

# Návrh konstrukce a technologie výroby součásti pro automotive

Tomáš Chovančík

---

Bakalářská práce  
2017

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Chovančík**  
Osobní číslo: **T15017**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh konstrukce a technologie výroby součásti pro automotive**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická část
2. Literární rešerše v oblasti kompozitních materiálů
3. Technologie využívající kompozitní materiály
4. Technologie ruční laminace
5. Kompozitní materiály v automobilovém průmyslu
6. Experimentální část
7. Výběr součásti pro automotive
8. Volba materiálového složení
9. Výroba prototypové součásti
10. Vyhodnocení a zpracování dosažených výsledků

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího práce**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Lukáš Maňas**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**2. ledna 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**19. května 2017**

Ve Zlíně dne 31. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, 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 obhajoby <sup>1)</sup>;
- 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. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> 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 § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít 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 jejich 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 7. dubna 2017

.....

---

<sup>1)</sup> 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 nevydělečně 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.

<sup>2)</sup> 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).

<sup>3)</sup> 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 vynaložil, 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**

Představená bakalářská práce se zabývá zejména návrhem a konstrukcí součástí z kompozitních materiálů.

V teoretické části jsou představeny materiály, které v kompozitní struktuře plní vyztužující a pojící funkci. Následně jsou zde uvedeny informace o nejběžněji využívaných technologiích zpracovávajících popisované materiály. Důležitou kapitolu představuje technologie ruční laminace, u které je předpoklad využití v praktické části práce.

Druhá část bakalářské práce popisuje konstrukční řešení a technologii výroby formy a zvolené součásti, použité materiály a jejich funkci ve výsledné struktuře. Hodnotnou částí práce je pak experimentální popis a fotodokumentace jednotlivých technologických postupů. Závěr práce pak vyhodnocuje jednotlivé experimentální postupy a materiálové kombinace s ohledem na výsledné požadované vlastnosti, které jsou preferované u vyráběné součásti.

**Klíčová slova:** Kompozitní materiál, ruční laminace, forma, uhlíkové vlákno, pryskyřice.

## **ABSTRACT**

This introduced bachelor's thesis deals with the proposal and construction of a component of composite material.

In the theoretical part of this thesis different types of material are introduced, which perform the reinforce and binding function. Afterwards the information about the most commonly used technologies is presented which process the described materials. The technology of manual laminating, which is assumed to be capitalized in the practical part of the work, plays a very important part of the work.

The second part of the work describes the solving of the construction and the technology of the manufacturing of moulds, chosen components, used materials and their function in the final structure. The experimental description and the documentary photos of particular technological procedure are a valuable part of the work. The end of the work evaluates particular experimental methods and the combination of materials regard to final needed property which is preferred at produced components.

**Keywords:** Composite material, manual laminating, mould, carbon fibres, resin.

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Lukáši Maňasovi za odborné vedení, trpělivost, čas a cenné rady, které mi pomohly při zpracování této bakalářské práce a za možnost zpracování praktické části ve školních laboratořích, které jsou na vysoké úrovni.

Zvláštní poděkování patří především mé rodině a blízkým, kteří mě podporovali ve studiu.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY .....</b>	<b>12</b>
1.1 VÝZNAM, VLASTNOSTI A VYUŽITÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ .....	12
1.2 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ .....	13
1.2.1 Vlákenné kompozity .....	13
1.2.2 Částicové kompozity .....	14
1.3 MATRICE .....	14
1.4 VÝZTUŽE.....	15
<b>2 TECHNOLOGIE VYUŽÍVAJÍCÍ KOMPOZITNÍ MATERIÁLY.....</b>	<b>18</b>
2.1 STRÍKÁNÍ.....	18
2.2 VAKUOVÁ INFUZE (VFI – VACUUM FOIL INFUSION).....	19
2.3 VYSOKOTLAKÉ VSTRÍKOVÁNÍ (RTM - RESIN TRANSFER MOULDING) .....	20
2.4 PULTRUZE .....	21
2.5 LISOVACÍ TECHNOLOGIE (SMC – SHEET MOULDING COMPOUND).....	22
2.6 NAVÍJENÍ.....	22
2.7 VAKUOVÉ LISOVÁNÍ Z PREPREGU .....	23
2.8 RUČNÍ LAMINOVÁNÍ .....	24
<b>3 TECHNOLOGIE RUČNÍ LAMINACE .....</b>	<b>26</b>
3.1 VÝROBNÍ PROCES .....	26
3.2 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI .....	27
3.3 RUČNÍ LAMINOVÁNÍ S PODPOROU VAKUA .....	28
3.4 VYUŽITÍ TECHNOLOGIE .....	28
<b>4 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU.....</b>	<b>29</b>
4.1 KOMPOZITY S KOVOVOU MATRICÍ.....	29
4.2 KOMPOZITY S POLYMERNÍ MATRICÍ .....	29
4.3 ČÁSTI AUTOMOBILU Z KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ .....	29
4.3.1 Interiér automobilu.....	29
4.3.2 Střecha automobilu.....	30
4.3.3 Pružiny .....	30
4.3.4 Nádrže na zemní plyn.....	31
4.3.5 Kompozitní díly v závodním automobilu .....	32
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>33</b>
<b>5 VÝBĚR SOUČÁSTI PRO AUTOMOTIVE.....</b>	<b>34</b>
<b>6 VOLBA MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ.....</b>	<b>35</b>
6.1 MATERIÁLY NA VÝROBU FORMY .....	35
6.1.1 Montážní pěna.....	35
6.1.2 Stavební sádra .....	35
6.1.3 Tvarovací plastelína .....	36



6.1.4	Separáční vosk .....	36
6.1.5	Epoxidov gelcoat a tužidlo .....	37
6.1.6	Epoxidov pryskyřice a tužidlo .....	38
6.1.7	Skeln rohož .....	38
6.2	MATERIÁLY NA VÝROBU SOUASTI .....	39
6.2.1	Uhlkov tkanina .....	39
6.3	POMOCN MATERIÁLY .....	40
6.3.1	Separáční flie .....	40
6.3.2	Odtrhová tkanina .....	40
6.3.3	Odsávací roho .....	41
6.3.4	Vakuov flie .....	41
6.3.5	Tsnc pska .....	42
6.3.6	Lepc sprej .....	42
6.3.7	Ostatn pomocn materiály .....	43
<b>7</b>	<b>VROBA PROTOTYPOV SOUASTI .....</b>	<b>44</b>
7.1	PPRAVA K VROB FORMY .....	44
7.2	VROBA FORMY .....	46
7.3	VROBA VROBKU .....	49
7.4	OPTIMALIZACE VÝROBY .....	49
7.5	DOKONČUJÍCÍ OPERACE .....	53
7.6	CENOV KALKULACE .....	55
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM POUIT LITERATURY .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM POUITYCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM PRLOH .....</b>	<b>65</b>

## ÚVOD

Automobily jsou v dnešní době velmi žádaná komodita a pro jednotlivé výrobce je tedy nutné dosáhnout vysoké produkce s důrazem na udržení a zvyšování kvality nabízeného produktu, bezpečnost posádky a ostatních účastníků provozu a v neposlední řadě také požadavky na splnění ekologických norem. S ohledem na uvedené faktory je důležité zaměřit se na využívané materiály, technologie a výrobní procesy optimalizovat.

Použitím lehkých materiálů při výrobě lze značně snížit spotřebu paliva automobilu. Zvýšení samotné životnosti automobilu je pak možné dosáhnout odolností použitých materiálů. Tyto požadavky lze docílit využitím kompozitních materiálů, které jsou v jistých aplikacích efektivnější než běžný hliník, ocel a další konvenčně využívané materiály.

Stejně jako běžně využívané materiály jsou i materiály kompozitní schopny zachovat veškeré požadavky na konstrukci, jako je například bezpečnost, mechanické vlastnosti, či design.

Kompozitní materiály lze zpracovávat různými technologiemi a tím získávají široké uplatnění nejen v automobilovém průmyslu. Velké použití je hlavně v interiéru vozidla. Zde jsou kompozitní struktury využívány jako krycí panely, podlahy či pohledové díly. Samotnou kapitolou je pak oblast sportovních úprav automobilů a jednotlivé závodní kategorie využívající právě předností těchto materiálů.

Kompozitní materiály zastupují místo běžných materiálů a lze očekávat, že se budou rozšiřovat ještě více.

## I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozitní materiál, tzv. kompozit je složen ze dvou a více složek, které mají odlišné fyzikální, mechanické a chemické vlastnosti. Materiál je složen z matrice a výztuže. Matrici nazýváme spojitou fází a jejím hlavním úkolem je plnit funkci pojiva. Výztuž, kterou označujeme jako nespojitou fází, vykonává v kompozitní struktuře vyztužující funkci. Kompozitní materiály jsou využívány ve formě polotovarů určených k dalšímu zpracování. [1,2]

### 1.1 Význam, vlastnosti a využití kompozitních materiálů

Vzhledem k tomu, že je kompozit složen ze dvou či více složek využívající synergický efekt, získávají tyto materiály výborné vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti patří vysoká pevnost a tuhost, odolnost proti korozi, tlumení vibrací, vysoká teplotní odolnost, kvalita povrchu a odolnost proti šíření trhlin. [3]

Velké uplatnění mají tyto materiály v leteckém průmyslu pro výrobu rotujících částí, např. vrtulí, turbín a výztuží křídel. Dále se využívají k výrobě dopravních prostředků, např. podvozků. [4]

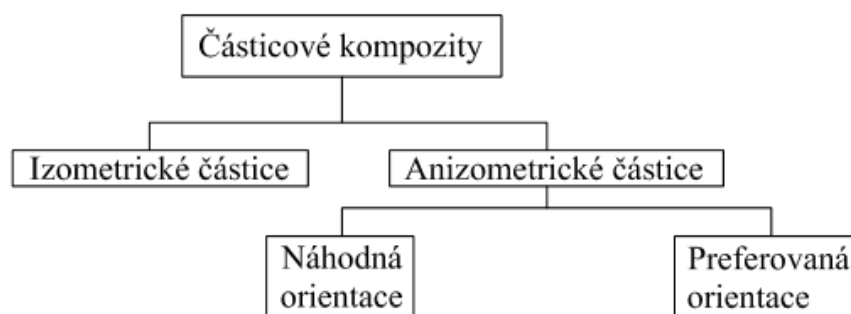


*Obr. 1 Využití kompozitních materiálů [32]*

## 1.2 Rozdělení kompozitních materiálů



Obr. 2 Rozdělení vláknových kompozitů



Obr. 3 Rozdělení částicových kompozitů

### 1.2.1 Vláknové kompozity

Kompozity tvořeny vlákny s rozměry délek výrazně většími než jejich průřez. Se zmenšujícím se průřezem roste pevnost vlákna. Je to způsobeno tím, že vlákna s malým průřezem mají malé množství defektů struktury a minimalizují tak vadu materiálu. Pro vytvoření vláknového kompozitu se vlákna vkládají do matricového materiálu. Součástí kompozitu jsou tedy vlákna, která dodávají pevnost a tuhost materiálu, a proto se stávají nejdůležitějšími kompozity. Pro kompozitní materiály se vyrábějí vlákna uhlíková, skelná, kovová, přírodní atd. Mezi nejčastěji používané pak patří vlákna skelná. [5]

