

Možnosti oprav kompozitních materiálů s polymerními matricemi

Patrik Cuha

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Patrik CUHA**
Osobní číslo: **T09397**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Možnosti oprav kompozitních materiálů
s polymerními matricemi**

Zásady pro vypracování:

1. Kompozitní materiály, složení, vlastnosti
2. Matrice kompozitních materiálů, výstužné systémy a jeho druhy
3. Uplatnění kompozitních materiálů v dopravním průmyslu
4. Problematika oprav aplikací z kompozitních materiálů
5. Navrhněte a popište opravu kompozitní aplikace u vybraných dílů
6. Závěr

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2012

Ve Zlíně dne 8. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



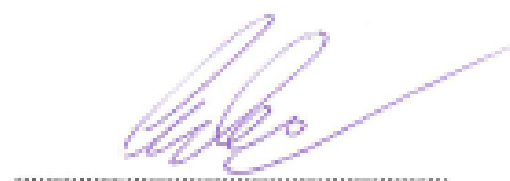

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 03.8.2012



.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá studií opravárenství součástí z kompozitních materiálů. Teoretická část se převážně zabývá strukturou, výztužemi, opravami jednotlivých druhů poškození ale i tmely, plniči, brusivem a odmašťovači.

Praktická část je zaměřena přímo na konkrétní řešení daného poškození.

Závěr práce je věnován zhodnocení jednotlivých oprav.

Klíčová slova: Kompozitní opravy, výztuže, druhy kompozitu

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with repair of composite materials. The theoretical part is mainly concerned with the structure, reinforcement, repair various types of damage as well as binders, fillers, abrasives and degreaser.

The practical part is focused directly on the specific solution to the damage.

The end of the assessment of individual patches.

Keywords: Composite repairs, reinforcements, composite types

Tímto bych rád poděkoval paní doc. Ing. Soně Rusnákové, Ph.D. za její vstřícnost, profesionální jednání a řešení problematiky na moji práci, dále také panu Ing. Vladimíru Rusnákovovi za poskytnutí informací a rozšíření obzorů řešené problematiky a v poslední řadě firmě Form s.r.o.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 10 |
| 1 TEORETICKÁ ČÁST | 12 |
| 1 VLÁKNOVÉ KOMPOZITY | 13 |
| 1.1 HISTORIE VLÁKNOVÝCH KOMPOZITU | 13 |
| 1.2 POPIS A DRUHY KOMPOZITŮ | 19 |
| 2 ÚVOD DO STRUKTURY KOMPOZITŮ | 20 |
| 2.1 STRUKTURA KOMPOZITŮ | 20 |
| 2.1.1 Klasifikace kompozitů | 20 |
| 2.1.2 Pryskyřice (matrice) | 23 |
| 3 VÝZTUŽE (VLÁKNA, TKANINY, ROHOŽE) | 25 |
| 3.1 SKLENĚNÁ VLÁKNA | 28 |
| 3.2 UHLÍKOVÁ VLÁKNA | 28 |
| 4 MOŽNOSTI OPRAV VÝROBKŮ Z KOMPOZITU | 30 |
| 4.1 SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE | 30 |
| 4.2 LAMINÁTOVÉ STRUKTURY | 31 |
| 4.3 TYPICKÉ POŠKOZENÍ | 32 |
| 4.3.1 Delaminace laminátového kompozitu nárazu | 32 |
| 4.3.2 Laminátové praskání | 32 |
| 4.3.3 Tepelné poškození | 33 |
| 4.3.4 Promáčknutí v sendvičové konstrukci | 33 |
| 4.3.5 Díra v sendvičové konstrukci | 33 |
| 4.3.6 Poškození díry pro inserty | 34 |
| 4.4 ROZDĚLENÍ OPRAV | 34 |
| 4.4.1 Kosmetické opravy | 34 |
| 4.4.2 Dočasné nebo provizorní opravy | 34 |
| 4.4.3 Strukturální opravy | 35 |
| 5 VÝROBKY PRO OPRAVY KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ | 36 |
| 5.1 TMELY | 36 |
| 5.2 PLNIČE | 37 |
| 5.3 ODMAŠŤOVAČE | 37 |
| 5.4 BRUSIVO | 38 |
| 6 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE | 40 |
| 7 PRAKTICKÁ ČÁST – OPRAVY | 41 |

| | | |
|---------------------------------------|--|-----------|
| 7.1 | OPRAVA SKOŘEPINOVÉHO LAMINÁTU..... | 41 |
| 7.2 | OPRAVA SENDVIČOVÉHO JÁDRA..... | 47 |
| 7.3 | OPRAVA POŠKOZENÉHO POVRCHU VRYPEM..... | 52 |
| 7.4 | POSTUP OPRAVY NEPROSYCENÝCH SUCHÝCH MÍST | 54 |
| ZÁVĚR | | 57 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | | 58 |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | | 60 |

ÚVOD

Racionální využití materiálových zdrojů a materiálů je úzce spjato s problémem energií v nejobecnějším smyslu na jedné straně a s ekologickými problémy na straně druhé a vše se promítá společně do rozvoje společnosti.

Nezbytnost efektivního využití materiálu s domácích zdrojů a vyváženého rozvoje kapacit nových materiálů proniká do úkolu všech průmyslových odvětví. Významnou úlohu hraje i neoddělitelnost vlastních národních problémů od celkové materiálové situace na Zemi a od světového vývoje.

Uvědomíme-li si, že například jedna polovina ceny staveb je cena materiálu, je zřejmé, že znalosti o povaze a vlastnosti materiálu jsou pro stavebnictví ale i pro jiná průmyslová odvětví velmi důležité. Kromě požadavku na pevnost a tuhost musí být materiály dostatečně odolné proti působení vnějšího prostředí a požadované vlastnosti musí mít po dlouhou dobu. Materiál je třeba volit podle těchto hlavních kritérií:

- Účel a požadavky včetně životnosti
- Dostupnost
- Ekonomická hlediska
- Estetická hlediska

Pro různé konstrukce a různé části jsou nutné konstrukční materiály s různými vlastnostmi, ale společné a nejdůležitější jsou vlastnosti, které zajišťují trvanlivost. Přitom je třeba uvažovat i kompatibilitu materiálu, které jsou v kontaktu nebo v blízkosti, neboť jeden může nepříznivě ovlivnit druhý, a tím zapříčinit poruchu funkce nebo nejméně vzhledu.

Zkušenost, shoda s předpisy, výsledky dlouhodobých zkoušek, názory expertů a někdy urychlené zkoušky jsou kritéria pro výběr materiálu. Avšak technici by si měli uvědomit, že často i malé změny v kvalitě mohou vést k poruše, a proto přísná kontrola kvality materiálu obvykle přináší značné úspory.

Na trh přichází materiály, pro které je k dispozici buď málo autorizovaných technických údajů, nebo dokonce žádné údaje. Obecná znalost materiálu je pak pomocníkem pro výběr, popřípadě návrh o provedení urychlených zkoušek, stejně jako pro interpretaci zkušebních výsledků. Pokud nepočítáme se všemi aspekty, úspěch není zaručen.

Posuzujeme-li materiál pro daný účel, je třeba uvažovat jak chemické tak i fyzikální charakteristiky materiálu; tyto dva pojmy jsou v úzkém vzájemném vztahu a často jde spíše o fyzikálněchemické nebo chemickofyzikální změny stavu než o změny chemické nebo fyzikální, které jsou rozhodující z hlediska vhodnosti a trvanlivosti materiálu. Je nemožné vyjmenovat všechny chemické a fyzikální vlastnosti, které jsou rozhodující pro velkou škálu dostupných materiálů. Avšak pro inženýra, technologa nebo projektanta je důležité, aby při rozhodování o materiálech zvolil jasný, vědecký, logický a analytický přístup, bez něhož lze očekávat poruchy a drahou údržbu, opravy a rekonstrukce.[1]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VLÁKNOVÉ KOMPOZITY

1.1 Historie vláknových kompozitu

Snahy o snižování spotřeby pohonných hmot a energie vůbec či použití materiálu odolných proti korozi snižující ztráty vzniklé korozí kovů leží v centru zájmu nejen ekologických hnutí, ale jsou prioritou všech vyspělých společností. Například snižování hmotnosti kolejových i silničních vozidel je samo o sobě schopno se podílet na snižování spotřeby pohonných hmot až šedesáti-procenty, zvyšovat efektivnost nákladní dopravy a snižovat emise spalin vzniklé provozem dopravních prostředků. Snižování hmotnosti automobilů je i jedním ze základních požadavků nutných pro větší rozvoj elektromobilů. Použití materiálů s velkou antikorozi odolností ve speciálním a ekologickém stavebnictví je schopno prodloužit životnost konstrukcí i ve velmi agresivních prostředích a snížit tak náklady na jejich údržbu na minimum. Nové materiály zahrnují, ve struktuře již možnost snadné recyklace snižují potenciální ekologickou zátěž, životního prostředí po skončení užitého cyklu výroby. Plasty, které mají většinou těchto atributů, byly v důsledku svých omezených mechanických vlastností dosud použitelné pouze tam, kde tvořily nosnou část konstrukce. Polymerní kompozity se svým spektrem vlastností vyrovnají tradičním konstrukčním materiálům a jsou tedy použitelné i při výrobě nosných prvků konstrukcí a jsou tedy nejnadějnějšími kandidáty pro náhradu kovů a jiných tradičních materiálů v konstrukčních aplikacích. Největšího rozšíření v této oblasti dosáhly kompozity, ve kterých jsou pojivem organické polymery a výztužemi jsou různé typy anorganických či organických vláken.



Obrázek 1 *Plastové kompozity s obsahem přírodních vláken [5]*



Obrázek 2 *Matrace s obsahem konopných vláken [5]*

Nejvýznamnější přednosti kompozitu s organickými matricemi je synergická kombinace snadné tvarovatelnosti málo pevného polymeru s pevností a tuhostí vyztužujících vláken.

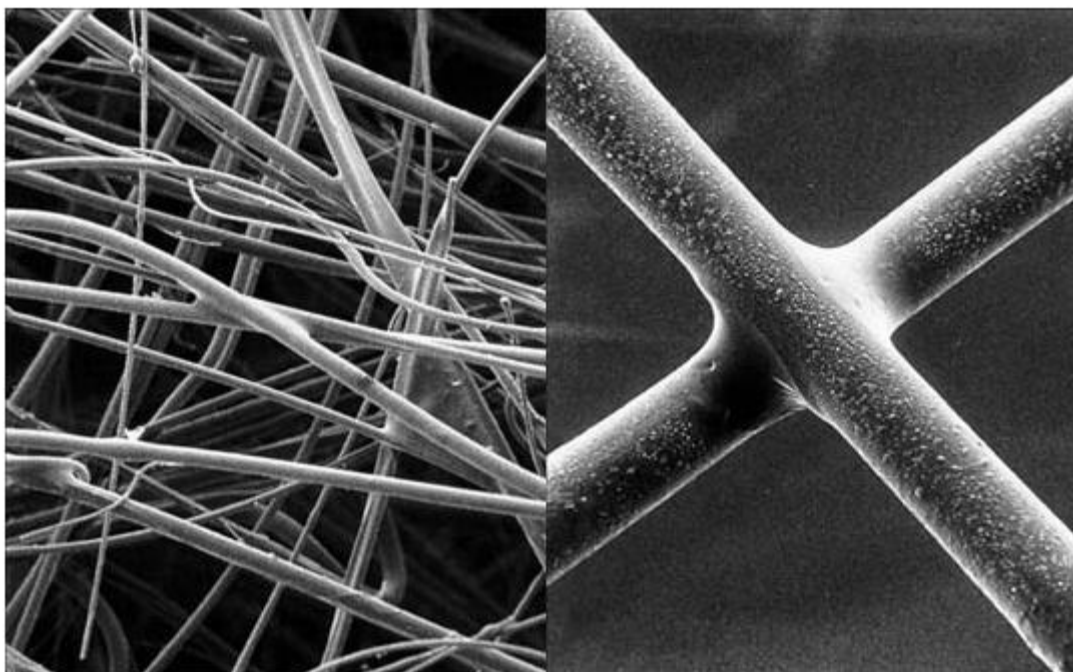
I ty nejjednodušší kompozity, jako je polyesterová pryskyřice vyztužená skleněnými ručně kladenými vlákny a rohožemi, nabízejí nízkou měrnou hmotnost, vysokou pevnost při statickém i dynamickém namáhání a vynikající odolnost vůči působení korozivních prostředí, nízkou tepelnou vodivost, elektrickou nevodivost a zanedbatelný útlum elektromagnetického záření. Tyto a další fyzikální a chemické vlastnosti mohou být člověkem znalým materiálového inženýrství konečně aplikaci variacemi ve strukturních parametrech (typ pojiva, typ vláken, forma výztuže, použítá aditiva, prostorové uspořádání výztuží, obsah výztuže, atd.).

