střetu s chodcem nebo cyklistou snižují pravděpodobnost vtažení osoby pod kola vozidla a fatálním následkům. (Bačovský, 2012; Kotek, 2010)

8 Závěr

Nyní dochází k masivnímu rozvoji a využívání kompozitů v technické praxi v různých odvětvích. Jedná se o průmysl, zdravotnictví, sport, lékařství atd. Zejména v leteckém odvětví končí postupně konvenční materiály a jsou nahrazovány kompozitními materiály.

9 Zdroje

Ace IT s.r.o. 2002, Kompozitní kardanové hřídele, [online]. ML Tuning, [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.kardan.cz/kardanove-hridele/kompozitni-kardanove-hridele>

Ausperger, A., 2016 *Technologie zpracování plastů* [online]. [cit. 8.4.2021]. Dostupné z:

https://publi.cz/books/183/18.html?fbclid=IwAR0i12McqfX2k5ED6jXmygVJNLwr og6AwK8q-qoATAAiawxYhRo_XUW2aDA

Atelier Johana, 2019 [online]. [cit. 8.4.2021]. Dostupné z: <https://www.atelierjohanna.cz/obchod/konopi/>

Bačovský, M., 2012. Použití kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu [online]. VUT Brno, 2012 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52257

Bareš, R., 1988 KNIHA O KOMPOZITNÍCH MATERIÁLECH: Kompozitní materiály. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. ISBN 04-734-88

Beneš L., 2021, Letecké materiály [online]. [cit. 2021-02-15] Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/matlet/OLR-Uvod.pdf>

Ceram Tec, 2021 Kovový matricový kompozit: Kovokeramické kompozity v lehkých kovových konstrukcích. [online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://www.ceramtec.cz/ceramic-materials/metal-matrix-composites/>

Coche español, 2002, Honda H Especificaciones, [online]. Coche 2002 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <http://www.automotriz.mobi/coches/car-enthusiasts/car-makes-models/99718.html>

Dad'ourek, K., 2010, Kompozitní materiály: Základy materiálového inženýrství, Podklady [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci [cit. 2020-10-20]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/ZMI/06kompozityzmi.pdf

Dad'ourek, K., 2008. Kompozitní materiály: Definice a rozdělení. Docplayer.cz [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008 [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/40349-Kompozitni-materialy-definice-a-rozdeleni.html>

-
- Duchoň, R., 2019, Novinka na české železnici. IRozhlas [online]. Ústí nad Labem: Český Rozhlas, 2019 [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/veda-technologie/technologie/ceske-drahy-brzdy-piskani_1911291411_pj
- Element Shop, 2021 [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.element-shop.cz/prumyslova-plniva-a-prisady/r-g-skelna-vlakna-mleta--200-um/>
- Escape6, 2019, Seibon Carbon, [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.escape6.cz/vyrobce/seibon-carbon-v131/>
- Fibribet, 2010, Vlákná do betonu [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.vlaknadobetonu.eu/>
- GDP Koral, 2009, Co jsou to kompozitní materiály. [online]. [cit. 2021-10-20]. Dostupné z: <https://www.gdpkoral.cz/co-jsou-kompozitni-materialy/w6>
- Hahn, F., 2013, Kompozity na bázi přírodních vláken [online]. Brno, 2013 [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/21464>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. Ústav chemie materiálů. Vedoucí práce Radek Přikryl
- Hennlich, 2021, [online] [cit. 2021-04-06] Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/vytapeni-a-chlazení-budov-kapilární-rohoze-typy-instalací-rohozi-918/zelezobetonova-deska.html>
- Chung, D., 2003. Composite Materials: Functional Materials for Modern Technologies. 1. London: Springer-Verlag London. ISBN 978-1-4471-3734-4.
- Industrial cz, 2021, Samomazné ložisko. [online]. Praha [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: https://www.industrial.cz/ucf-205--prirubova-loziskova-jednotka-litinova-detail-6AD3000101.aspx?gclid=Cj0KCQjwsLWDBhCmARIsAPSL3_2Yc57iWG0XWz3P68maNndh5elbxuHQIVRVMqifvIgduUBehxFAfZwaAmd1EALw_wcB
- Koenigsegg, 2015, Build128 Agera RS Station 1 – Chassis Bonding, [online]. 2015 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.koenigsegg.com/build128-agera-rs-station-1-chassis-bonding/>
- Kotek, P., 2010. Vědci a dopravci chtějí za deset let snížit emise nákladňáků o 20 %. Cestu už znají. Novinky [online]. VUT Brno, 2010 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z:

<https://www.novinky.cz/veda-skoly/clanek/vedci-a-dopravci-chteji-za-deset-let-snizit-emise-nakladaku-o-20-cestu-uz-znaji-54953>