### 1.2.2 Částicové kompozity

Pro vytvoření kompozitu můžeme použít různé druhy částic, které mají nevláknový tvar. Částice mají tvar např. kvádrů, koule nebo krychle. Částice mají význam pro zlepšení mechanických vlastností v materiálu např. tepelnou vodivost, odolnost proti opotřebení atd. Při použití anorganických částic se zlepšuje tvarová stálost a zvyšuje se tuhost materiálu. Částice na bázi elastomeru zlepšují houževnatost a sulfidové, či grafitové částice zvyšují odolnost proti oděru. V matrici mohou mít náhodnou nebo přednostní orientaci a díky tomu je dělíme na orientované a neorientované částice. [6]

### 1.3 Matrice

Materiál, díky kterému jsou prosyceny vlákna v takové míře, že vzniká tvarový výrobek označován jako kompozit. Pomocí iniciátorů a tvrdidel je možné získat směs připravenou k nanášení do připravené výztuže. Po prosycení jednotlivých vrstev probíhá proces vytvrzování. Typ tvrdidla přidávaného do směsi s pryskyřicí udává rychlost vytvrzování za určité teploty. Matrice má za úkol ochranu vláken před působením okolních vlivů, zaručit geometrický tvar, stálost výrobku a rovněž přenos zatížení na vyztužující vlákna. Mezi nejběžněji využívané matrice, u uvedených materiálů, patří matrice rozdělující se na reaktoplasty a termoplasty. [4]

- **Matrice - reaktoplasty**

Pryskyřice, které se dříve používaly pro kompozitní materiály, byly buď vyztužené nenasycené polyesterové (UR-R) nebo epoxidové (EP-R) pryskyřice, které mají nižší viskozitu než reaktoplasty a to díky tomu, že jsou nízkomolekulární a většinou v tekutém stavu. Z toho důvodu reaktoplasty lépe prosycují a smáčejí vyztužující vlákna a tím umožňují jednodušší zpracování a práci s materiály. Teploty při zpracování jsou u reaktoplastů poměrně nízké a také energetická náročnost nutná k prosycování vláken je nižší ve srovnání s termoplasty. Pomocí urychlovače a katalyzátoru se reaktoplastické pryskyřice vytvrzují a tím získává kompozit své specifické vlastnosti. [4]

#### **Nejdůležitější typy reaktoplastických pryskyřic:**

- Epoxidové pryskyřice
- Polyesterové pryskyřice
- Fenolické pryskyřice
- Vinylesterové pryskyřice

- Izokyanátové pryskyřice
- Metalkrylátové pryskyřice [4]
- **Matrice termoplastické**

Termoplasty jsou oproti termosetům lépe zpracovatelné a liší se uživatelskými vlastnostmi. Výhodou je jejich houževnatost. U termoplastů neprobíhá chemický proces, který by následně narušil životní prostředí, ale při zpracování dochází pouze k roztavení a následnému ztuhnutí matrice. Za pokojové teploty jsou termoplasty pevné látky, které je třeba zahřát na bod tavení (cca 200°C). Nejčastěji se využívají v leteckém, vojenském a automobilovém průmyslu. [4,7]

#### **Nejdůležitější typy termoplastických pryskyřic:**

- Polyamidové pryskyřice
- Polypropylénové pryskyřice
- Polyetylsulfidové pryskyřice
- Polyetermidové pryskyřice [4]

## **1.4 Výztuže**

Kostrou kompozitu je výztuž, která může být například ve formě vláken, plniv (nasekaná vlákna, skleněné kuličky), 2D tkanin, či tkané 3D výztuhy. Kompozitní struktury mohou obsahovat vlákna s různými rozměry a z rozdílných materiálů. Výztuž zaručuje v kompozitech lepší fyzikálně mechanické vlastnosti u konečného výrobku. Bez matrice by samotná výztuž tyto vlastnosti nebyla schopná zaručit. [8]

- **Skelná vlákna (GF – Glass Fiber)**

Skelná vlákna jsou název pro tenká vlákna s pravidelným kruhovým průřezem. Tyto vlákna mají amorfní strukturu. Znamená to, že jejich vlastnosti jsou stejné v příčném i podélném směru. Vlastnosti jsou ovlivněny i chemickým složením skelných vláken. Velmi příznivou vlastností skelných vláken je jejich nehořlavost, která může být dále podpořena volbou matrice se zvýšenou teplotní odolností. [4]

Široká škála polotovarů vyráběných ze skelných vláken umožňuje tento materiál využívat v rozsáhlém průmyslovém spektru. Tuto skutečnost dále podporuje poměrně nízká cena materiálů, ve srovnání například s polotovary tvořených uhlíkovými vlákny. Skelné

tkaniny a rohože se využívají jako základ výztuže zejména v automobilovém a leteckém průmyslu. [9]



*Obr. 4 Skelné vlákno ve formě rohože [18]*

- **Aramidová vlákna (AF – Aramid Fiber)**

Vlákna, která jsou na bázi lineárních organických polymerů, se nazývají Aramidová vlákna s vysokou pevností, tuhostí a nízkou hmotností. Jsou hydrofilní, což znamená, že pohlcují vlhkost. Mimo využití v kompozitních systémech se z těchto materiálů vyrábí protipožární obleky, často jsou také náhradou azbestu ve třecích a brzdových obloženích, využívají se k výrobě neprůstřelných vest. [3,7]

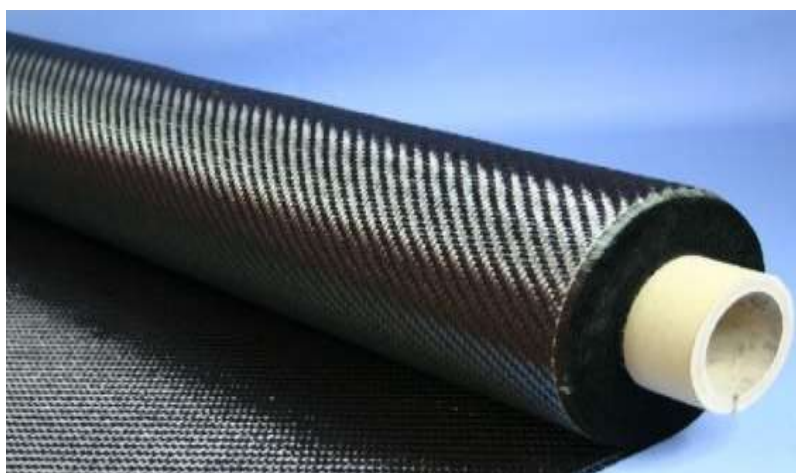


*Obr. 5 Aramidové vlákno – kevlar [19]*



- **Uhlíková vlákna (CF – Carbon Fiber)**

Uhlíková vlákna se vyznačují vysokou tuhostí a pevností. Bohužel, mají poměrně nízkou tažnost. Obsahují až 90% uhlíku, přičemž se dále skládají z kyslíku, dusíku a vodíku. Mají nízkou odolnost vůči nárazu, což je způsobeno křehkostí uhlíkového vlákna. Pro zvýšení odolnosti se na povrch nanáší směs epoxidové pryskyřice. Mezi přednosti těchto vláken patří elektrická vodivost. Využívají se pro výrobu lodí, v automobilovém a leteckém průmyslu. Nejsou příliš využívány kvůli jejich vysoké ceně. [3]



*Obr. 6 Uhlíkové vlákno [20]*

- **Přírodní vlákna**

Tato vlákna jsou vyrobena z obnovitelných zdrojů. Nejběžněji jsou vyráběny na bázi celulózy, např. konopí, bavlna, len, juta, sisal. Mají nízkou hustotu a jsou rozlišitelné. Nevhodná je jejich citlivost na působení vlhkosti a omezenost délky vláken. Jsou využívány k výrobě lehkých dílců v interiérech v automobilovém průmyslu. [10]



*Obr. 7 Přírodní vlákno – konopí [21]*

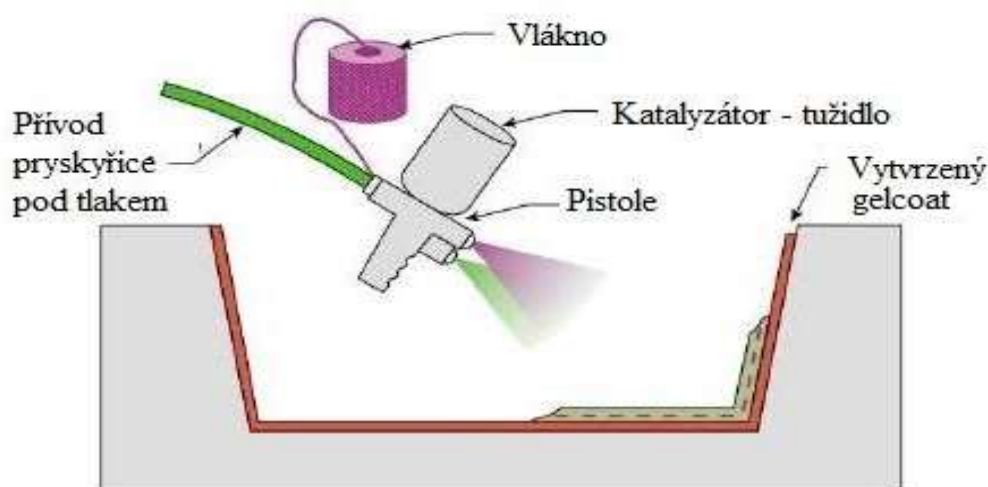
## 2 TECHNOLOGIE VYUŽÍVAJÍCÍ KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozitní materiály lze vyrábět různými metodami, které se liší především použitými pomocnými materiály a také jakostí povrchu vyráběné součásti. Vhodnost technologie výroby se volí podle toho, jaké jakosti výrobku chceme dosáhnout a zároveň dle ekonomické náročnosti výrobku. Technologie lze rozdělit podle typu formy (uzavřená, otevřená), jakosti povrchu, sériovosti (malosériové, velkosériové), rozměrů (malé, velké), či výsledných mechanických vlastností. [11]

### 2.1 Stříkání

Stříkání je strojní technologie, při které se používá speciální stříkácí pistole. Během výroby se zároveň nanáší sekaná výztuž a pryskyřice. Princip nanášení je řízen automaticky, pomocí počítače, nebo se provádí manuálně. Technologie je určena pro sériovou výrobu větších dílců s jednoduchým tvarem.