Velká část i technické veřejnosti se pod dojmem novinových článku či vědeckopopulárních statí domnívá, že kompozity jsou výdobytkem vědy druhé poloviny dvacátého století. Tato představa je mylná a kompozitní materiály jsou lidstvem cíleně vyráběny a používány už od jeho raného vývojového stadia. Použití přírodních kompozitů, jakými jsou dřevo, kosti či jiné živočišné schránky, je ještě mnohem starší. Původní použití vláknových kompozitů bylo především ve stavebnictví, dá-li se tomu v dnešním slova smyslu říci. Typickým kompozitem byly cihly vyrobené se směsí jílu a organických většinou přírodních celulóзовých vláken, které ve srovnání s čistě jílovými nevypalovanými cihlami byly méně křehké. Došlo tak k prvnímu smyslu plnému spojení dvou odlišných komponent v novou entitu o vlastnostech nedosažitelných samostatně jednotlivými složkami. První „umělý“ kompozit byl na světě.

Důvodem, proč je první čtvrtina 20století nazývána dobou kompozitů, je nesmírně prudký rozvoj jejich průmyslových aplikací umožněný jednak v objevy a výrobou nových pokročilejších komponent (nové polymery, nové výztuže) o vynikajících vlastnostech a jednak nalezením kvantitativních vztahů mezi jednotlivými strukturními parametry a výslednými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi kompozitů. Kvantifikace vztahů mezi strukturou kompozitu a jejich výslednými vlastnostmi bylo dosaženo v posledních třiceti letech. Tak jako příroda mění vlastnosti vyztužujících vláken (celulóza) a pojiv (lignin) u nejnámějšího vláknového kompozitu - dřeva – vedoucí k výrazným rozdílům mezi vlastnosti dřeva smrkového, borového či bukového, může člověk měnit prostorové uspořádání vláken, jejich typ, stupeň adheze mezi vlákny a pryskyřici i vlastnosti pryskyřice ve velmi

širokém intervalu. Tato technologicky zvládnutá schopnost napodobit přírodu umožnila velmi rychlý rozvoj aplikací kompozitů v technické praxi. To umožnilo kompetentní design výrobků z kompozitu a skutečné využití všech nabízených výhod. Byly již syntetizovány a v praktických podmínkách ověřeny pryskyřice umožňující kontinuální použití kompozitu při teplotách 250 – 400 °C. Byla rovněž vyrobena a komercializována vlákna, jejichž modul pružnosti je 600 – 850 GPa s pevnostmi až 6GPa. Nezanedbatelným atributem tohoto vývoje je i automatizace výroby, která umožňuje dosažení vynikající reprodukovatelnosti vlastní a snížení ceny těchto materiálů na úroveň srovnatelnou s tradičními konstrukčními materiály.

Motorem tohoto rozvoje byla především v počátku letecká. Raketová a námořní technika pro vojenské účely a naprostá většina poznatků byla získána v USA, které také mají technologie spojené s kompozity od jejich návrhu přes výrobu až po aplikace na nejvyšší úrovni. Velkou měrou přispěl ke komercializaci, původně vojenských materiálů průmysl sportovních potřeb (lyže, tenisové rakety, golfové hole, rybářské pruty), automobilový průmysl, silnoproudá elektrotechnika, radiokomunikace a speciální stavebnictví. V posledním desetiletí se na tomto trendu začínají projevovat o vlivy medicínských, především ortopedických a stomatologických oborů, ekologické stavitelství a hromadná doprava.



Obrázek 3 *Mikrostruktura vlákna izolačních materiálů* [6]



Obrázek 4 Helma z karbonu[7]



Obrázek 4 Ortéza z uhlíkových vláken [8]

Výzkum i aplikace kompozitů s pryskyřičnými matricemi byly až do poloviny osmdesátých let stimulovány hlavně vojenskými potřebami (raketová technika, bojová letadla, bombardéry, vrtulníky, lehká pancéřová vozidla, minolovky, balistická ochrana jednotlivce, radiolokační a radarová technika, atd.).

Od poloviny osmdesátých let se těžiště postupně přesouvá i do civilních oblastí (civilní letectví, silnoproudá elektrotechnika, stavebnictví, doprava, lodě, sportovní potřeby, informační technologie, medicína). Jen pro ilustraci, spotřeba vláknových polymerních kompozitů civilním sektorem byla v USA v roce 1995 celkem 1 405 000 tun, z toho aplikace v dopravě spotřebovaly 835 000 tun a 410 000 tun bylo použito ve stavebnictví. V roce 2000 již výroba vláknových kompozitů jen pro automobilový průmysl překročila 2 miliony tun.

Skutečností, která vedla k obrovskému rozvoji vláknových kompozitů v posledních dvaceti letech a která odlišuje kompozity od tradičních materiálů je i fakt, že vláknové kompozity jsou obvykle vyráběny zároveň s konečným dílcem či výrobkem. To znamená, že kompozitní materiály jsou do značné míry šity na míru konečné aplikaci, a to nejen svou strukturou a vlastnostmi, ale i výrobní technologií. Nejtradičnějším způsobem výroby je ruční kladení, kdy je skleněná výztuž kladena na kopyto či do formy, kde je následně pro-sycena pojivem obsahujícím všechna aditiva nutná k vytvrzení. Požadovaná tloušťka je

budována postupně z vrstev (laminace), poté je pojivo vytvrzeno a dílec je vyjmut z formy či sejmut z kopyta. Tato technologie je kapitálově nejméně náročná (pokud nejsou používány ke tvrzení autoklávy). Zavedení automatizovaných výrob kompozitních profilů, jakými je tažení (pulzace), navíjení, atd., si vynucuje změny formy vstupních surovin a jejich ekonomika je tedy silně závislá na objemu výroby. Výsledné kompozity mají však mnohem reprodukovatelnější vlastnosti, velmi dobré tolerance a existuje o nich relativně značné množství informací používaných pro konstrukční výpočty.

Při navrhování konstrukcí a zařízení z kompozitů je výběr materiálu komplikován nejen neizotropní vlastností kompozitů (závislost vlastností na směru působení vnějšího napětí), ale i velkým množstvím možných kombinací pojivo/výztuž a technologií výroby. Tato komplikace a zvýšená obtížnost výběru jsou však více než kompenzovány možností navrhovat s konečným výrobkem i kompozitní materiál podle toho, jaké typy namáhání budou na výrobek působit. Tvarová variabilita nabízena kompozity není v mnoha případech za použitím tradičních materiálů (ocel, hliník, atd.) vůbec možná. Tyto nové konstrukční „stupně“ volnosti však mohou být využity pouze v případě, že se konstruktér seznámí s obrovským intervalem vlastností, které mohou kompozity nabídnout a s jejich praktickou použitelností z hlediska ceny, pracností montáže a užitných vlastností. Do značné míry zde platí pravidlo, že pouhá záměna ocelového dílce kompozitním nevede ve většině případu k žádoucímu efektu ani z hlediska užitných vlastností ani z ekonomického hlediska. Výjimkou jsou aplikace, kdy GRP poskytují soubor vlastností jediným tradičním materiálem nedostupné :

- Vynikající odolnost proti korozi v širokém spektru agresivních prostředí
- Nízká měrná hmotnost (až 4x lehčí než ocel)
- Snadná údržba
- Vysoká tvarová komplexnost relativně snadno dosažitelná
- Vynikající tepelné a elektrické izolační vlastnosti
- Zanedbatelné ztráty elektromagnetického záření (kryty telekomunikačních a radarových antén)
- Snadné probarvení v objemu, možná průsvitnost, snadné úpravy povrchu
- Malý odpor proudění tekutin (při aplikacích v trubkách).

Přestože počáteční parametry, které rozhodují o výběru kompozitů pro danou aplikaci, jsou mnohdy jiné než mechanické vlastnosti kompozitů, úspěšnost konečné aplikace nebo výrobků je mechanickými vlastnostmi podstatně ovlivněna. A právě mechanické vlastnosti, způsob jejich prezentace a pochopení principů, na jejichž základech jsou tyto vlastnosti dosahovány, jsou obsahem této části monografie. Z hlediska konstruktérských požadavků je možno tyto vlastnosti rozdělit do dvou kategorií – okamžité (modul pružnosti, pevnost, rázová houževnatost, atd.) a dlouhodobé (creep, relaxace, stárnutí pod napětím, atd.)

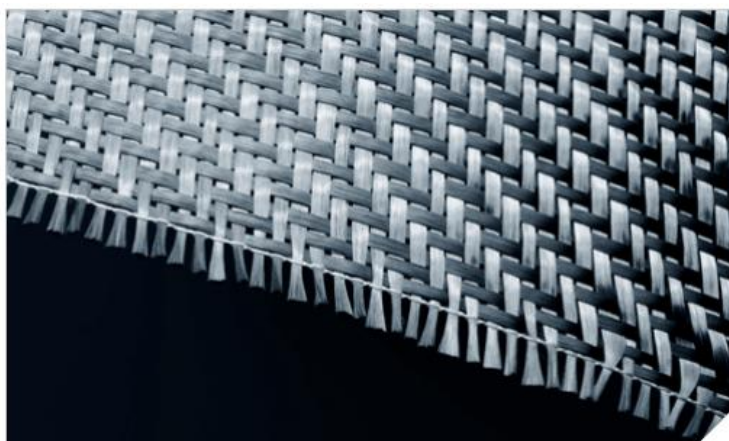
Tabulka 1 *Srovnání fyzikálních vlastností různých konstrukčních materiálů.* [2]

| Vlastnosti | vláknem vy- ztužený kompozit | hliník | ocel | dřevo (borovice) |
|--------------------------|------------------------------------|--------|------|------------------|
| Hustota | 1.0 | 1.3 | 4.0 | 0.3 |
| Lineární roztaž- nost | 1.0 | 3.0 | 2.0 | 0.5 |
| Tepelná vodivost | 1.0 | 300 | 80 | 0.2 |
| Tuhost | 1.0 | 1.2 | 1.7 | 0.6 |
| Pevnost tah | 1.0 | 0.4 | 1.0 | 0.1 |
| Pevnost ohyb | 1.0 | 0.7 | 1.1 | 0.3 |

Vlastnosti v tabulce 2 jsou vztaženy na vlastnosti tažených profilů Prefatren (Prefa Brno a.s., závod kompozity) obsahujících 50% jednosměrně orientovaných skleněných vláken v polyesterové pryskyřici.