Krmela, S., 2021 Užití lněných a konopných vláken [online]. Lnářský svaz [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/23/23-krmela_-_netextilni_uziti_prirodnich_vlaken_bez_vidoa.pdf

Mac's Motor city garage,, 2015 The Truth About Henry Ford's Soybean Car. [online]. Mac's Motor City Garage [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.macsmotorcitygarage.com/the-truth-about-henry-fords-soybean-car/>

Mech.fd.cvut.cz, 2021, Kompozity [online] [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <http://mech.fd.cvut.cz/members/malinovsky/materialy/Kompozity%20-%20komplet.pdf>

Metela, P., 2013. Výzkum únavového chování kompozitních sendvičových struktur v dopravním průmyslu. Digilib [online]. Univerzita Tomáše Bati: Zlín [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24519/metela_2013_dp.pdf?sequence=1

MM Science Journal, 2010, Kompozitní materiály v letectví, [online]. MM Průmyslové spektrum [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/kompozitni-materialy-v-letectvi>

Očadlík, Z., 2012. Návrh a testování lepených spojů u modulu tramvaje [online]. Zlín [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/8256385-Navrh-a-testovani-lepenych-spoju-u-modulu-tramvaje-bc-zdenek-ocadlik.html>. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická. Vedoucí práce Doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

Ped.muni.cz, 2021, Keramika, kompozity, polymery [online]. [cit. 8.2.2021] Dostupné z: <https://www.ped.muni.cz/wphy/fyzv1a/fmkomplet3.htm?fbclid=IwAR3rZK4rZet7TgpeE73FZXmTnkzv1KcAs-ma2jRnY6kYeWFwMcKrtld9H6Cg>

Pf.jcu.cz, Kompozitní materiály [online]. [cit. 8.2.2021] Dostupné z: <https://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kaft/wp-content/uploads/Kompozitni->

materiály.pdf?fbclid=IwAR0W0iOaR9Hgrmd_kFv_SZS2Pk5SgiV9A1CbjlSJfbqGd2BM7hIGJUcSVuE

PREFA KOMPOZITY, 2018, Technologie výroby: Co je to kompozit? [online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://www.prefa-kompozity.cz/technologie-vyroby/co-je-to-kompozit/>

Press Room, 2020, Kompozitní LPG láhve pro pohon manipulační techniky jsou praktičtější a navzdory fámám i výrazně bezpečnější. [online]. Autobible.euro.cz [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/kompozitni-lpg-lahve-pro-pohon-manipulacni-techniky-jsou-praktictejsi-a-navzdory-famam-i-vyrazne-bezpecnejsi/>

Rozhkov, O., 2021, Obraz: Sada nástrojů pravěkého člověka. Myloview [online]. [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <https://myloview.cz/obraz-sada-nastroju-pravekeho-cloveka-luk-a-sip-ostep-kladivo-hreben-c-32D8986>

Sandvik Coromant, 2021, Materiálová revoluce: Jak nové materiály mění zpracovatelský průmysl. [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/aboutus/lookingahead/articles/pages/a-material-revolution.aspx>

Sklocement Beneš, 2021 [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <http://sklocement.cz/sklenena-vlakna-cem-fil/>

Steidl, J., 2005. Plasty a kompozity naplňují materiálové požadavky moderního strojírenství. MM Průmyslové spektrum [online]. Praha: Fakulta strojů ČVUT, 2005 [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-a-kompozity-naplnuji-materialove-pozadavky-moderniho-strojirens.html>

Svoboda, L., 2018. Stavební hmoty. People.fsv [online]. Praha: Luboš Svoboda a kol [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodal/sh/SH4v1.pdf>

Technický týdeník, 2016, Možnosti využití kompozitních materiálů se rychle rozrůstají, [online]. BusinessMedia, 2016 [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/moznosti-vyuziti-kompozitnich-materialu-se-rychle-rozrustaji_33712.html

Tomková, B. 2016, Predikce vlastností kompozitů s textilní výztuží. Docplayer.cz [online]. Technická univerzita: Liberec [cit. 2021-04-06].