Jako první se nanese gelcoatová vrstva, která chrání kompozit před vnějším prostředím a zároveň ovlivňuje jeho životnost. V závislosti na výsledné tloušťce výrobku se stříkání aplikuje v několika vrstvách, tzv. mokré do mokrého. Pro vytlačení vzduchových bublin a zhutnění vrstvy se používá rýhovaný nebo štetinový váleček. [4,10]



Obr. 8 Technologie stříkání [22]

#### Výhody:

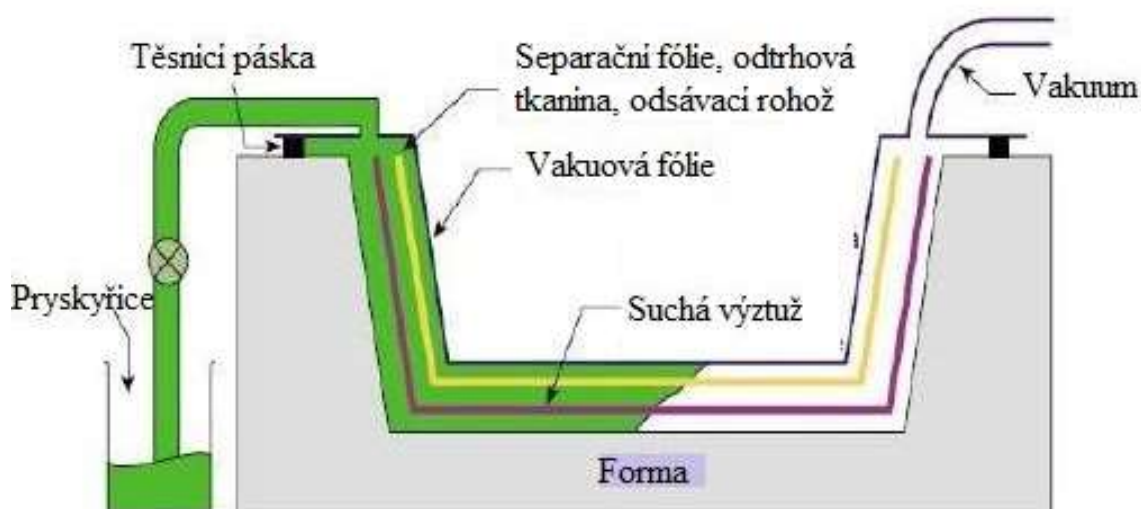
- Nízká cena nástroje.
- Široká využitelnost.
- Rychlé nanášení.

**Nevýhody:**

- Hmotnost výrobku.
- Kvalita.
- Koncentrace škodlivých látek.

**2.2 Vakuová infuze (VFI – Vacuum Foil Infusion)**

U vakuové infuze se používá podtlak pod pružnou fólií k prosycení pryskyřice přes suchou výztuž. Tyto výztuže jsou ve formě rohoží nebo tkanin, které jsou vkládány do dutiny formy. V prvním kroku dochází k vyčištění a následné separaci formy. Po přípravě výztuže se nanese gelcoatová vrstva. Výztuž se umístí do formy. Dále se pokládají technologické materiály: separační fólie, odtrhová tkanina, odsávací rohož a vakuová fólie, která způsobuje slisování materiálu ve formě a je utěsněna na okrajích formy pomocí těsnicí pásky. Pomocí vakua je pryskyřice rozváděna do dutiny formy. Při běžných atmosférických podmínkách dochází k vytvrzení. [12]



Obr. 9 Vakuová infuze [22]

**Výhody:**

- Vysoká pevnost a tuhost.
- Vysoká kvalita výrobku.
- Výhoda velkoplošných výrobků.

**Nevýhody:**

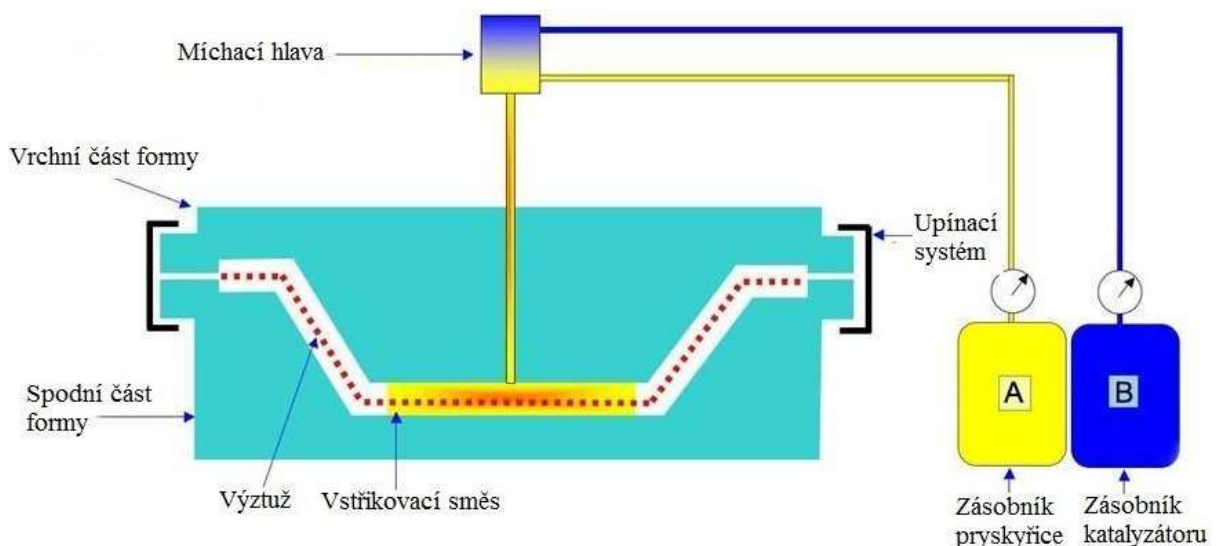
- Složitost procesu.
- Nutná odbornost pracovníků.
- Vysoká cena materiálů.

**2.3 Vysokotlaké vstřikování (RTM - Resin Transfer Moulding)**

Při vysokotlakém vstřikování má forma odolnou konstrukci, kvůli vysokému působení tlaku uvnitř formy. Forma je dvoudílná a uzavře se po umístění výztuže. [10]

Po oddělení formy se nanese gelcoat. Dalším krokem je vkládání suché výztuže a následné uzavření. Forma má vstřikovací otvor, pomocí kterého je do formy vstřikováno pojivo injektážní pistolí. Pojivo je přiváděno z vysokotlaké pumpy a vstřikuje se, dokud nedojde k vytékání pojiva z kontrolních bodů na formě. V tento moment dochází k úplnému prosycení výztuhy. Výrobek se vytáhne po úplném vytvrzení. [1,8,10]

Tato technologie se používá pro výrobu dílců nákladních automobilů, autobusů a zemědělských strojů. [13]



Obr. 10 Vysokotlaké vstřikování [23]

**Výhody:**

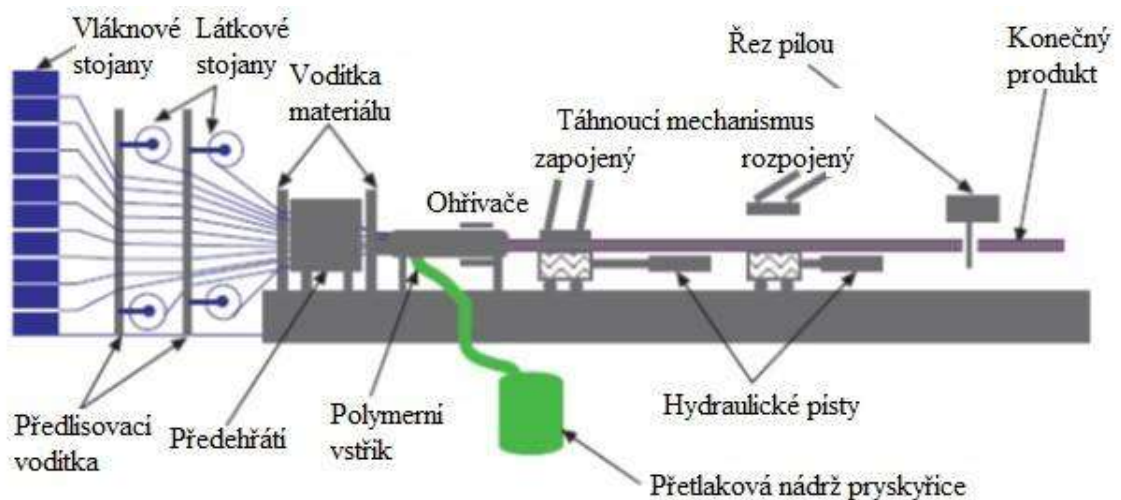
- Přesná výroba.
- Dobrý povrch výrobku na obou stranách.
- Možnost vyrábět výrobky s tolerancemi.

**Nevýhody:**

- Finančně nákladné formy.
- Hmotnost forem.
- Zhoršené fyzikální vlastnosti (nižší obsah vyztužujících vláken).

**2.4 Pultruze**

Pro tuto technologii se využívají svazky tkanin, rohoží nebo vláken. Výztuž se impregnuje kontinuálně tekutou pryskyřicí (např. UP nebo VE) a vtahuje se do tvarovací a vytvrzovací hlavy. Vnitřek formy je ve tvaru požadovaného profilu. Pryskyřice se vytvrzuje ve vytvrzovací hlavě, pro skleněná vlákna je používán mikrovlnný ohřev a pro vlákna uhlíková indukční ohřev, která je ohřívána a výsledný profil se odtahuje housenkovými pasy nebo popojíždějícími vozíky. Následně je rozdělen na požadovanou délku. Ty jsou často horizontálně uspořádány. Dle tvarové složitosti výrobku se určuje výsledný čas technologie. [14]



Obr. 11 Pultruze [22]

**Výhody:**

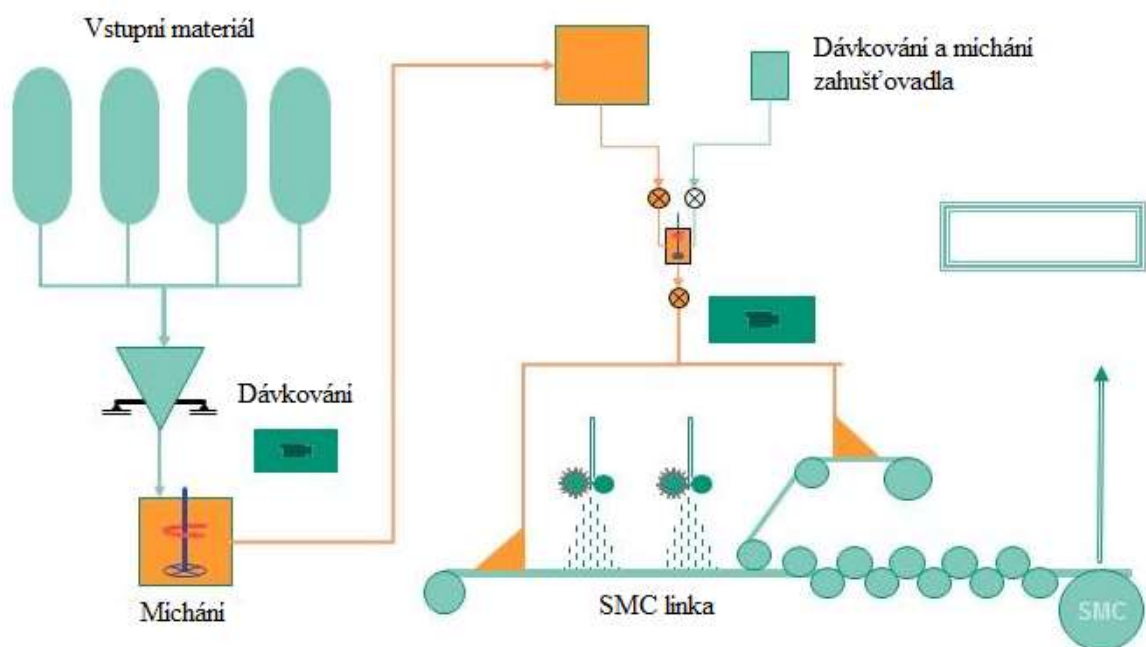
- Vysoká produktivita.
- Velká výsledná délka profilu.