1.2 Popis a druhy kompozitů

Kompozitem je nazýván materiál, ve kterém jsou specifickým způsobem kombinovány dvě nebo více komponent nebo fází o výrazně se lišících fyzikálních a chemických vlastnostech. Kompozity mohou být typu kov-kov, keramika-kov, keramika-polymer, keramika-keramika a polymer-polymer. Kompozity mají ve srovnání s jednotlivými komponentami, t.j.vlákný a pryskyřicí, podstatně odlišné unikátní vlastnosti. Nevyztužená pryskyřice má nízkou hustotu a je snadno zpracovatelná a má relativně dobrou stabilitu proti působení širokého spektra prostředí a chemikálií.



Obrázek 5 *Detail na karbonové vlákno*[9]



Obrázek 6 *Kryt výfuku z kompozitního materiálu*[10]

2 ÚVOD DO STRUKTURY KOMPOZITŮ

2.1 STRUKTURA KOMPOZITŮ

2.1.1 Klasifikace kompozitů

V současnosti je na trhu dostupné relativně široké spektrum kompozitních materiálů lišících se pojivem (pryskyřicí), typem a charakterem výztuží (typ vláken, tkaniny, rohože, rouna) a mnohdy i způsobem výroby (laminace, tažením, navíjením, odstředivé lití, RTM, atd.). Kompozitní materiály se pak rozlišují podle některého ze strukturních kritérií. Z hlediska klasifikace podle typu matrice existují dva základní typy polymerních pryskyřic – pojiv, a to termosety a termoplasty.

Termoplasty, kterými jsou například polystyren (PS), polypropylen (PP), polyetylen (PE), polykarbonát (PC), polyetylen tereftalát (PET) a další, jsou tuhé látky, které měknou a tečou zvýšením teploty nad jistou hodnotou charakteristickou pro daný polymer. Po ochlazení pod tuto teplotu opět přejdou do pevného skupenství. Charakteristickým strukturním znakem termoplastů jsou velmi dlouhé molekuly (makromolekuly) vytvořené opakováním stejných strukturních jednotek (několik tisíc až několik milionů). Z toho důvodu bývá tento typ makromolekuly označován jako polymer. Jednotlivé makromolekuly nejsou vzájemně vázány chemickými vazbami. Jejich vzájemné interakce, které zaručují kohezní pevnost polymerního tělesa jsou většinou slabé, van der Waalsovské interakce, vodíkové můstky, atd.

Termosety, jakými jsou například epoxidy, nenasycené polyestery, melaminy či fenol formaldehydové pryskyřice, jsou obvykle dodávány ve formě viskózních tekutin s konzistencí řídkého medu tvořené relativně malými molekulami, které jsou vytvrzeny chemickou reakcí po dodání katalyzátoru a iniciátoru. Vytvrzení probíhá buď za pokojové teploty, nebo za zvýšených teplot. Způsob, kterým vytvrzování probíhá do značné míry, ovlivňuje vlastnosti výsledného termosetu. Jelikož při vytvrzování dochází ke vzniku chemických vazeb mezi jednotlivými malými molekulami, vzniká místo dlouhých lineárních molekul, které jsou charakteristické pro termoplasty, třidimenzionální polymerní síť s různou hustotou. V ideálním případě je celý makroskopický výrobek jedinou makromolekulou. Tento fakt způsobuje, že vytvrzený termoset zůstává v tuhé fázi i po zahřátí, což zvyšuje jeho

odolnost proti creepu a vysokým teplotám, i když to na druhé straně zvyšuje i jeho křehkost a omezuje recyklovatelnost. Kompozity s termosetovými matricemi mají mezi konstrukčními aplikacemi vláknových kompozitů naprostou převahu. Naproti tomu v oblasti plněných plastů a částicových kompozitů zcela převládají termoplastické matrice.

Z důvodu jasného vymezení pojmů je rozumné rozdělit vláknové kompozitní materiály do tříd. K tomu je možno využít celé řady kritérií. Jedním z nejčastěji používaných dělicích kritérií je orientace délky vyztužujících vláken. Z tohoto hlediska je možno dělit vláknové kompozity na:

- **Jednosměrné** (vlákna jsou orientována převážně v jednom směru):

Krátkovláknou (poměr délka/průměr $L/D < 100$)

Dlouhovláknové ($L/D > 100$ či kontinuální vlákna, tj. vlákna s délkou rovnou rozměrům celého dílce)

- **Mnohosměrné** (vlákna jsou náhodně nebo pravidelně orientována dvěma či více směry)

Krátkovláknové ($L/D < 100$)

Dlouhovláknové ($L/D > 100$)

Dalším kritériem může být způsob 3D prostorového uspořádání výztuže. Podle tohoto kritéria rozdělujeme kompozity na:

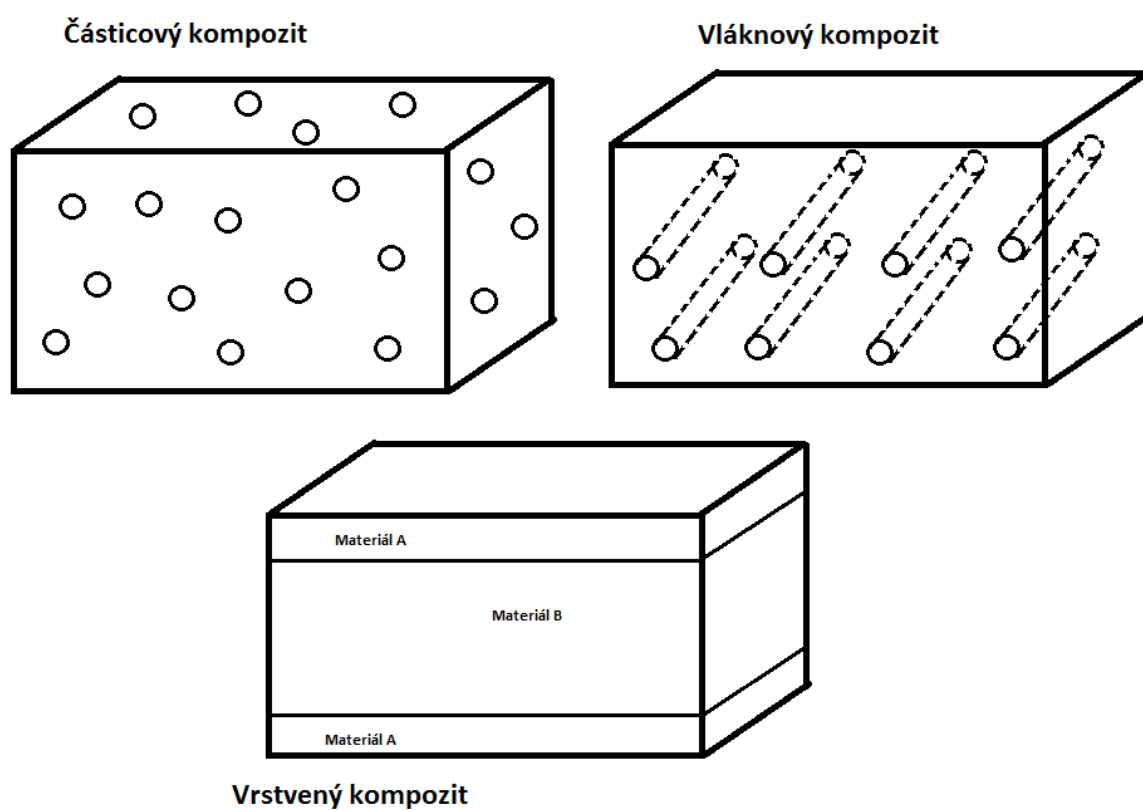
- Lamina (jedna vrstva kompozitu s tloušťkou zanedbatelnou ve srovnání se zbývajícími dvěma rozměry)
- Lamináty (střídání vrstev – lamina – s různými vzájemnými orientacemi výztuže)

-lamináty s tkanou výztuží (střídání vrstev vyztužujících rohoží, ve kterých jsou vlákna před prosycením pryskyřice utkána běžnými nebo speciálními textilními technologiemi)

-lamináty s netkanou výztuží (střídání vrstev vyztužujících rohoží, ve kterých jsou vlákna zpracována do roun, aniž by byla tkána)

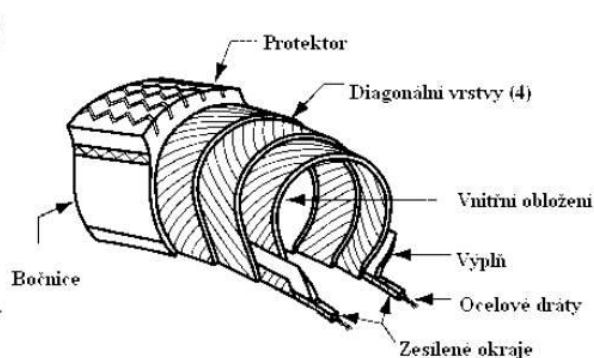
-tažené profily (komplikovanější tvary průřezu lineárních prvků s konstantním průřezem - profilu – s kombinací vyztužujících vláken a netkaných či tkaných rohoží, (desky, trubky, komplikované profily)

-navíjené profily-(kruhové nebo oválné tvary průřezu, tlakové nádoby či trubky)



Obrázek 7 *Druhy kompozitů* [2]

Dalšími kritérii pro klasifikaci kompozitů mohou být technologie jejich výroby či typ použité matrice. Z hlediska klasifikace jsou specifickou třídou kompozitů pneumatiky, které splňují všechna kritéria definice kompozitního materiálu, ale výztuže jsou velmi specificky prostorově uspořádány (tzv.kord).



Obrázek 8 Konstrukce pneumatiky s kovovým vláknitým kordem. [2]

Průmyslově jsou vláknové kompozity vytvářeny promyšleným prostorovým uspořádáním vyztužujících vláken spojených pryskyřičným pojivem. Úkolem pojiva je jednak chránit výztuž před mechanickým či chemickým poškozením, udržovat je v požadovaném směru vůči namáhání a umožnit přenos vnějších napětí do výztuže. Nositelem pevnosti a tuhosti jsou vyztužující vlákna a pryskyřice k ní, zvláště u dlouho vláknových kompozitů, výrazněji nepřispívá. Principem vlastního vláknového vyztužení je skutečnost, že vyztužující vlákna, mající o jeden až dva řády vyšší pevnost a tuhost ve srovnání s pojivem, se při vnějších namáhání deformují méně než polymer. Dochází tak ke vzniku smykových sil na rozhraní vlákno/polymer, které v případě adheze mezi oběma komponentami umožňují přenos veškerého napětí z pevné matrice do vláken. Ta je schopna, překročí-li jejich délka jistou kritickou délku (obvykle minimálně 100x průměr), nést veškerá napětí působící na kompozitní dílec, takže nepevné, ale deformovatelné pojivo je prakticky bez napětí.