Dostupné z: <https://docplayer.cz/84796-Predikce-vlastnosti-kompozitu-s-technicka-univerzita-v-liberci.html>

Válek, L., 2013. Modelování plněných kompozitních systémů. Digilib [online]. Univerzita Tomáše Bati: Zlín [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/37924/v%C3%A1lek_2016_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vaňková, M., 2017. Vláknové kompozity: Jak se vyrábějí a kde najdeme jejich využití. Talentica [online]. 2017 [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://www.talentica.cz/vlaknove-kompozity/>

Vavřík, H., 2018. Přehled materiálů. Docplayer.cz [online]. Brno: Lesnická a dřevařská fakulta [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/170272090-Brno-pripravil-vavrcik-h-prehled-materialu-prednaska.html>

Vnouček, M., 2021, Kompozitní materiály. Opi.zcu [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/download/kompozity09_10.pdf

Vrbka, Jan, 2008. Mechanika kompozitů [online]. Brno [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz › www_base › priloha

Wikipedia, Aramidová vákna, 2020. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. Wikimedia Foundation [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Aramidov%C3%A1_vl%C3%A1kna

10 Seznam obrázků

Obr. 1 Sada nástrojů pravěkého člověka (Rozhkov, 2021).....	9
Obr. 2 Schéma sendvičové konstrukce (Metela, 2013).....	10
Obr. 3 Složení kompozitního materiálu (Válek, 2013).....	11
Obr. 4 Příklad mechanického míšení kompozitního materiálu (Tomková, 2016).....	12
Obr. 5 Hliníková pěna (kompozit), vložená do hliníkové trubky ke zvýšení odolnosti tlakovému namáhání. (Dad'ourek, 2008).....	13
Obr. 6 Brzdění trhliny pomocí výztuhy kompozitu (Dad'ourek, 2010).....	14
Obr. 7 Ukázka výroby železobetonu (Hennlich, 2021).....	16
Obr. 8 Kryté samomazné ložisko (industrial cz, 2021).....	17
Obr. 9 Pěnokeramika (Dad'ourek, 2010).....	17
Obr. 10 Pěnoplasty (Vavřík, 2018).....	17
Obr. 11 Desková disperze (Dad'ourek, 2010).....	18
Obr. 12 Vlákniatá disperze kompozitů (Dad'ourek, 2010).....	19
Obr. 13 Konopná vlákna (Atelier, 2019).....	23
Obr. 14 Skelná vlákna (Sklocement, 2021).....	23
Obr. 15 Uhlíková vlákna (Dad'ourek, 2008).....	24
Obr. 16 Aramidová stříž (Wikipedia, 2020).....	25
Obr. 17 Polymerová vlákna (Fibribet, 2010).....	26
Obr. 18 Typy ocelových vláken (Element, 2021).....	26
Obr. 19 Rozemletá skelná vlákna (Element, 2021).....	27
Obr. 20 Příže (Element, 2021).....	27
Obr. 21 Rovingové tkaniny (Element, 2021).....	28
Obr. 22 Kompozity s plastovou maticí (Mechanika, 2008).....	28
Obr. 23 Výroba aramid-hliníkového kompozitu (Vaňková, 2008).....	29
Obr. 24 Způsoby výroby laminárních kompozitů (Vaňková, 2008).....	29

Obr. 25 Schéma stříkání (Mechanika, 2008).....	30
Obr. 26 Schéma lisování (Mechanika, 2008).....	30
Obr. 27 Schéma vysokotlakého lití (Mechanika, 2008).....	31
Obr. 28 Schéma pultruze (Mechanika, 2008).....	32
Obr. 29 Princip vakuového prosycování (Mechanika, 2008).....	32
Obr. 30 Navíjecí schéma (Mechanika, 2008).....	33
Obr. 31 Kompozitní kardanová hřídel (ACE IT s.r.o. 2002).....	34
Obr. 32 Využití kompozitních materiálů na trupu letadla (Beneš, 2021).....	35
Obr. 33 Složení kompozitní lahve na LPG (MM Sience Journal, 2010).....	36
Obr. 34 Porovnání ocelové lahve a kompozitních lahví (MM Sience Journal, 2010).....	37
Obr. 35 Soybean Car (Mac's Motor city garage, 2015).....	37
Obr. 36 Karbonová střecha BMW M3 (Seibon, 2019).....	38
Obr. 37 Lamborghini Santo Elemento (Seibon, 2019).....	38
Obr. 38 Vložky válců (vlevo) a vyztužený píst motoru (vpravo) (Coche, 2002).....	39
Obr. 39 Koenigsegg Agera R (Build, 2015).....	39
Obr. 40 Celokarbnový disk pro Ford GT (Sandvik, 2021).....	40
Obr. 41 Drátěná vyztužená polyetylenová trubka pro přívod vody (Písačka, 2017).....	40
Obr. 42 Nový a starý brzdový špalík (Duchoň, 2019).....	41
Obr. 43 Využití SMC u nákladních automobilů (Kotek, 2010).....	42

11 Seznam tabulek

Tab. 1 Mechanické vlastnosti vybraných vláken kompozitů (Vnouček, 2021).....	12
Tab. 2 Výhody a nevýhody kompozitních materiálů (Daďourek, 2008).....	14
Tab. 3 Porovnání kompozitních materiálů s ostatními materiály (Daďourek, 2008).....	14