**Nevýhody:**

- Ekonomicky nákladné na provoz.
- Tvarové omezení profilu.

## 2.5 Lisovací technologie (SMC – Sheet Moulding Compoud)

Technologie využívající dvoudílnou vyhřívanou formu, do které je vložen polotovar pro lisování (tzv. prepreg). Následně se forma uzavře a polotovar se vytvaruje a vytvrdí. Po smíchání polyesterové pryskyřice s částicemi, např. uhlíkatým vápenatým, křemičitým práškem a nasekanými skelnými vlákny se vytvoří plátno. Vzniklé materiály mají skvělé mechanické vlastnosti. Tento typ výroby se používá pouze pro velkosériové výroby (např. v automobilovém průmyslu pro panely karoserií automobilů). [1,11]



Obr. 12 Lisovací technologie [24]

### Výhody:

- Vysoká kvalita.
- Výroba dílců rozdílné tloušťky.
- Vysoká produktivita.

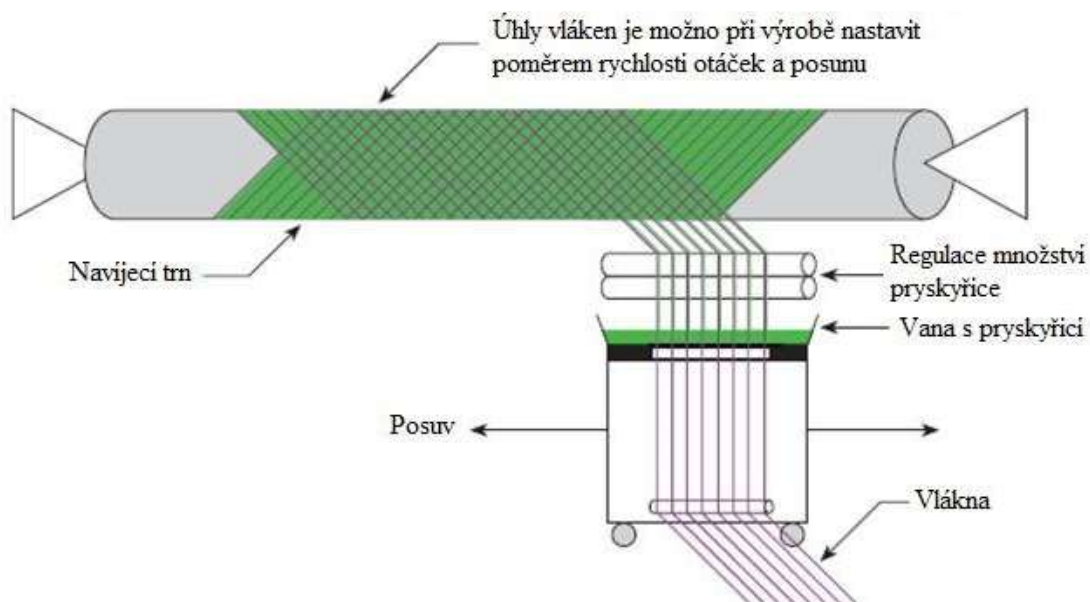
### Nevýhody:

- Vysoká pořizovací cena.
- Malá přizpůsobivost výroby.

## 2.6 Navíjení

Tato technologie pracuje na principu kontinuálním navíjení vláken nebo upravené výztuže na kruhovou formu. Výztuž (např. skelná, uhlíková, aramidová) je navíjena na trn (jádro)

ve tvaru výrobku. Navíjená vlákna jsou prosycena již při navíjení nebo se navlhčí až po navinutí. Trny jsou vyráběny s malým úkosem, aby se výrobek snadněji vyjmul. Rotační pohyb trnu se při navíjení spojuje s posuvným pohybem vany, která obsahuje pryskyřici. Pomocí uspořádání pramenů vláken a výztuží se dosahuje požadovaných vlastností výrobku. Pomocí této metody vznikají potrubí, nádrže a další dutá tělesa. [1,11]



Obr. 13 Navíjení [22]

#### Výhody:

- Výborné fyzikální vlastnosti.
- Vysoká produktivita – možnost CNC řízení.

#### Nevýhody:

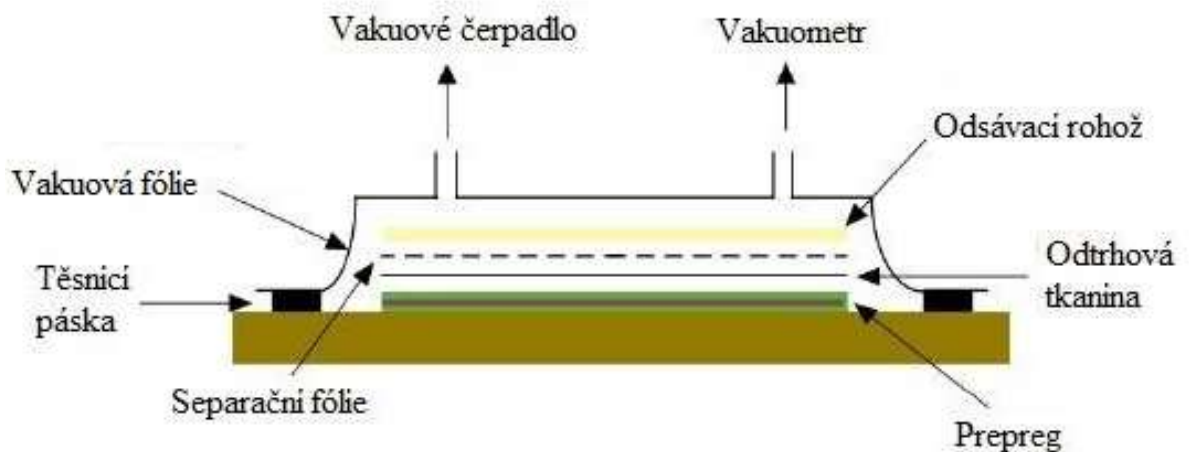
- Vysoká pořizovací cena strojů.

## 2.7 Vakuové lisování z prepregu

Předimpregnovaná vyztužující tkanina, tzv. prepreg, obsahující pryskyřici a výztuž v přesném poměru, je ukládán v tenkých vrstvách do formy. Do dutiny se dále přidávají potřebné technologické materiály, jako jsou: separační fólie, odtrhovaná tkanina, odsávací rohož a vakuová fólie. Pomocí vakua se pod fólií vytváří podtlak a tím se vrstvy slisují. Prepreg se začíná vytvrzovat po vložení celé formy do vyhříváné pece, či autoklávu. Použitím autoklávu je možné dosáhnout ještě kvalitnějších výrobků. Tato skutečnost je

způsobena především prostředím, ve kterém na vyráběnou součást působí rovněž přetlak vně autoklávu. [1,11]

Tato technologie se používá pro letecký průmysl, velké obkladové panely v dopravních prostředcích, závodní automobily a součásti, u kterých je vyžadována vysoká přesnost a pohledová kvalita jednotlivých ploch. [11]



Obr. 14 Vakuové lisování prepregů [25]

#### Výhody:

- Přesné uložení výztuže.
- Izotropní vlastnosti.

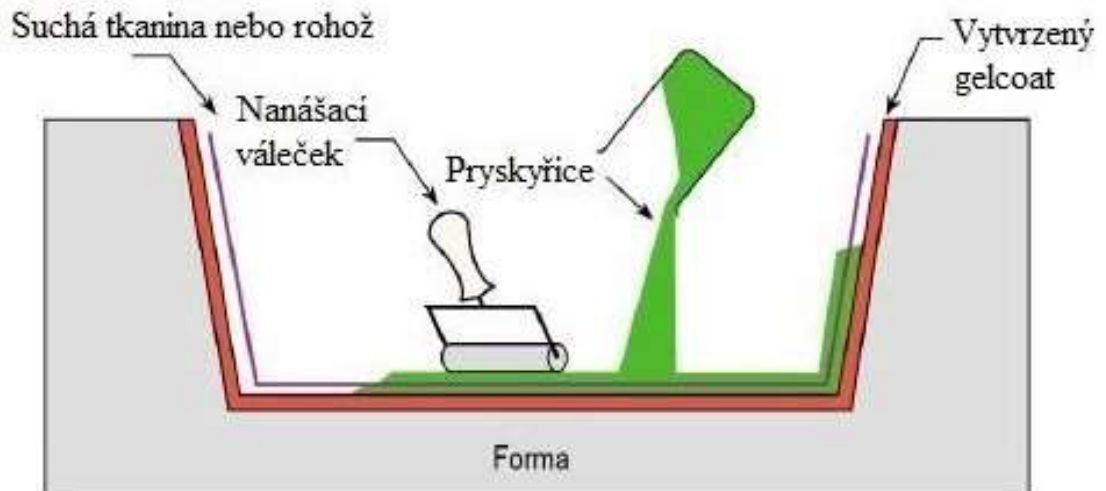
#### Nevýhody:

- Vyšší cena vstupních polotovarů.
- Velký odpad.
- Skladování při nízkých teplotách.

## 2.8 Ruční laminování

Technologie je používána při výrobě malých sérií, výrobě prototypů a velkoplošných dílců. Kvalita výsledného výrobku se odráží od zkušeností a kvalifikace pracovníka. Kladení výztuže se provádí ručně, prosycování je možné provádět ručně, případně strojně. Ve výrobku je potřeba zamezit tvorbě vzduchových bublin pomocí kovového rýhovaného válečku. Vytvrzení kompozitu se provádí při pokojové teplotě a atmosférickém tlaku. [4,11]





Obr. 15 Ruční laminace [22]

**Výhody:**

- Kvalita.
- Výroba složitých tvarů.
- Výroba velkorozměrných výrobků.
- Nízká pořizovací cena.

**Nevýhody:**

- Tvorba vzduchových dutin – oslabení výsledné kompozitní struktury.
- Pouze jedna pohledová plocha.