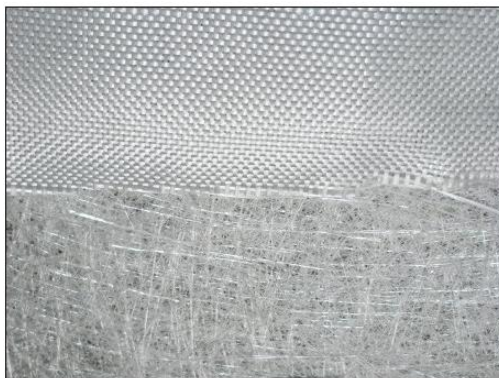
2.1.2 Pryskyřice (matrice)

Z praktických důvodů a důsledku omezeného rozsahu této monografie se omezíme na nejčastěji používaná polymerní pojiva. V technologii vláknových kompozitních materiálů se v současné době používají jako matrice převážně termosetů, v menší míře jsou však zkoušeny i matrice termoplastické poskytující některé výhody ve srovnání s termosety. Jako matrice se nejčastěji používají nenasycené polyestery (UP), vinylestery (VE), epoxidy

(EP) a fenolické pryskyřice (PR) pro kompozity s výrazně sníženou hořlavostí. Z celkového objemu pryskyřic světově zpracovávaných při výrobě vláknových kompozitů připadá 75% na nenasyčené polyestery, 20% tvoří vinylestery a 5% tvoří speciální pryskyřice jako fenolické, epoxidy, polyamidy, bismaleimidy, atd.

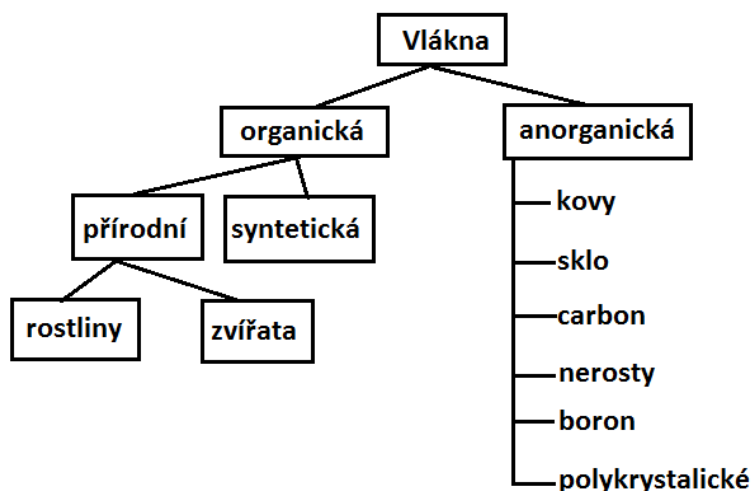
Největší překážkou většího rozšíření termoplastů je v současné době především velká viskozita taveniny při zpracování, která je o 2-4 řády vyšší než u běžných termosetů. To vede ke vzniku defektů (bubliny, nesmočené pramence vláken, problematické smáčení tkanin, atd.) při smáčení výztuže a tím ke vzniku kompozitů s nedostatečnými užitnými vlastnostmi. Pro tohoto problému je třeba jako vstupní surovinu používat už termoplastem preimpregnovaná vlákna, což s sebou přináší podstatné zvýšení ceny hotových kompozitních profilů. [2]

3 VÝZTUŽE (VLÁKNA, TKANINY, ROHOŽE)



Obrázek 9 Rozdíl mezi tkaninou (nahore) a rohoží. [8]

Nejčastěji používanou výztuží ve vláknových kompozitech vyráběných tažením, navíjením i jinými technikami jsou skleněná vlákna. První zmínka o skleněných vláknech pochází z knihy Antonia Neri, publikované ve Florencii v roce 1612. Už tehdy byly překvapivé jejich neobvyklé vlastnosti, především vysoké pevnosti ve srovnání se sklem tabulovým, i přes velmi podobné chemické složení. Příčinu vysoké pevnosti skleněných vláken ve srovnání s masivním sklem poprvé interpretoval Griffith, který tak položil základy velmi mladé a perspektivní disciplíny – lineární elastické lomové mechaniky (LEFM). Ze stručnosti lze Griffithovu interpretaci shrnout tak, že pevnost tuhého tělesa je na rozdíl do modulu pružnosti, který se termodynamickou fenomenologickou veličinou, veličinou stochastickou (náhodnou) a rozhoduje o ní distribuce a velikost defektů. Každý materiál má z tohoto hlediska jakousi kritickou velikost defektu. Je-li v tělese z daného materiálu přítomen defekt kritické velikosti, dojde při působení i velmi malých vnějších napětí ke katastrofickému lomu tělesa v důsledku lokálního překonání meze pevnosti koncentrací napětí na defektu.



Obrázek 10 Schématické dělení nejčastěji využívaných vláken [2]

V souladu s touto interpretací je zřejmé, že pravděpodobnost existence kritického nebo nadkritického defektu snižujícího pevnost je mnohem nižší v tenkých vláknech než ve skleněných tělesech o vyšší tloušťce. V důsledku toho mají vlákna zhruba 20krát vyšší pevnost v tahu než např. skleněná tyčovina či tabulové sklo. Průmyslově vyráběná vlákna, jejichž průměr je v rozmezí 5-20 μm (nejčastěji 12-15 μm), tvoří v kompozitech součást nosoucí zatížení a dodávají kompozitu tuhost a pevnost (proto termín „výztuž“). Matrice (pojivo, pryskyřice) tato vlákna pouze chrání proti vlivům prostředí a manipulace, pojí je dohromady do požadovaného tvaru a přenáší na ně zatížení působící na kompozitní dílec. Přes velmi dobré mechanické vlastnosti a nízkou cenu mají skleněná vlákna i některé nedostatky, jako je relativně nízký modul pružnosti (72 GPa u E-skla 85 GPa u S2-skla) a navíc jsou poměrně křehká, což znesnadňuje manipulaci a omezuje některé aplikace (balistická ochrana).

Vláknové výztuže prodělaly poměrně bouřlivý rozvoj především v 60. a 70. letech, kdy byla na trhu uvedena první komerční uhlíková vlákna (vysoký modul pružnosti až 600 GPa). Na konci 70. let se začala objevovat i další vlákna, která mají vysoký modul

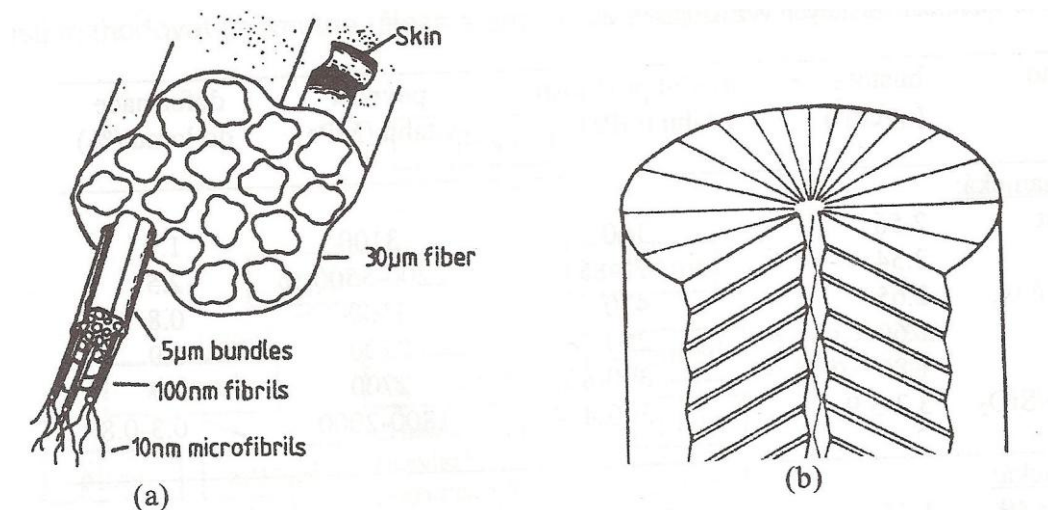
pružnosti v tahu (120-190 GPa) a navíc jsou křehká. Mezi tato vlákna patří aramidové vlákna (aromatické polyamidy komerčně nazývané KEVLAR) a vlákna u UHMW PE (ultravysokomolekulární PE s $M_w > 7 \times 10^6$), komerčně nazývána DYNEEMA a v Evropě (firma DSM, Holandsko) a SPECTRA v USA (firma Allied Fibers, Inc.). Pro informaci jsou v tabulce shrnuty průměrné hodnoty mechanických vlastností nejběžnějších vláken.

Tabulka 3 Vybrané vlastnosti některých vyztužujících vláken [2]

| <i>Vlákno</i> | <i>Hustota (g/cm³)</i> | <i>Modul pružnosti v tahu (GPa)</i> | <i>Pevnost v tahu (MPa)</i> | <i>Deformace do lomu (%)</i> |
|----------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------------|
| <u>Anorganická :</u> | | | | |
| <i>Azbest</i> | 2,56 | 160 | 3100 | 1,9 |
| <i>Sklo</i> | 2,54 | 70-80 | 2200-3500 | 2,5 |
| <i>Borová vl.</i> | 2,65 | 420 | 3500 | 0,8 |
| <i>SiC</i> | 2,60 | 250 | 2200 | 0,9 |
| <i>Uhlík</i> | 1,86 | 300-800 | 2700 | 0,7 |
| <u>Organická:</u> | | | | |
| <i>Kevlar 49</i> | 1,45 | 130 | 2900 | 2,5 |
| <i>Kevlar 29</i> | 1,45 | 60 | 2700 | 5,0 |
| <i>Kevlar 129</i> | 1,44 | 120 | 3000 | 3,0 |
| <i>Kevlar 149</i> | 1,45 | 190 | 2600 | 2,5 |
| <i>Len</i> | 1,30 | 180 | 2600 | 3,1 |

Hlavní technologickým strukturálním parametrem řídícím vlastnosti výsledného kompozitu je tedy při daném typu vláken a pryskyřice obsah vláken. Tento obsah se z důvodu podstatně odlišných hustot matrice a výtuzě vyjadřuje ve výpočtech vlastností kompozitů v objemových procentech (objem vláken/celkový objem kompozitu)x100% nebo v objemovém zlomku (objem vláken/ celkový objem kompozitu). Objemový zlomek jednosměrně orientovaných vláken v pultrudovaných materiálech leží v oblasti 0.7-0.8.

Z technologického hlediska je výhodnější udávat hmotnostní podíl vláken v kompozitu, který lze použít přímo pro dávkování ve výrobě.



Obrázek 11 Schéma struktury UHMWPE vláken (Deeman) (a) aramidových vláken Kevlaru (b) [2]

3.1 Skleněná vlákna

Nejběžnější skleněná vlákna se ve světě vyrábějí především ze skloviny označované jako sklo E. Základem E skla je soustava oxidů SiO_2 . Al_2O_3 . CaO . MgO . B_2O_3 . Dříve se vlákna vyráběla dvoustupňově, nejprve se ze sklářského kmenu vytvořily tavením při teplotě 1550°C kuličky o průměru 10 – 20 mm, které se dále tavily v platinových kelímcích, ze kterých se vytahovalo vlákno. Nověji jsou v provozu kontinuální technologie, tzn. na jednom konci pece se sází sklářský kmen a na druhém se z platinových vaniček vytahuje vlákno.