### 3 TECHNOLOGIE RUČNÍ LAMINACE

Ruční laminování je jedna z nejčastěji používaných technologií pro výrobu prototypů, velkoplošných dílů a malých sérií výrobků z kompozitních materiálů. Koncová kvalita výrobku závisí na odbornosti a zkušenostech pracovníka, jenž provádí výrobu. Při této technologii se nanáší pryskyřice a výztuž ručně na povrch pozitivní nebo negativní formy. U této metody závisí na povrchu, na který jsou komponenty nanášeny, a od něj se odráží kvalita vytvrzeného kompozitního dílce. Standardně má pouze jedna strana výrobku pohledový povrch. [4,6]

#### 3.1 Výrobní proces

Výrobní proces lze rozdělit na 3 části: výroba formy, kladení a prosycení tkaniny matricí a vytvrzení výrobku. [4]

Výroba formy je nejnáročnější část výroby. Při komplikovaných konstrukcích je rovněž technologicky náročná. Forma se vyrábí ze dřeva případně z polyesterové pryskyřice a skelné výztuže. [15]

Jako první je nanesena vrstva separátoru na povrch formy. Následně se nanáší gelcoat (až několik milimetrů ve více směrech). Dále dochází k položení jednotlivých vrstev kompozitního materiálu. Za pomoci štětce, případně válečku, se tato vrstva prosytí směsí pryskyřice (polyesterová, epoxidová) a tvrdidla, která je namíchána v určitém poměru – hmotnostním nebo objemovém. K zamezení vzniku vzduchových mezer se používá speciální kovový rýhovaný váleček. Tento proces se opakuje tak dlouho, dokud není položen požadovaný počet vrstev. Nanesený materiál prosycený pryskyřicí se vytvrzuje při pokojové teplotě a atmosférickém tlaku. Nakonec je výrobek odformován a dle potřeby dále opracován. [4,15]



Obr. 16 Výroby formy ruční laminací [26]

### 3.2 Charakteristické vlastnosti

#### Výhody:

- Jednoduchý proces.
- Levné a jednoduché formy.
- Výroba velkorozměrových výrobků.
- Vytvrzování při atmosférickém tlaku a pokojové teplotě – nejsou potřeba další speciální přístroje a prostory.
- Variabilita tvarů – při využití speciálních rohoží lze vyrábět složité tvary součástí.

#### Nevýhody:

- Nízká produktivita způsobena časovou náročností celého procesu.
- Znečištěné pracovní prostředí a nutnost kvalitních ochranných pomůcek.
- Vysoké náklady na manuální práci a zkušenosti pracovníků.
- Nízká pevnost výsledné struktury.
- Jedna pohledová plocha.
- Tvorba vzduchových dutin a dalších defektů. [6]

### 3.3 Ruční laminování s podporou vakua

Vylepšenou metodou ruční laminace je ruční laminování s podporou vakua. K vakuování dochází během poslední fáze laminování a to při fázi vytvrzování. Po prosycení tkaniny pryskyřicí se položí další vrstvy s pomocnými materiály, kterými jsou: separační fólie, odtrhová tkanina a odsávací rohož. Na uvedené materiály se položí vakuová fólie, která je po stranách utěsněna těsnicí páskou. K sestavě se připojí vývěva a následně se z formy odsaje přebytečný vzduch, čímž dojde k zavakuování materiálů.

#### Výhody:

- Kvalitnější výrobek.
- Omezení vzduchových bublin.

#### Nevýhody:

- Nutnost ručního zpracování.
- Dlouhý proces výroby. [4,6]

### 3.4 Využití technologie

Technologie se využívá nejčastěji pro výrobu krytů pro přístroje a různá zařízení. Může se využívat i v lodním průmyslu. V dnešní době se nejvíce využívá pro výrobu obkladů karosérií dopravních prostředků – autobusů, vlaků, automobilů. Ruční laminaci lze využít také v rozličných druzích průmyslů pro výrobu designových prvků. [15]

Pro kvalitnější výrobu lze použít ruční laminaci za podpory vakua. Tato metoda se používá pro výrobu součástí do závodních aut a ve vojenském a leteckém průmyslu. [15]



Obr. 17 Forma vyrobená ruční laminací [26]

## **4 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU**

Kompozitní materiály jsou proti materiálům kovovým výrazně lehčí a vyznačují se také lepšími mechanickými vlastnostmi. Proto se ve velkém množství používají právě v automobilovém průmyslu. [15]

### **4.1 Kompozity s kovovou maticí**

Kompozity s kovovou maticí mají vyšší výrobní cenu, která se neprojevuje ve vlastnostech, a proto se v tomto průmyslu příliš nevyžívají. Uplatňují se ve sportovních vozidlech, kvůli jejich tepelné vodivosti (motorové prostory, brzdové kotouče). Pro výrobu brzdových kotoučů se používá šedá litina, příměs hliníku, či uhlíkový kompozit s keramikou. [15]

### **4.2 Kompozity s polymerní maticí**

Pro výrobu osobních automobilů se nejčastěji využívají kompozitní materiály ze sklolaminátů a konkrétní matrice. Často se využívá výrobní postup SMC, který je využíván pro výklopné zadní části vozu, pro Off-road vozidla, které se využívají např. pro kryt zadního nákladového prostoru či například k výrobě předních kapot nebo krycích panelů dveří osobního automobilu. Lze jej použít i pro úpravu vozidel tzv. tuning. [15]

### **4.3 Části automobilu z kompozitních materiálů**

#### **4.3.1 Interiér automobilu**

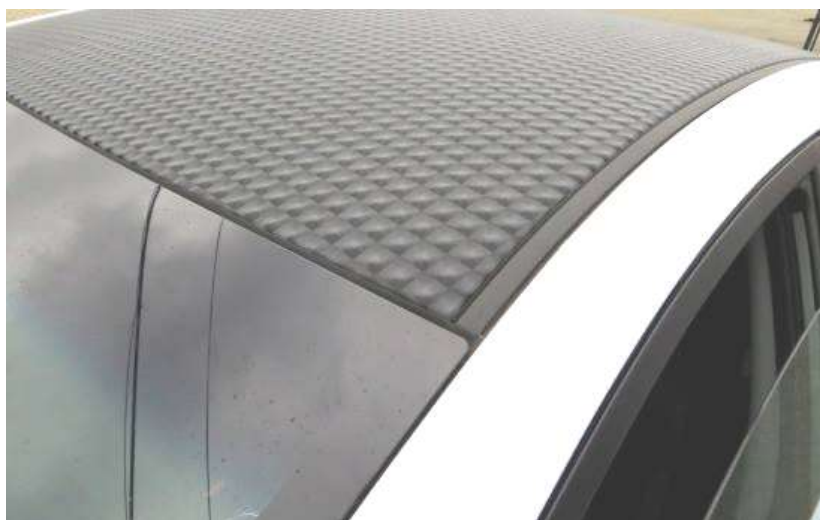
Interiér automobilu je převážně vyráběn z uhlíkových kompozitů. Kvůli jejich nízké hmotnosti a pohledovým vlastnostem se používají na stropy, dveře, palubní desky, podlahy a prahy. [16]



*Obr. 18 Interiér automobilu [27]*

#### **4.3.2 Střecha automobilu**

Pro výrobu střechy automobilu se využívá uhlíkový kompozit, který má nízkou hmotnost a je levný. Tento materiál se nalepí na tenký ocelový plech, který na střeše plní nosnou funkci. [17]



*Obr. 19 Střecha automobilu z uhlíkového kompozitu [28]*

#### **4.3.3 Pružiny**

Pružiny do automobilů se vyrábějí z oceli, jejich hmotnost je 2,7 kg. V dnešní době se vyvíjejí pružiny vyrobené z polymerní matrice, které jsou vyztužené skleněnými vlákny a mají tak nízkou hmotnost, cca 1,6 kg. Mezi jejich další přednosti patří také vysoká chemická odolnost. [18]



*Obr. 20 Tvrzené pružiny [29]*

#### 4.3.4 Nádrže na zemní plyn

Nádrže na skladování zemního plynu se vyrábějí ve válcovém tvaru z kompozitu nebo kovu. Nejpoužívanější jsou však kovové, jelikož jsou levnější než nádrže vyrobené z kompozitních materiálů. Kovové nádrže jsou velmi těžké, proto je jejich montáž do vozidel nevýhodná a je tedy vhodnější využít nádrže tvořené kompozitními materiály. [15]



*Obr. 21 Nádrž na zemní plyn [30]*

### 4.3.5 Kompozitní díly v závodním automobilu

Největší zastoupení kompozitních materiálů v závodních automobilech jsou u výroby nosné karoserie, která musí být vyztužena ochranným rámem z ocelových trubek pro vyšší bezpečnost. Karoserie se vyrábí z uhlíkových vláken. Kompozity se používají pro výrobu podvozku, kde jsou použity hliníkové, ocelové a uhlíkové materiály. Dále se využívají pro výrobu blatníků, zadního přítlačného křídla, zrcátek a kapotáže.

Pro výrobu dílců (středová konzole, volant, sedačka, výplň dveří) v interiéru závodního auta se používá kompozit na bázi uhlíku a kevlaru. [15]



*Obr. 22 Interiér závodního automobilu [31]*



## II. PRAKTICKÁ ČÁST

## 5 VÝBĚR SOUČÁSTI PRO AUTOMOTIVE

Vybranou součástí byl horní kryt motoru pro automobil Peugeot 207. Zvolený díl je poměrně tvarově náročný na výrobu, a proto byla zvolena technologie ruční laminace s podporou vakuové infuze.

Kryt je umístěn pod kapotou automobilu a slouží především jako pohledová ochrana části motoru, proto musí být kvalitně zpracován. I když musí splňovat ochrannou funkci, jeho hmotnost by měla být co nejnižší, aby zbytečně nenavyšoval váhu automobilu, případně nevyvolával výrazné vibrace ohrožující plynulý chod motoru či další části v motorovém prostoru. Měl by také odolávat zvýšeným teplotám od motoru.

Originální díl vyrobený z polymeru je složitě tvarován. V dílu se nachází otvor pro snadnější doplňování oleje do motoru. Vzhled krytu doplňuje originální znak značky Peugeot.



*Obr. 23 Originální díl*

## 6 VOLBA MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ

### 6.1 Materiály na výrobu formy

Požadavky na materiály, jež jsou využity při výrobě formy, byly zejména snadná manipulace a následné opracování do požadovaného tvaru.

#### 6.1.1 Montážní pěna

Tato montážní pěna (zn. Den Braven) byla zvolena kvůli vysoké přilnavosti k různým materiálům a díky snadnému opracování po zaschnutí. Velkou výhodou je její schopnost rychlého vytvrzování. Bohužel, není zvukově a tepelně dostatečně izolující, jako je např. nízkoexpanzní pěna (zn. Den Braven). Tato vlastnost však pro náš účel není podstatná a proto jsme zvolili montážní pěnu, která je cenově dostupnější.



Obr. 24 Montážní pěna

#### 6.1.2 Stavební sádra

Stavební sádra (zn. Kittfort, Sádra Gips) slouží k opravám nerovností a po zaschnutí je lehce brousitelná. Zpracovává se v tekutém stavu a je rychle tuhnoucí. Sádru lze nahradit karosářským tmelem (zn. Eurofiller, Tmel Soft), který se používá taktéž na vyrovnání nerovností, doporučuje se však pro kovové povrchy, tudíž se nehodí pro náš účel, navíc je dražší než sádra.



Obr. 25 Stavební sádra

### 6.1.3 Tvarovací plastelína

Tvarovací plastelína (zn. Pelikán, Nakiplast) je lehce zpracovatelná a vytváří na dílci kladný úkos, který slouží ke snadnému vyjmutí dílu z formy. Zabraňuje rovněž průtoku pryskyřice pod originální výrobek. Je možné ji využít také k menším opravám formy.



Obr. 26 Tvarovací plastelína

### 6.1.4 Separáčn i vosk

Separáčn i vosk (zn. Havel Composites, Oskar's M700/C – WAX) se používá ke snadnějšímu oddělení formy od originálního dílce. Vytváří odolnou, lesklou a tvrdou vrstvu na povrchu. Na rozdíl od separáčního vosku (zn. Havel Composites, TR 104) je cenově přijatelnější a má po nanesení rychlejší dobu zrán i, čímž snižuje do jisté míry celkovou dobu výroby. Materiálová charakteristika je uvedena v příloze PV.



Obr. 27 Separální vosk

### 6.1.5 Epoxidový gelcoat a tužidlo

Epoxidový gelcoat (zn. Havel Composites, 252 T) se používá jako povrchová vrstva formy. Dobře přilne na separální vosk – neočkuje – doba zpracovatelnosti po smíchání s tužidlem je 30 min. Je vhodný pro použití s epoxidovou pryskyřicí a na tvarované plochy. Nevytváří bubliny a utváří hladkou pohledovou vrstvu formy. Oproti polyesterovému gelcoatu (zn. Havel Composites, Vorgelat T35) je odolnější proti postupnému žluknutí a degradaci. Materiálová charakteristika je uvedena v příloze PIII.

Pro tento typ epoxidového gelcoatu je vhodné použít tužidlo (zn. Havel Composites, H – 252), které je odolné vůči zvýšené teplotě, což je potřeba brát v potaz při výrobě krytu motoru. Dále by bylo vhodné i tužidlo (zn. Havel Composites, F 250 /MGS/), které lze použít s epoxidovým gelcoatem a doba zpracování je 15 min. Nicméně neodolává zvýšeným teplotám. Materiálová charakteristika je uvedena v příloze PIV.



Obr. 28 Epoxidový gelcoat a tužidlo

### 6.1.6 Epoxidová pryskyřice a tužidlo

Epoxidová pryskyřice (zn. Havel Composites, LH 385) – nabízí dobré mechanické a chemické vlastnosti v kombinaci s epoxidovým gelcoatem. Velkou předností je čírost pryskyřice. Vhodná by byla i epoxidová pryskyřice (zn. Havel Composites, LH 145), která se používá především na autodíly, ale s tužidlem někdy reaguje hořlavě a dochází ke spálení materiálu. Materiálová charakteristika je uvedena v příloze PI.

Za použití epoxidového tužidla (zn. Havel Composites, H 535), které je vhodné na všechny typy laminace, je doba zpracovatelnosti 30 minut, což je velkou výhodou oproti epoxidovému tužidlu (zn. Havel Composites, H 533), které má dobu zpracovatelnosti pouze 15 minut. Materiálová charakteristika je uvedena v příloze PII.

Tab. 1 Vlastnosti použité pryskyřice a tužidla

Směs pryskyřice a tužidla	
Hmotnostní poměr	100:35
Doba zpracovatelnosti	30 minut
Teplotní odolnost výrobku	50 - 100°C
Hustota	1106 kg/m <sup>3</sup>

### 6.1.7 Skelná rohož

Skelná rohož (zn. Industryglass, 100g/m<sup>2</sup>) – emulzní skelná rohož je vhodná na gelcoatovou vrstvu - rychle se prosytí, což je výhoda u tvarově složitých výrobců. Čím nižší gramáž rohože je použita, tím je vhodnější pro výrobu složitých forem, kde rohož s vyšší gramáží nedokáže plně kopírovat povrch výrobku.



Obr. 29 Skelná rohož

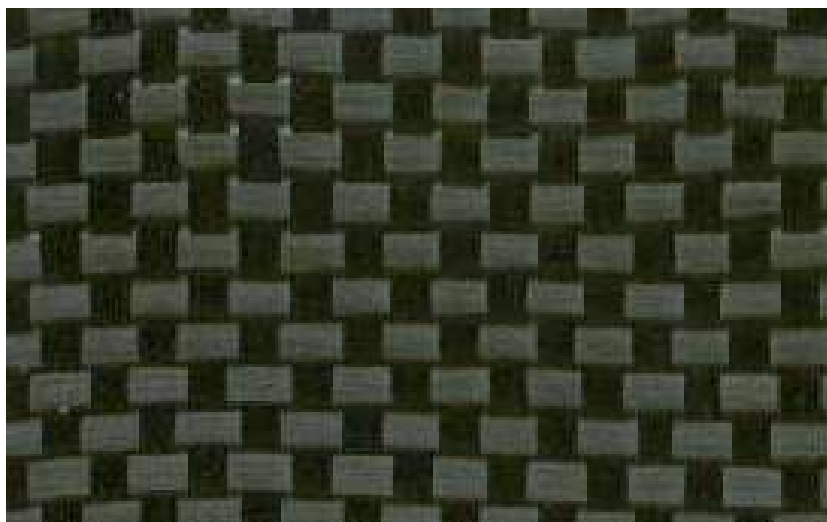
## 6.2 Materiály na výrobu součástí

Důležitým parametrem pro výběr vhodné uhlíkové tkaniny je gramáž. Tkaninu je potřeba vybírat tak, aby gramáž byla co nejnižší a dalo se s ní co nejlépe manipulovat. U uhlíkové tkaniny je použita keprová vazba, umožňující lepší práci při výrobě složitých tvarových součástí.

Další materiály, které byly použity, jsou separační vosk, pryskyřice a tužidlo stejného typu jako u výroby formy. Dále byl použit separátor PVA (zn. Havel Composites), který je nevhodnějším separátorem pro snadnější oddělení výrobku od formy. PVA separátor je vhodné použít v kombinaci se separačním voskem, který je kladen jako první.

### 6.2.1 Uhlíková tkanina

Použitím tohoto materiálu lze vytvořit pevný a lehký konstrukční prvek. Odolávají zvýšeným teplotám. Svou pevností jsou lepší než kompozitní materiály a kovy. Nejčastěji se používají při výrobě letadel a automobilů. Při výrobě krytu na motor byla využita uhlíková tkanina s gramáží  $280\text{g/m}^2$ ,  $245\text{g/m}^2$  a  $200\text{g/m}^2$ . Materiálová charakteristika je uvedena v příloze PVI.



*Obr. 30 Uhlíková tkanina*

## 6.3 Pomocné materiály

### 6.3.1 Separáční fólie

Používá se pro oddělení vyráběného výrobku od technologických materiálů. Děrovaná separáční fólie je kladena přímo na výztužné tkaniny výrobku. Při použití fólie je dosaženo nerovného povrchu. Tento materiál je vyroben z polypropylenu a odolává teplotám 160°C.



*Obr. 31 Separáční fólie*

### 6.3.2 Odtrhová tkanina

Tkanina je vyrobena ze syntetických vláken a pokládá se spolu se separáční fólií jako první na výztuže výrobku. Je vyráběna např. z nylonu. Používá se k oddělení ostatních pomocných materiálů. Při odformování vytváří drsný povrch, který je pozitivní pro další postup výroby.



*Obr. 32 Odtrhová tkanina*



### 6.3.3 Odsávací rohož

Rohož v uzavřeném prostoru zabezpečuje odsávání vzduchu a vstřebává přebytečnou matrici.



*Obr. 33 Odsávací rohož*

### 6.3.4 Vakuová fólie

Vzduchotěsná fólie se používá k rovnoměrnému rozložení tlaku po celém povrchu materiálu. Fólie je průhledná, flexibilní a odolná proti protržení. Vyrábí se z polyamidu, nylonu, či polyetylenu. Fólie musí být až o 40% větší než samotný výrobek a dosahuje tloušťky 0,08mm. Fólie je schopna se protáhnout o 1000% a je samoseparační. Odolává teplotám do 145°C.



*Obr. 34 Vakuová fólie*

### 6.3.5 Těsnicí páska

Oboustranná butylkaučuková páska, která vytváří spojení formy a vakuové fólie. Utváří vzduchotěsný spoj. Druh pásky se volí dle používané teploty. Využívá se k zaplnění prostoru mezi konektorem a přívodní hadicí.



*Obr. 35 Těsnicí páska*

### 6.3.6 Lepicí sprej

Lepicí sprej (zn. Havel Composites, Infutac) se používá pro přidržení jednotlivých vrstev na formu, nejčastěji u metody RTM nebo u vakuové infuze.



*Obr. 36 Lepicí sprej*

### 6.3.7 Ostatní pomocné materiály

Pomocí hadice se odsává vzduch z formy a vzniká tak vakuum. Nejčastěji se vyrábí z polyetylenu a polyvinylchloridu. Ke spojení hadice a formy se používá konektor, který se vyrábí z polyetylenu. Plynové čerpadlo neboli vývěva, se používá k odčerpání vzduchu z formy a utváří vakuum. Pro vytvoření vakuové infuze je důležité dosáhnout podtlak až 1 bar. Dalším pomocným materiálem je přepadová nádoba, tzv. rezervoár.



A)



B)



C)



D)

Obr. 37 A)Rozvodná hadice, B)Rozvodný konektor, C)Vakuová vývěva, D)Rezervoár

## 7 VÝROBA PROTOTYPOVÉ SOUČÁSTI

### 7.1 Příprava k výrobě formy

Výroba formy probíhala na reálně používaném krytu motoru, na který se jako první nanasla montážní pěna. Pěna byla nanasena po okraji celého krytu a utvořil se základní rám na výrobu formy. Po zaschnutí byla pěna ořezána zalamovacím nožem tak, aby vynikly a byly kopírovány hrany krytu.



*Obr. 38 Montážní pěna po ořezání*

Pro vyrovnání povrchu pěny byla zvolena stavební sádra, která vyplnila propadliny v pěně (Obr. 38). Další funkcí sádry byla ochranná (chrání montážní pěnu proti možnému rozleptání od pryskyřice). Sádra byla na výrobek nanasena v jedné vrstvě pomocí nerezové špachtle.



*Obr. 39 Vyrovnání povrchu stavební sádrou*

Na sádro byla přilepena hliníková páska, která vytvořila hladký povrch, ten je možno dále bez problému naseparovat. Po celé hraně krytu byla nanесena tvarovací plastelína pod určitým úkosem (Obr. 39), aby zabránila průniku pryskyřice pod dílec a umožnila lepší vyjmutí dílu z formy.