3.2 Uhlíková vlákna

Základní vlastnosti:

- Mají asi desetinásobnou tuhost a poloviční hustotu proti skleněným vláknům
- Prodloužení při přetržení je menší než u skleněných vláken

- Pevnost při pokojové teplotě bývá nižší než u skla nebo aramidů, s teplotou ale neklesá až do 1000°C.
- Vynikající teplotní vlastnosti, pokud jsou chráněna před oxidací
- Stabilní do 1000°C, při ochraně před oxidací do 2000°C
- Minimální teplotní roztažnost, dokonce někdy smrštivost (ve směru osy vláken)
- Do 1000°C jsou chemicky inertní
- Mohou obsahovat různé procento grafitu, podle toho jsou označovány jako uhlíkové (převaha amorfního uhlíku) nebo grafitové (převaha krystalického grafitu).
- Uhlíková vlákna mají často špatnou adhezi k matrici, je nutné je povrchově upravovat je zlepšení přilnavosti

Metody přípravy:

1. Pyrolýzou polymerů – dnes nejčastější metoda.
 - Umělé polymery – polyakrylonitril (PAN)
 - Přírodní polymery – různé smoly
2. Teplým rozkladem uhlovodíků – CVD, PVD metody – možnost v přetlaku nanovláken
3. Odpařování z obloukového výboje mezi uhlíkovými elektrodami – v přetlaku argonu, whiskery. [2]

4 MOŽNOSTI OPRAV VÝROBKŮ Z KOMPOZITU

Kompozity se používají v široké škále aplikací v letectví, námořní, automobilový průmysl, pozemní doprava a sportovní zařízení. Poškození kompozitních dílů není vždy viditelné pouhým okem a rozsah poškození je nejlépe určen pro konstrukční dílce vhodným bezkontaktním zkoušením (NDT) -metody.

Alternativně poškozená místa mohou být lokalizovány jednoduchým poklepáním na kompozitní povrch podle zvuku. Poškozená místa dají určitou reakci na odposlechu, a hranice mezi dobrým a poškozeným kompozitem mohou snadno mapovat určit prostor pro opravy.

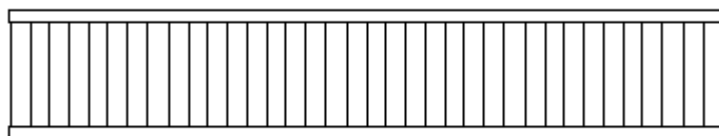
Cílevědomá kontrola pro kompozitní škody by měly být zahrnuta do pravidelných plánů údržby pro kompozitní struktury. Zvláštní pozornost by měly mít plochy, které jsou náchylnější k poškození.

Opravy konstrukcí letadel jsou řízeny a měly by být prováděny podle strukturální příručky letadel pro opravy. Pro jiné aplikace opravovaných složek se obvykle očekává, že splní své původní specifikace a mechanické požadavky na výkon.

Tato příručka má za cíl poskytnout obecný přístup ke kompozitním opravám ve všech aplikacích a bude zkoumat i sendviče a laminátové struktury.

4.1 Sendvičové konstrukce

Tenké ale vysoce pevné vnější vrstvy jsou spojené s lehkým voštinovým jádrem s minimálním zvýšením hmotnosti, ale s výrazným zvýšením tuhosti.



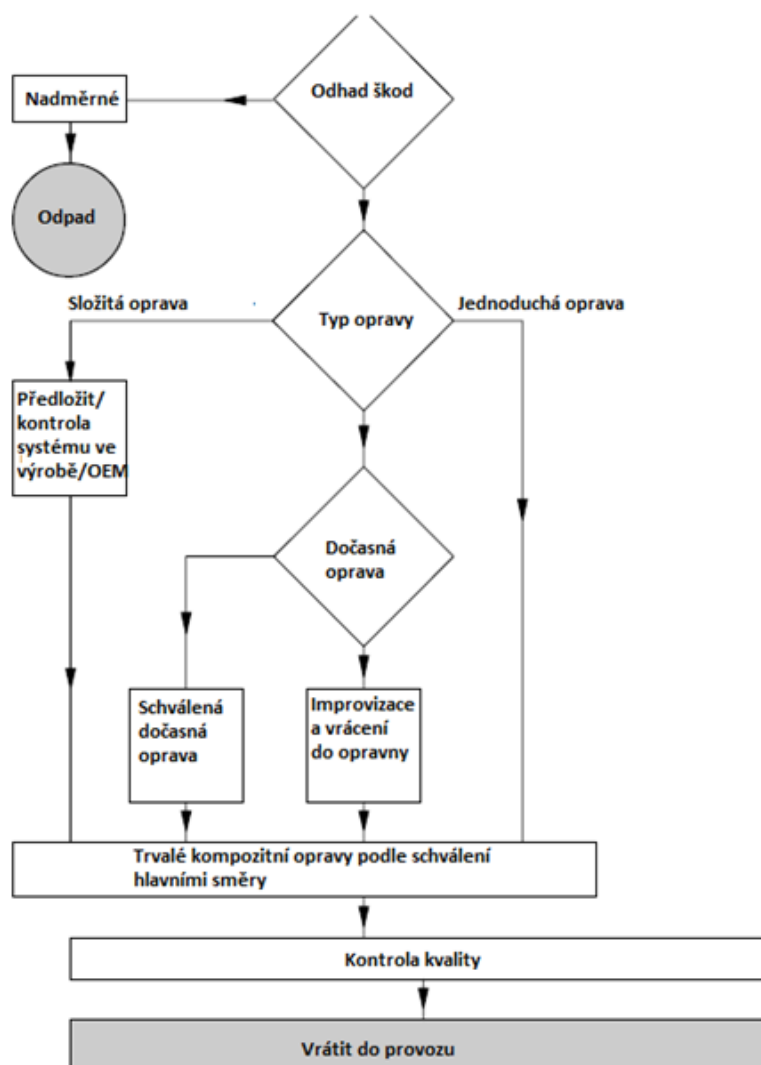
Obrázek 12 *Sendvičová konstrukce* [3]

4.2 Laminátové struktury

Laminátové struktury jsou sestaveny tak, aby orientace vláken poskytovala většinu z požadovaných mechanických vlastností.



Obrázek 13 Laminátová struktura [3]



Obrázek 14 Diagram vývoje poškození [3]

4.3 Typické poškození

Většina poškození vláken kompozitu je důsledkem nízké rychlosti a někdy vysoké rychlosti dopadu. V kovech je energie rozdělena přes elastickou a plastickou deformaci a stále si zachovává hodně strukturální integritu. Ve vláknových kompozitech se poškození neprojevuje jako u kovů prasklinami na povrchu, ale po určitém nahromadění vnitřních trhlin dochází k porušení celistvosti, škoda je obvykle větší, nežli je viděna na povrchu.

4.3.1 Delaminace laminátového kompozitu nárazu

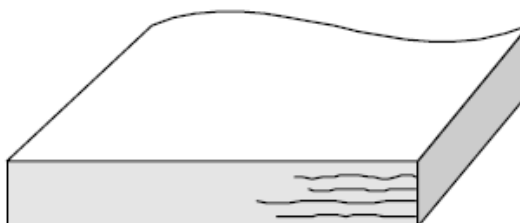
Základní poškození lze rozšířit v mnohem větší míře laminátové struktury.



Obrázek 15 *Místo nárazu v laminátové struktuře* [3]

4.3.2 Laminátové praskání

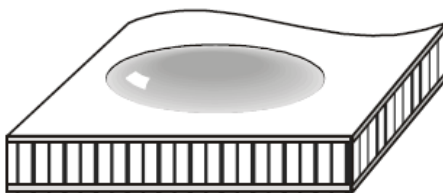
Poškození se nevztahuje přes celou délku dílu. Účinky na mechanické vlastnosti závisí od délky poškození vzhledem na délku dílu.



Obrázek 16 *Částečné poškození* [3]

4.3.3 Tepelné poškození

Místní lom s oddělením povrchových vrstev. Jeho vliv na mechanické vlastnosti závisí na tloušťce části.



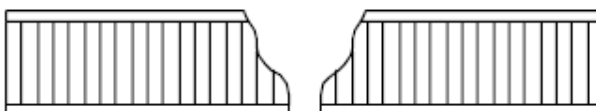
Obrázek 17 *Tepelné poškození* [3]

4.3.4 Promáčknutí v sendvičové konstrukci



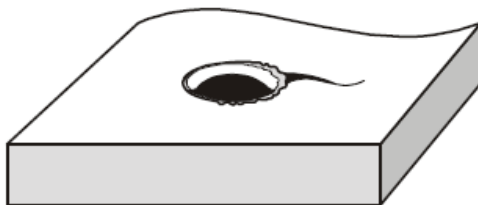
Obrázek 18 *Promáčknutí v sendviči* [3]

4.3.5 Díra v sendvičové konstrukci



Obrázek 19 *Díra v sendviči* [3]

4.3.6 Poškození díry pro inserty



Obrázek 20 *Trhlina v místě díry pro inserty* [3]

4.4 Rozdělení oprav

Jestliže kompozitní konstrukce utrpí škody, je potřeba použít jednu z následujících oprav.

4.4.1 Kosmetické opravy

V tomto případě inspekce zjistila, že škoda nemá vliv na strukturální integritu komponentu. Kosmetické opravy se provádí na ochranu a dekoraci povrchu. Tato oprava nebude zahrnovat použití výztužných materiálů.

4.4.2 Dočasné nebo provizorní opravy

To je častý případ v provozu, že malé plochy poškození jsou zjištěny, ale jejich malé poškození neohrožuje funkčnost nebo celistvost celku. Jestliže je ponecháme neopravené, mohou vést k dalšímu rychlému šíření škod způsobených působením vlhkosti a únavy.

Jednoduché opravy typu náplast může být provedena z minimální přípravy, chrání komponent, dokud nebude možné jej vyřadit z provozu na správné strukturální opravy.

Dočasné opravy by měly být pod pravidelnou kontrolou.

4.4.3 Strukturální opravy

Jestliže poškození oslabilo strukturu přes praskání vláken delaminaci nebo rozdělení, oprava se bude zahrnovat výměnou poškozených vláken výztuže, a jádro v sendvičové konstrukci, s cílem obnovit původní mechanické vlastnosti.

Pokud je poškozená oblast velmi malá, že může být sporné, ať už jde o strukturální opravy, které vyžadují odstranění podstatné výše poškození struktury v odstranění a přípravy, je pak vhodnější je přiřadit ke kosmetickým opravám. [4]

5 VÝROBKY PRO OPRAVY KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

5.1 Tmely

Tmel je plastická hmota, která se používá obvykle k vyrovnání nerovností povrchu, nebo k vyplnění spár a zajištění těsnosti vůči vodě, případně i plynům. Po nanesení může tmel buď vytvrdnout, nebo zůstat elastický, případně plastický. Tvrzení tmelu probíhá buď samovolně (např. vzdušným kyslíkem nebo vlhkostí) nebo úmyslným vystavením vysoké teplotě (vypálením).



Obrázek 21 *Tmel Rapid* [4]

V této práci jsme použili dvousložkový univerzální tmel ke tmelení větších a středně velikých nerovností (2-5mm). Doba zpracování tmelu po natužení je 10minut. Požitý tmel je vhodný pro laminátování nerovnosti a drobných poškození. Vhodný pro kompozitní lamináty ale i tvrdá dřeva.

Dalším použitým tmelem byl tmel středně hrubý dvousložkový vylehčený polyesterovým tmelem s obsahem skelného vlákna. Vhodný pro laminování dílců vystavených při úpravě povrchu namáhání. Dobrá brousitelnost, doba zpracování do 20minut, broušení za 2-3 hodiny.