*Obr. 40 Použití tvarovací plastelíny*

Před nanesením separačního vosku byl dílec odmaštěn a důkladně zbaven nečistot. Vosk byl nanesen pro lepší oddělení formy od originálního dílu. Nanášení probíhalo pomocí černé kůže - celkem byly nanесeny tři vrstvy. Každá vrstva se musela nechat postupně zaschnout a následně vyleštit. Tímto způsobem se na připraveném krytu motoru vytvořil separační film.



*Obr. 41 Nanesení separačního vosku*

## 7.2 Výroba formy

Samotná výroba formy byla provedena pouze ruční laminací. Na začátku byla nanесena gelcoatová vrstva. Gelcoat je smíchaný s tužidlem v hmotnostním poměru 100:35 a vytváří na formě povrchovou vrstvu. Nanášelo se pomocí štětce ve vodorovném i svislém směru. Doporučená tloušťka vrstvy, dle technického listu, je 0,2 – 0,5 mm. Poté se nechá cca 30 minut zaschnout. Zda je povrch dostatečně zaschlý zjistíme rychlou zkouškou prstem - po dotyku prstu se na vrstvě musí ukázat otisk.



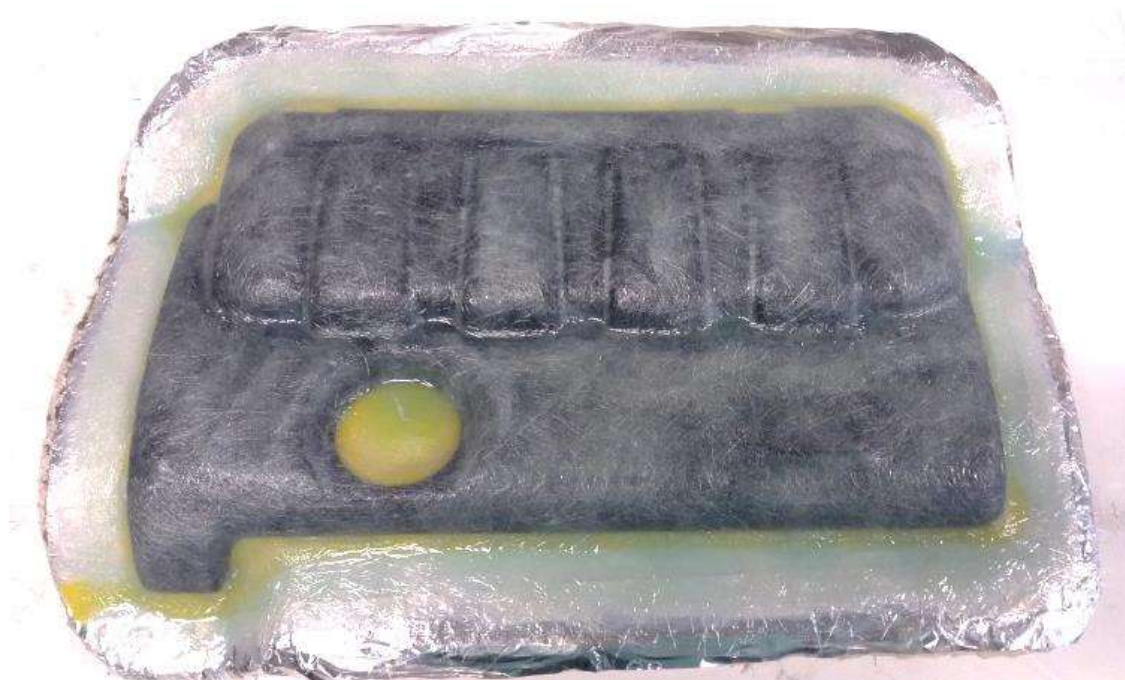
*Obr. 42 Díl potřený gelcoatem*

Pro další postup bylo potřeba nachystat směs pryskyřice a tužidla v hmotnostním poměru 100:35. Dále skelnou rohož, kterou bylo nutné nastříhat na pásy o délce 125 cm a šířce 10 cm, následně byly pásy roztrhány na malé kousky. Skelná rohož byla zvolena kvůli tvarové obtížnosti výrobku – ostré hrany a prohlubně.



*Obr. 43 Roztrhaná skelná rohož*

Pomocí štětce byla nanesena směs pryskyřice na gelcoatovou vrstvu a následně pokládány kousky skelné rohože, které se prosytily pryskyřicí. Tímto postupem bylo vytvořeno 6 vrstev. Vždy po nanesení dvou vrstev se čekalo 24 hodin, než se nanesly vrstvy další z důvodu řádného proschnutí a kvůli dostatečné tuhosti a zamezení vzniku vzduchových bublin. Kladení většího počtu vrstev rovněž může způsobit samovolné odformování součásti.



*Obr. 44 Průběh laminace formy*

V konečné fázi výroby formy došlo k odformování a očištění přichystané formy, u které se musel následně ořezat část okraje za pomoci modelářské úhlové brusky, ve které byl upevněn řezný kotouč. Z důvodu bezpečnosti bylo zapotřebí, mimoběžné ochranné pomůcky při práci s uhlíkovým materiálem, odsát vzniklý prach a tím ochránit zrak a dýchací ústrojí. Po ořezání byly obroušeny ostré hrany formy. Pro obroušení byl zvolen brusný papír zrnitosti 80 a 120, poté byla forma připravena k dalšímu použití.



*Obr. 45 Hotová forma*



### 7.3 Výroba výrobku

Pro výrobu dílce byla zvolena ruční laminace s podporou vakuové infuze. Nejprve byly nanесeny na formu jednotlivě tři vrstvy separačního vosku. Následně byla vystřižena uhlíková tkanina tak, aby byla o něco větší než samotná forma, kvůli důkladnému obepnutí tvaru výrobku. Uhlíková tkanina, s gramáží  $280\text{g/m}^2$ , byla položena na naseparovanou formu a prosycena pomocí štětce pryskyřicí smíchanou s tužidlem v hmotnostním poměru 100:35. Po celkovém prosycení byly postupně naskládány vystřižené pomocné materiály, které jsou potřebné k výrobě. Nejprve byla položena separační fólie, poté odtrhová tkanina a odsávací rohož. Na tyto materiály byla položena vakuová fólie, pod kterou byla zavedena odsávací hadice, jež byla spolu s vakuovou fólií utěsněna těsnicí páskou. Následně byl vysát vzduch z formy a poté bylo potřebné nechat výrobek 24 hodin zatvrdnout. Po zatvrdnutí byl výrobek odformován a zkontrolován.



*Obr. 46 Výroba za pomoci vakuové infuze*

### 7.4 Optimalizace výroby

Po kontrole bylo zjištěno, že tento způsob výroby nebyl vhodný pro daný výrobek, jelikož se na výrobku vyskytuje velké množství nedotvarovaných hran. To zapříčinilo, že nedošlo k úplnému protečení pryskyřice do všech spár na výrobku, a také k prosycení pryskyřice v určitých místech.



*Obr. 47 Vzniklé vady po odformování – 1. Způsob*

Kvůli nevydařenému výsledku byl zvolen jiný technologický postup výroby. Ten se od prvního lišil volbou uhlíkové tkaniny s nižší gramáží, a to  $245\text{g/m}^2$ . Dále se lišil způsobem položení odsávací rohože. Na rozdíl od prvního způsobu, kde byla rohož pokládána v kuse, se při druhém způsobu nastříhala, aby kopírovala tvar výrobku. Pryskyřice i tužidlo zůstaly stejné.

Bohužel, ani tento způsob nebyl pro náš dílec vhodný. Po odformování dílec vypadal lépe, ale pryskyřice v kombinaci s tkaninou opět nevytvořila dostatečně přijatelné hrany výrobku. Ukázalo se, že použití uhlíkových vláken s nižší gramáží dopomohlo ke kvalitnějšímu povrchu výrobku.



*Obr. 48 Vzniklé vady po odformování – 2. způsob*

Proto byla zvolena třetí optimalizace výroby, která se od předešlého typu opět lišila. Byla zvolena uhlíková tkanina s gramáží 200g/m<sup>2</sup>. Další pomocné materiály nebyly použity, pouze byla nanášena pryskyřice a tužidlo stejného typu a hmotnostního poměru jako v předcházejících postupech. Následně byla položena vakuová fólie a dílec byl zavakuován.

Po odformování bylo zjištěno, že tato uhlíková tkanina přispěla k lepší kvalitě výrobku.



*Obr. 49 Vzniklé vady po odformování – 3. způsob*

Po vyhodnocení bylo zjištěno, že ani třetí způsob není vhodný a proto byl zvolen další typ výroby. Uhlíková tkanina byla zvolena stejná jako u třetího způsobu. Na formu však byla kladena pod jiným úhlem, což umožnilo lepší pokrytí složitých tvarů vyráběné součásti. Pod tkaninou byla přidána lepicí vrstva, která ji uchytila k formě. Následně byly vrstvy prosyceny pryskyřicí s tužidlem ve stejném hmotnostním poměru jako v předcházejících postupech. Poté byla položena vakuová fólie a dílec byl zavakuován.



*Obr. 50 Výsledný díl – 4. způsob*

Po vytvrzení byl výsledný dílec odformován. Díky uložení uhlíkové tkaniny pod jiným úhlem a podlepení tkaniny lepicí vrstvou bylo docíleno kvalitního výsledku. Tato kombinace umožnila důkladnější prosycení pryskyřic, ta byla dotečena ve všech hranách a prosycena po celém povrchu.

U prvního typu výroby výrobku byla zvolena uhlíková tkanina s nejvyšší gramáží,  $280\text{g/m}^2$ . To se prokázalo jako nevhodné, proto byla gramáž uhlíkové tkaniny postupně snižována. U výsledného dílce byla použita uhlíková tkanina s gramáží  $200\text{g/m}^2$ , díky které se dotvarovali všechny hrany na výrobku. U prvního dílce byla odsávací rohož položena v kuse, ale dostatečně nekopírovala tvar výrobku, proto v další fázi výroby byla nastříhána. Ani tato varianta nebyla vhodná, proto se odsávací rohož využila pouze v minimálním množství. V tomto případě bylo nutné dbát na vhodný poměr prosycení, jenž byl určen na základě zkušeností s jednotlivými materiály. Nejvhodnější metodou plynoucí z optimalizace procesu je tedy využití tkaniny s co možná nejmenší gramáží a keprovou vazbou spolu s minimálním použitím pomocných materiálů, které by zapříčiňovaly nedokonalé kopírování povrchu formy.

Dílec byl vyroben ruční laminací s podporou vakuové infuze. Jednou z dalších možností technologie výroby je technologie využívající vakuovou infuzi. Při této metodě je pryskyřice rozváděna do dutiny formy s pomocí vakua, což vytváří kvalitnější výrobek, kdežto při ruční laminaci s podporou vakua je pryskyřice nanášena ručně pomocí štětce. Vakuová

infuze je náročnější na kvalifikovanost pracovníků. S pomocí této technologie však mohou být vytvořeny součásti s rovnoměrným objemovým zastoupením pryskyřice ve struktuře materiálu a nespornou výhodou je také do jisté míry kvalitnější pohledová plocha součásti, jenž nevyžaduje tolik dokončovacích operací jako technologie ruční laminace.