Obrázek 22 *Tmel Glas Light* [4]

5.2 Plniče

Plnič je tekutá hmota, která se používá k vyrovnání nerovností povrchu. Nanáší se stříkáním ve vrstvách, používá se většinou jako dokončovací operace k vyrovnání povrchu a poté je součástí připravená k dalším operacím jako je například stříkání.

Nejčastěji používané jsou dvousložkové antikorozi polyuretanové plniče, vyšší bariérová a antikorozi odolnost proti běžným plničům, odolává vibracím. Lze aplikovat bez nutnosti broušení- výborný rozliv. Hůře brousitelný s ohledem na vyšší pružnost, svou pružností je předurčen pro užití v náročných podmínkách. Doba zpracování do 60 minut, broušení za 4 hodiny (20°C).



Obrázek 23 *Plnič 2K PUR* [4]

5.3 Odmašťovače

Směs speciálních rozpouštědel určená pro očištění povrchu před tmelením či lakováním.



Obrázek 24 *Odmašťovač silikonu* [4]

5.4 Brusivo

Brusivo je určeno pro odstranění laku, tmelu, plniče z povrchu dílce. Jedním z nejpoužívanějších druhů brusiv jsou brusné folie, které lze upevnit na brusku pomocí suchého zipu, tyto brusné folie jsou v dostání v nejrůznějších drsnostech pro různá uplatnění. Stearátový přetěr zamezuje zalepení při broušení laků, tmelů a plničů. Nejvyšší kvalita brusného zrna, delší životnost a agresivní úběr.



Obrázek 25 *Brusné folie* [4]

Maskovací pásky slouží k olepení vyhraněného prostoru pro lakování, broušení, tmelení. Zaslepení nejrůznějších dutin. Výhodou této pásky je, že lze lehce odtrhnout a nezůstává po ní lepidlo. Tepelná odolnost do 80°C. Vhodná jak na laminát tak i plasty a kovy.



Obrázek 26 *Maskovací páska* [4]



Obrázek 27 *Brusné filce* [4]

Vhodné na suché broušení, ale i na broušení pod vodou. Vhodný pro použití na těžko přístupných plochách (různé klouby, profily, interiér dveří a podobně). Vhodný před lakováním.

6 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cíle bakalářské práce můžeme shrnout do následujících bodů:

1. Přehled a rozdělení kompozitních materiálů, výhody a nevýhody.
2. Využití kompozitních materiálů praxí, základní typy vláken.
3. Opravy kompozitních materiálů, přípravky pro opravy kompozitních materiálů - tmely, plniče, odmašťovače, brusivo.
4. Experimentální část: Realizace a popis oprav kompozitních materiálů pro vybrané typy kompozitních materiálů- laminátová, sendvičová, skořepinová struktura a jejich aplikace.
5. Shrnutí dosažených výsledků a závěr.

7 PRAKTICKÁ ČÁST – OPRAVY

7.1 Oprava skořepinového laminátu

Popis výrobku: Laminátová kapota-nádrž paliva z motocyklu. Jedná se o tenkostěnný laminát tloušťky cca 2mm. Vyrobeny pravděpodobně z polyesterové pryskyřice vyztužené skelnou tkaninou, gramáž tkaniny cca 200 až 300g. Výrobek je opatřený bílou gelcoatovou vrstvou, následně lakovaný.

Druh poškození/vady: Výrobek vykazuje poškození pravděpodobně nárazem o tuhou překážku. Poškozená částečně, prorazená plocha je cca 100cm².

Postup opravy:

1. V první části zbavíme kapotu zbylých polepů.



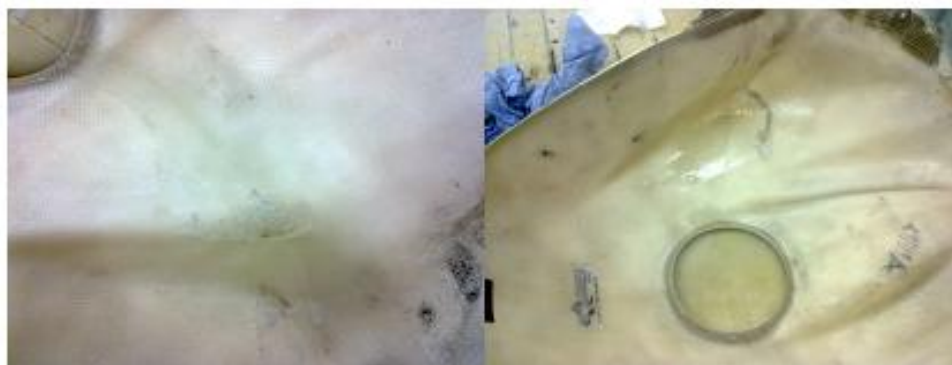
Obrázek 28 Kapota-pohled na celek



Obrázek 29 Poškozené části kapotáže



Obrázek 30 *Kapota po broušení*



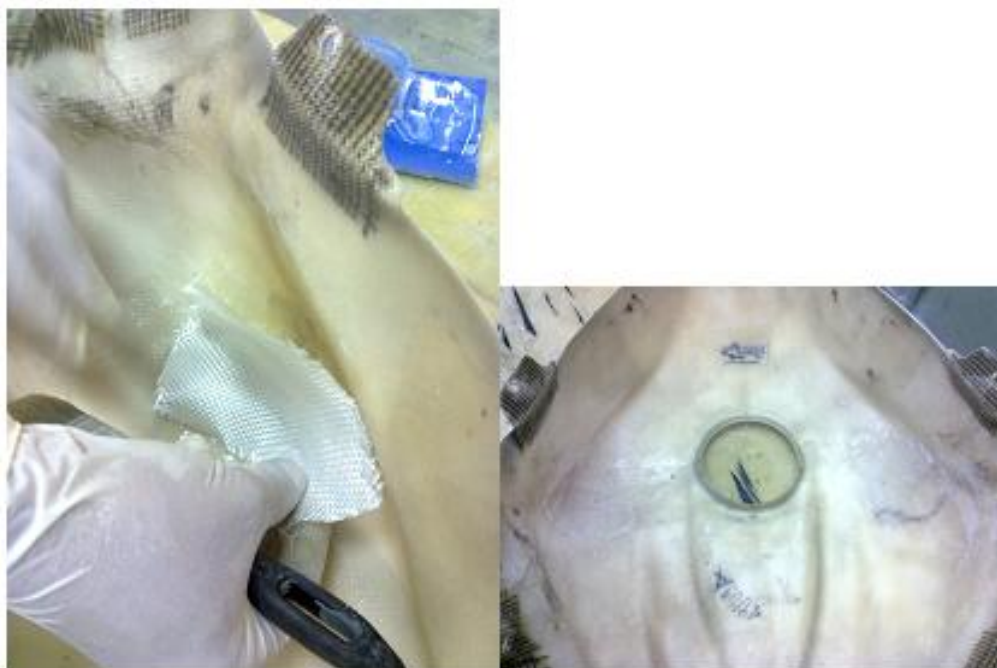
Obrázek 31 *Pohled na pravou a levou část po obroušení kapoty*

2. Prozkoumání rozsahu škody a následné obroušení vrubové plochy v místě defektu, nanesení gelcoatu.
3. Očistění obroušené plochy (stlačeným vzduchem a odmašťovadlem).



Obrázek 32 *Laminace skelnou rohoží*

4. Vyrovnání povrchu laminací skelnou rohoží, gramáž 300g.



Obrázek 33 *Laminace skelnou tkaninou*

5. Laminace rubové plochy skelnou tkaninou 200g/m², dvě vrstvy.



Obrázek 34 *Levá a pravá strana po broušení*

6. Broušení kapotáže v místě defektu.
7. Očištění stlačeným vzduchem a odmaštění.



Obrázek 35 *Hrubé tmelení*

8. Po očištění následuje hrubé tmelení.



Obrázek 36 *Broušení*

9. Vybrousení hrubého tmelu.

Opět je potřeba nanesený tmel po vytvrnutí vybrousit a odmastit pro nanesení další vrstvy tmelu. Kapotáž vykazuje při tmelení nahrubo jemné nedostatky a to v nerovnoměrném povrchu kapoty.



Obrázek 37 *Tmelení jemné*

10. Tmelení „načisto“- po hrubém tmelení nadchází tmelení jemné pro dosažení hladkého povrchu výrobku.



Obrázek 38 *Kapota po opravě*

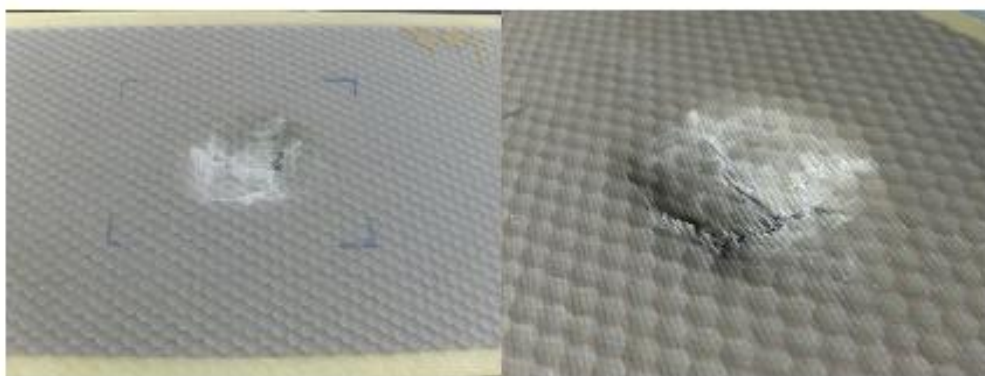
Po vybroušení celého povrchu kapoty je díl připraven na finální lakování a montáž.

7.2 Oprava sendvičového jádra

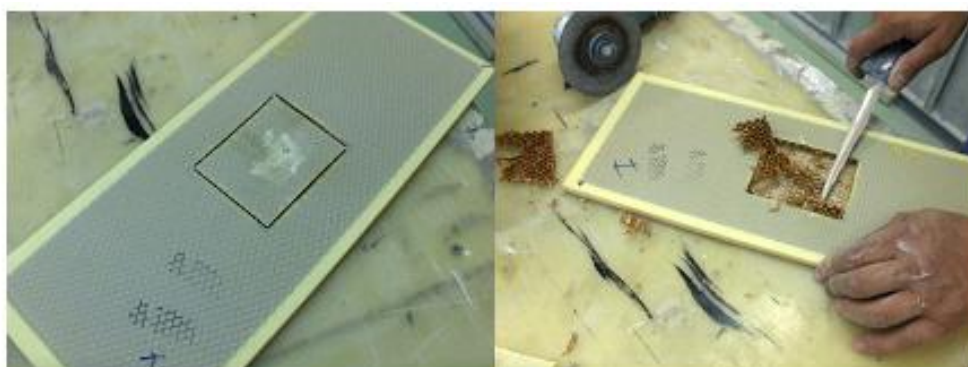
Popis výrobku: Sendvičová konstrukce skládající se z prepregového potahu a voštinového jádra typu nomexový papír. Konstrukce má tloušťku 10mm, tloušťka jádra je 9mm.

Druh poškození/vady: Výrobek vykazuje poškození průrazem tupého předmětu. Poškozená je rubová strana neboli zadní část potahu a částečně i jádro. Druhá část potahu není poškozená.

Postup opravy:



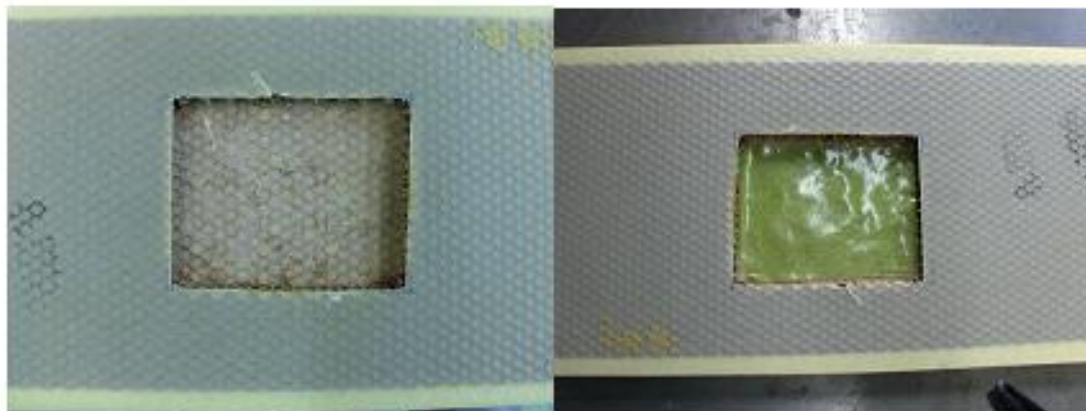
Obrázek 39 *Detail poškození sendvičové konstrukce*



Obrázek 40 *Vyjmutí poškození části sendviče*

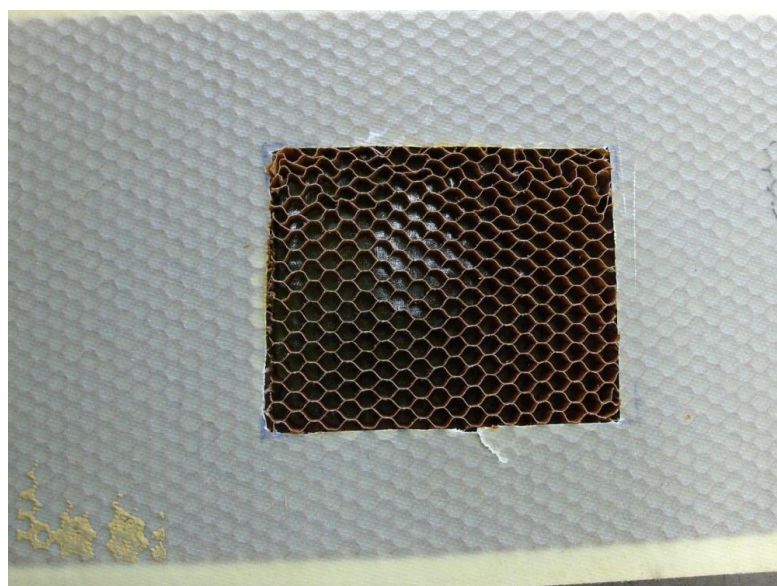
1. Odstranění poškození části sendviče.

Při odstraňování části sendviče je zapotřebí dbát ohled aby se nepoškodila nepoškozená část potahu.



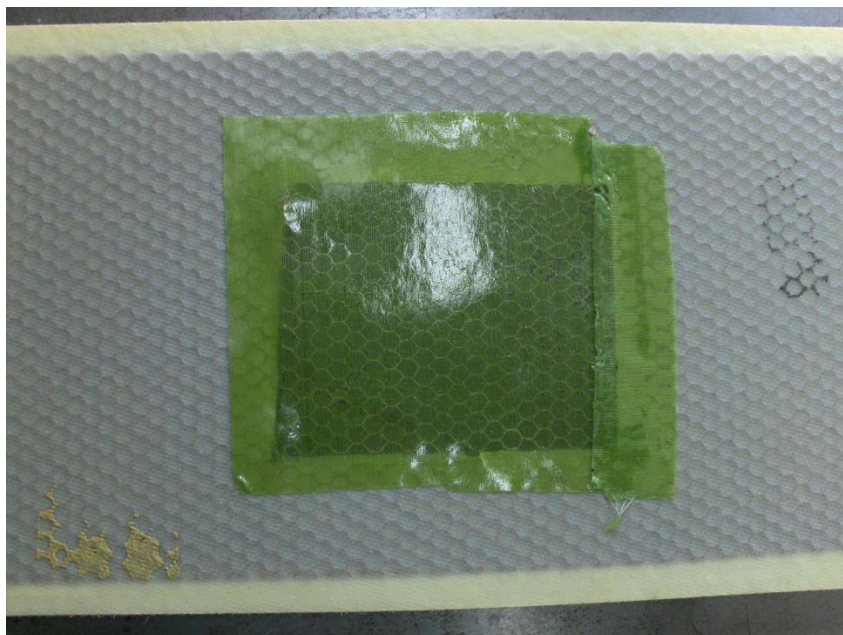
Obrázek 41 *Pohled na sendvič po vytažení poškozené části*

2. Očistění poškozené části vhodným čisticím prostředkem (Isopropanol).
3. Položení lepícího filmu na nepoškozenou část potahu.



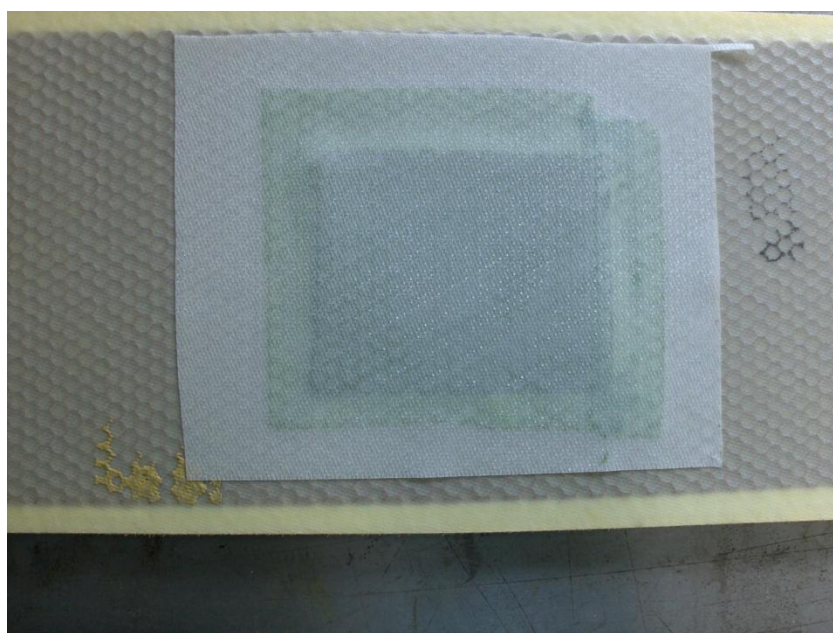
Obrázek 42 *Výměna jádra*

4. Výměna jádrového materiálu (voštiny).



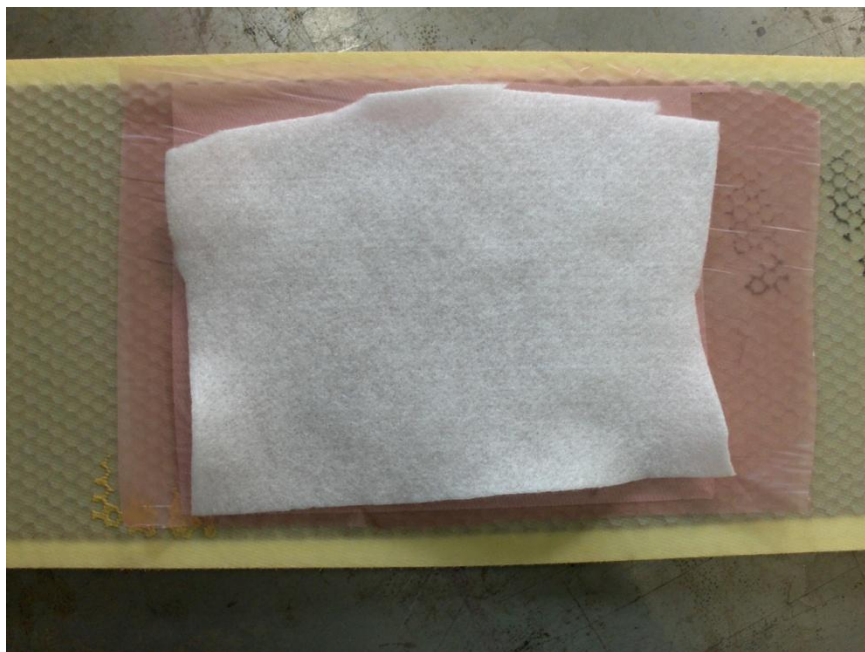
Obrázek 43 *Přeplátování*

5. Přeplátování opravované plochy vyztužujícím lepicím filmem.



Obrázek 44 *Přeplátování prepregem*

6. Přeplátování vyztužujícího filmu prepregem.



Obrázek 45 *Příprava na vakuování*

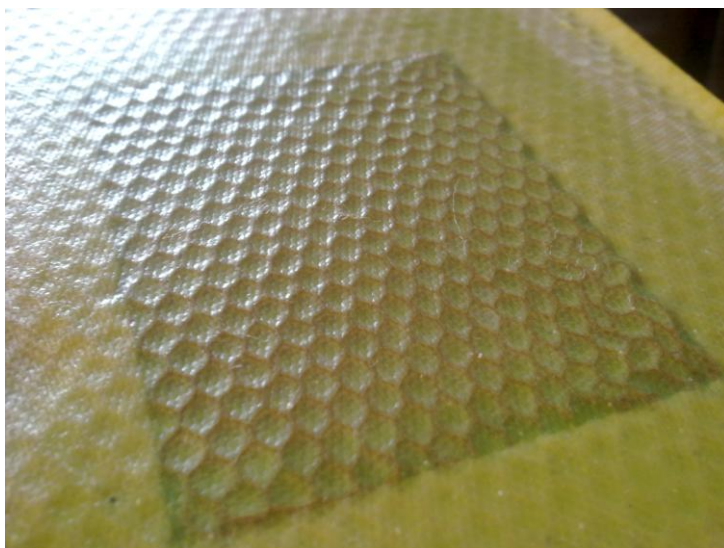
7. Zavakuování opravované plochy-položení separační folie, odsávací rohože (rouno) a vakuovacího filmu s tesněním.



Obrázek 46 Příprava před vložením do vytvrzující pece

8. vytvrzení lepícího filmu a prepregu v temperační peci.

Pro opravu byl použit prepreg a lepící film s nižším vytvrzovacím režimem než je t_g (teplota skelného přechodu) původního materiálu v potahu sendvičové konstrukce.



Obrázek 47 Opravený sendvičový díl

9. Sendvičová konstrukce po vytvrnutí.

7.3 Oprava poškozeného povrchu vrypem

Popis výrobku: Polyesterový skelný laminát opatřený gelcoatovou vrstvou (interiérové obkladové obložení dopravního prostředku). Tloušťka cca 5mm.

Druh poškození/vady: Vryp ostrým předmětem o délce 30cm a tloušťce 1-2mm.

Postup opravy:



Obrázek 48 *Detail na poškození na povrchu součásti*



Obrázek 49 *Nanesení gelcoatu*

1. Očistění stlačeným vzduchem a odmastěno.

2. Nanesení gelcoatu do vrypu.
3. Obroušení nahrubo 400. Očistění stlačeným vzduchem a odmaštěno.
4. Obroušení najemno. Očistění stlačeným vzduchem a odmaštěno.



Obrázek 50 *Opravená součást po vrypu*

5. Vyleštění leštícím kotoučem přimontované na leštící brusce.

7.4 Postup opravy neprosycených suchých míst

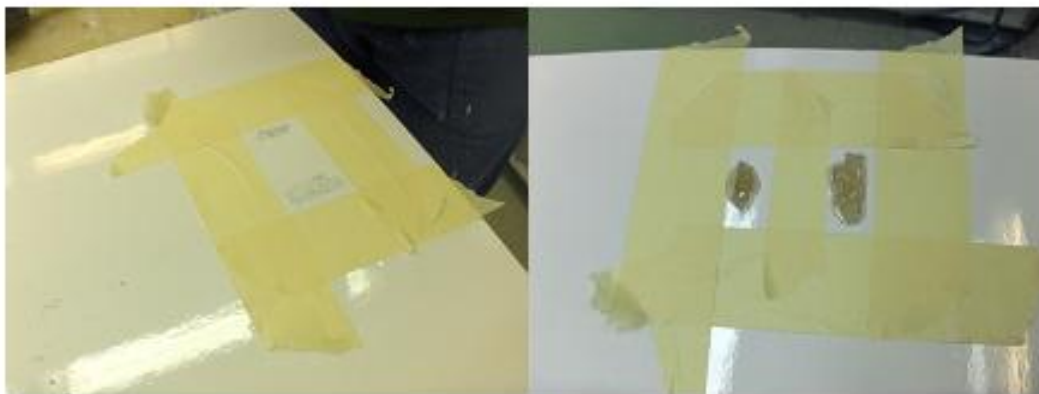
Popis výrobku: Venkovní střešní obklad dopravního prostředku, sendvičová konstrukce skládající se z polyesterového skelného laminátu, jako potahu a PET pěny, jako jádra. Jedna strana potahu je opatřena gelcoatovou vrstvou, tloušťka výrobku je 20mm.

Druh poškození/vady: Suché místa v potahu na gelcoatové straně výrobku. Vada způsobená chybou ve výrobním postupu. Vady jsou lokálního charakteru, do 10 cm².

Postup opravy:



Obrázek 51 *Detail na poškození součásti*



Obrázek 52 *Olepování (vlevo) a prosycení (vpravo)*

1. Odmastění, olepení poškozené části papírovou lepicí páskou.
2. Prosycení suchých míst pryskyřicí.



Obrázek 53 *Obroušení (vlevo) nanesení jemného tmelu (vpravo)*

3. Hrubé tmelení se skelným vláknem.
4. Přebroušení, očištění stlačeným vzduchem a odmastění.
5. Jemné tmelení, přebroušení, očištění stlačeným vzduchem a odmastěno.



Obrázek 54 *Odstranění pásky (vlevo), leštění (vpravo)*

6. Nanesení gelcoatu.

7. Vybrousení vrstvy gelcoatu, odmastění.

8. Leštění leštícím kotoučem.

ZÁVĚR

Kompozitní materiály představují nedílnou součást každodenního života. Můžeme se s nimi setkat v různých odvětvích a mají různá uplatnění, ať už jde o dopravní, spotřební, sportovní, stavební, zdravotní ale i další průmysly.

Bakalářská práce popisuje kompozitní materiály a jejich vlastnosti, zabývá se také základními materiály potřebnými pro vznik polymerních kompozitních materiálů- matrice a vlákna. Práce popisuje i základní aplikace polymerních kompozitních materiálů v různých odvětvích průmyslu.

V odborné literatuře problematika oprav kompozitních materiálů je popsána jen okrajově, příručky pro opravu kompozitních dílů jsou většinou jen v leteckém průmyslu, jsou velmi přísné a jejich postup a metodika není uplatnitelná pro oblast spotřebního průmyslu, dopravního průmyslu, průmyslu kolejových vozidel.

Cílem bakalářské práce byly opravy různých dílů a součástí vyrobených z kompozitních materiálů, na kterých vznikly poškození vlivem neopatrného zacházení nebo se staly útokem vandalismu a v poslední řadě také funkčním zatěžováním. Každý díl prošel renovací, která byla doprovázená přesně po sobě jdoucími operacemi a to proto, aby nevznikly nechtěné chyby, které by se mohly objevit v provozu nebo při využívání opravovaných dílů. Cílem bylo vytvořit jakýsi manuál, ve kterém jsou popsány jednotlivé operace, kterými se může řídit osoba, která si chce svépomocí opravit poškozený díl. Takto provedené opravy vyjdou v řádech desítek až stovek korun a jsou tedy daleko ekonomičtější než pořízení nového dílu. V mnoha případech se jedná o poškození odnímatelné části celku a je zbytečné utrácet peníze za celek, když jde část opravit a zpět namontovat, někdy se poškozená kompozitní část nedá už ani koupit a tak nezbývá než ji opravit.

Všechny díly zmíněné v této práci byly opraveny a jsou schopné opět plnit své úlohy. Cíle bakalářské práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] BAREŠ, Richard A. *Kompozitní materiály*. Vydání 1. Nakladatelství SNTL-nakladatelství technické literatury. 1988.

[2] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vydání 1. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. ISBN 80-214-2443-5.

[3] Rusnáková Soňa: Přednášky z předmětu zpracovatelské inženýrství kompozitů T5ZIK; FT UTB. 2011

[4] cms.bkp.cz [online] BKP GROUP, a. s. - polyesterové tmely, akrylové plniče a laky, ochranné nástřiky

[5] nalezeno.cz [online]

Dostupné na WWW:

<http://www.nazeleno.cz/energie/konopi-kvalitni-biomasa-s-vsestrannym-pouzitim.aspx>

[6] topravebydleni.cz [online]

Dostupné na WWW:

<http://www.topravebydleni.cz/clanky/chyby-tepelne-izolace-v-konstrukcich-sikmych-a-plochych-strech.html>

[7] spoke.cz [online]

Dostupné na WWW:

<http://www.spoke.cz/helmy/fr-dh/10042-troy-lee-designs-d3-pinstripe-carbon/>

[8] pctuning.cz[online]

Dostupné na WWW:

http://pctuning.tyden.cz/navody/upravy-modding/12243-casemodding-kompozitni_zazrak-laminat

[9] attairenlighten.com[online]

Dostupné na WWW:

<http://altairenlighten.com/2012/06/thermosets/>

[10] renagadecomposite.com[online]

Dostupné na WWW:

<http://www.renagadecomposites.com/services>

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 <i>Plastové kompozity s obsahem přírodních vláken</i> [5] | 13 |
| Obrázek 2 <i>Matrace s obsahem konopných vláken</i> [5] | 13 |
| Obrázek 3 <i>Mikrostruktura vlákna izolačních materiálů</i> [6] | 15 |
| Obrázek 4 <i>Ortéza z uhlíkových vláken</i> [8] | 16 |
| Obrázek 5 <i>Detail na karbonové vlákno</i> [9]..... | 19 |
| Obrázek 6 <i>Kryt výfuku z kompozitního materiálu</i> [10] | 19 |
| Obrázek 7 <i>Druhy kompozitů</i> [2]..... | 22 |
| Obrázek 8 <i>Konstrukce pneumatiky s kovovým vláknitým kordem.</i> [2]..... | 23 |
| Obrázek 9 <i>Rozdíl mezi tkaninou (nahore) a rohoží.</i> [8]..... | 25 |
| Obrázek 10 <i>Schématické dělení nejčastěji využívaných vláken</i> [2] | 26 |
| Obrázek 11 <i>Schéma struktury UHMWPE vláken (Deeman) (a) aramidových vláken Kevlaru (b)</i> [2]..... | 28 |
| Obrázek 12 <i>Sendvičová konstrukce</i> [3]..... | 30 |
| Obrázek 13 <i>Laminátová struktura</i> [3] | 31 |
| Obrázek 14 <i>Diagram vývoje poškození</i> [3]..... | 31 |
| Obrázek 15 <i>Místo nárazu v laminátové struktuře</i> [3]..... | 32 |
| Obrázek 16 <i>Částečné poškození</i> [3]..... | 32 |
| Obrázek 17 <i>Tepelné poškození</i> [3]..... | 33 |
| Obrázek 18 <i>Promáčknutí v sendviči</i> [3]..... | 33 |
| Obrázek 19 <i>Díra v sendviči</i> [3]..... | 33 |
| Obrázek 20 <i>Trhlina v místě díry pro inserty</i> [3] | 34 |
| Obrázek 21 <i>Tmel Rapid</i> [4]..... | 36 |
| Obrázek 22 <i>Tmel Glas Light</i> [4] | 36 |
| Obrázek 24 <i>Odmašťovač silikonu</i> [4] | 37 |
| Obrázek 23 <i>Plnič 2K PUR</i> [4] | 37 |
| Obrázek 25 <i>Brusné folie</i> [4]..... | 38 |
| Obrázek 26 <i>Maskovací páska</i> [4]..... | 38 |
| Obrázek 27 <i>Brusné filce</i> [4]..... | 39 |
| Obrázek 28 <i>Kapota-pohled na celek</i> | 41 |
| Obrázek 29 <i>Poškozené části kapotáže</i> | 41 |
| Obrázek 30 <i>Kapota po broušení</i> | 42 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 31 <i>Pohled na pravou a levou část po obroušení kapoty</i> | 42 |
| Obrázek 32 <i>Laminace skelnou rohoží</i> | 43 |
| Obrázek 33 <i>Laminace skelnou tkaninou</i> | 43 |
| Obrázek 34 <i>Levá a pravá strana po broušení</i> | 44 |
| Obrázek 35 <i>Hrubé tmelení</i> | 44 |
| Obrázek 36 <i>Broušení</i> | 45 |
| Obrázek 37 <i>Tmelení jemné</i> | 45 |
| Obrázek 38 <i>Kapota po opravě</i> | 46 |
| Obrázek 39 <i>Detail poškození sendvičové konstrukce</i> | 47 |
| Obrázek 40 <i>Vyjmutí poškození části sendviče</i> | 47 |
| Obrázek 41 <i>Pohled na sendvič po vytažení poškozené části</i> | 48 |
| Obrázek 42 <i>Výměna jádra</i> | 48 |
| Obrázek 43 <i>Přeplátování</i> | 49 |
| Obrázek 44 <i>Přeplátování prepregem</i> | 49 |
| Obrázek 45 <i>Příprava na vakuování</i> | 50 |
| Obrázek 46 <i>Příprava před vložením do vytvrzující pece</i> | 51 |
| Obrázek 47 <i>Opravený sendvičový díl</i> | 51 |
| Obrázek 48 <i>Detail na poškození na povrchu součásti</i> | 52 |
| Obrázek 49 <i>Nanesení gelcoatu</i> | 52 |
| Obrázek 50 <i>Opravená součást po vrypu</i> | 53 |
| Obrázek 51 <i>Detail na poškození součásti</i> | 54 |
| Obrázek 52 <i>Olepování (vlevo) a prosycení (vpravo)</i> | 55 |
| Obrázek 53 <i>Obroušení (vlevo) nanesení jemného tmelu (vpravo)</i> | 55 |
| Obrázek 54 <i>Odstranění pásky (vlevo), leštění (vpravo)</i> | 56 |

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 *Srovnání fyzikálních vlastností různých konstrukčních materiálů.* [2] 18

Tabulka 2 *Vybrané vlastnosti některých vyztužujících vláken* [2] 27