## 7.5 Dokončující operace

Následné dokončení dílu zahrnovalo ořezání výrobku po obvodu, které bylo prováděno pomocí mikrobrusky. Poté bylo potřeba dílec obrousit. Broušení probíhalo pod vodou a byly použity brusné papíry různé zrnitosti (200,400,1000,2000). Po obroušení byl dílec zbaven nečistot a připraven na lakování, které probíhalo v odsávací komoře ve školních laboratořích. Na dílec byly nanесeny 4 vrstvy čirého laku pomocí spreje.



*Obr. 51 Nalakovaný výsledný díl*

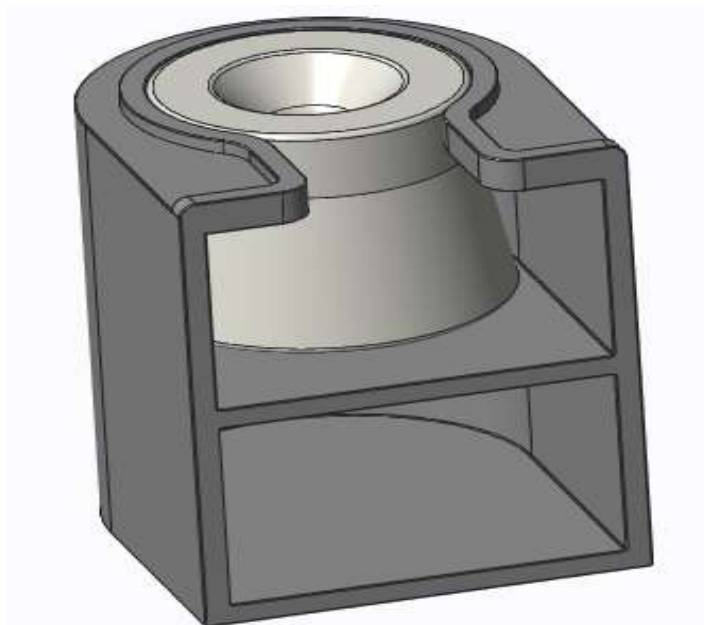
Pokud se výsledný povrch součásti lakuje na požadovaný barevný odstín, je dostačující použít skelnou tkaninu, která je finančně výhodnější než uhlíková tkanina.



*Obr. 52 Detail uhlíkové tkaniny na finálním výrobku*

Na ochranu výrobku proti zvýšené teplotě od motoru, lze použít na spodní část hliníkovou fólii. Další variantou je použití jiné pryskyřice a tužidla, které odolávají zvýšené teplotě. Ta je ovšem finančně náročnější než pryskyřice a tužidlo, které byly použity na výrobu.

Návrh pro uchycení krytu k motoru byl vymodelován v programu Catia. Pro vhodné uchycení krytu je potřeba použít 4 kusy, které by byly vyrobeny z polymeru a upevněny pomocí lepidla na spodní část krytu.



*Obr. 53 Navržená úchytka*

## 7.6 Cenová kalkulace

Cenová kalkulace je napočítána pro nejhodněji vyrobený dílec, který byl vyroben čtvrtou metodou. Ceny byly brány od dodavatelů a byly napočítány na spotřebu materiálu pro výrobu jednoho kusu dílce, nikoli za celý zkoumaný technologický proces.

Tab. 2 Cenová kalkulace výrobku

	Materiál	Cena [Kč]
Forma	Montážní pěna	116
	Stavební sádra	15
	Hliníková páska	129
	Tvarovací plastelína	100
	Separáční vosk	50
	Epoxidový gelcoat	150
	Tužidlo do gelcoatu	120
	Epoxidová pryskyřice	250
	Tužidlo do pryskyřice	300
	Skelná rohož	180
Výrobek	Separáční vosk	50
	Separátor PVA	18
	Epoxidová pryskyřice	220
	Tužidlo do pryskyřice	300
	Vakuová fólie	180
	Těsnicí páska	140
	Lepicí sprej	80
	Uhlíková tkanina	850
	Lak	180
Pomocné materiály		90
<b>Celkem za výrobek</b>		<b>3518</b>

Výsledná cena 1 ks výrobku za použitý materiál je 3.518 Kč. Cena nezahrnuje ruční práci, která byla pro výrobek nezbytně nutná. Na výrobě formy se pracovalo tři dny a jeden den na výrobě výrobku. V čase nejsou zahrnuty prostoje při vytvrzování materiálů a dokončení výrobku.

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo popsat výrobu formy a samotného dílu krytu motoru na automobil Peugeot 207. Výroba formy byla provedena pomocí ruční laminace a výroba samotného dílu byla provedena pomocí ruční laminace s podporou vakuové infuze.

Nejprve byla rozebrána vhodná materiálová struktura na výrobu formy. Po vyhodnocení byla zvolena vhodná epoxidová pryskyřice s tužidlem a skelná rohož. Forma byla vyráběna podle originálního krytu z automobilu. Pro lepší oddělení formy od originálního dílu byl použit separační vosk. Následně došlo k oddělení formy od dílce. Forma byla kvalitně vyrobena a tak nebylo potřeba dalších úprav. Výroba byla náročná na čas, jelikož se celá prováděla ručně.

V další části byla provedena výroba nového krytu na motor s využitím vyrobené formy. Pro výrobu krytu byla zvolena technologie ruční laminace s podporou vakuové infuze. Po vyhodnocení materiálů na přípravu byla zvolena epoxidová pryskyřice s tužidlem a uhlíková tkanina. Dílec byl vyráběn čtyřikrát, aby byl zvolen nejvhodnější postup. Jako první byl dílec vyráběn za pomoci pomocných materiálů a uhlíkovou tkaninou o vysoké gramáži. Při druhém typu výroby byl zvolen jiný způsob položení odsávací rohože a uhlíková tkanina s nižší gramáží. Poté se dílec vyráběl bez pomocných materiálů a uhlíková tkanina byla opět zvolena s nižší gramáží a uložena v kolmém směru na sebe. Nejvhodnějším způsobem výroby byla čtvrtá metoda. Při něm byla použita stejná uhlíková tkanina jako u třetího způsobu, ale byla položena pod jiným úhlem, pootočena o 45° a podlepena lepicím sprej a následně byla proscycena pryskyřicí.

Nevhodnějším výrobkem byl dílec vyráběný čtvrtou metodou, která byla ještě dále optimalizována tak, že by bylo vhodné použít uhlíkovou tkaninu s nižší gramáží než 200g/m<sup>2</sup>, díky které jsou hrany výrobku kvalitnější. Možné by bylo vhodné použít i jinou pryskyřici.

Dílec musel být ořezán po obvodu a dokončen, jelikož po odformování vznikly pohledové vady, které byly potřeba před lakováním odstranit. Odstraňování probíhalo broušením pod vodou různou zrnitostí brusného papíru a následným nalakováním. Na kryt byl přilepen znak Peugeot a byl umístěn na motor v automobilu.





*Obr. 54 Kryt motoru umístěný na automobilu Peugeot 207*

Veškerá výroba byla prováděna ve školních laboratořích, které jsou vybaveny na vysoké úrovni.

Přínosem bakalářské práce je získání informací o kompozitních materiálech a práce s nimi, které jsou v dnešní době čím dál více používány a nahrazují běžné materiály.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] JANČÁR, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. 1. vyd. Brno: VUT, 2013, 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
- [2] DAŘOUREK, Karel. *Kompozitní materiály - druhy a jejich využití*, 1. vyd. Technická univerzita v Liberci, 2007, 7 s. ISBN 978-80-7372-279-1.
- [3] DAŘOUREK, Karel. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Kompozitní materiály: Definice a složení*. Liberec, 2008. Dostupné z: [http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_magistri/KM/Kompozity%20Dad/02defrozd.pdf](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KM/Kompozity%20Dad/02defrozd.pdf)
- [4] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [5] D. AGARWAL, Bhagwan. Lawrence J. BROUTMAN, Lubomír SODOMKA, Richard BAREŠ, Jan JAVORNICKÝ a Jaroslava ZEMÁNKOVÁ. *Vláknové kompozity*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1987, 66 s.
- [6] GURIT HOLDING AG. *Guide to Composites*. 2004. Dostupné z: [http://www.gurit.com/files/documents/Gurit\\_Guide\\_to\\_Composites.pdf](http://www.gurit.com/files/documents/Gurit_Guide_to_Composites.pdf).
- [7] HULL, D., CLYNE, T. W. *An introduction to composite materials*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. ISBN 0-521-38855-4.
- [8] KOŘÍNEK, Zdeněk.: *Volny.cz. Kompozity* [online]. 2013 [cit. 2016-11-02]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/zkorinek/>
- [9] ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ. *Kompozitní materiály*. 2012. Dostupné z: [http://umi.fs.cvut.cz/files/6\\_kompozitni-materialy.pdf](http://umi.fs.cvut.cz/files/6_kompozitni-materialy.pdf)
- [10] MIKULA, Martin. *Kompozitní materiály na bázi uhlíkových vláken*. Brno, 2012. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=54627](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54627). BP. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Karel NĚMEC, PhD.
- [11] *Technologie a jejich druhy* [online]. 2005 [cit. 2016-11-02]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-%20Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>
- [12] KRATOCHVÍL Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. *Úvod do studia materiálů*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2005, 190 s. ISBN 80-708-0568-4.
- [13] *Form Composite. RTM* [online]. 2014 [cit. 2016-11-17] Dostupné z: <http://www.form-composite.com/rtm-technologie>

- [14] KOŘÍNEK, Zdeněk.: Volny.cz. *Kompozity* [online]. 2013 [cit. 2016-11-17]. Dostupné z: <http://www.mujweb.cz/zkorinek/technologie.pdf>
- [15] BAČOVSKÝ, Marek. Použití kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu [online]. Brno, 2012 [cit. 2016-11-17]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=52257](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52257). Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Pavel Ramík.
- [16] *Uhlíková vlákna*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-17]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/predstaveni/mclaren-p1-odhalil-svuj-interier-pripravte-se-na-karbonove-orgie/>
- [17] *Střecha z uhlíkových vláken*. [online]. 2013 [cit. 2016-11-17]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/volkswagen-pripravuje-karbonovou-strechu-ostre-golfy-74492>
- [18] *Nabídka Wallmo.cz*. [online]. 2013 [cit. 2017-1-21]. Dostupné z: <http://www.wallmocz.cz/?page=nabidka>
- [19] *Uhlíko-aramidové vlákno*. [online]. 2007 [cit. 2017-1-20]. Dostupné z: <https://www.puhy.cz/uhliko-aramidove-vlakno-toolcraft-190-210-g-m2-0-5-m2-102506.html>
- [20] *Originální alu disky*. [online]. 2008 [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: <http://alukolabazar.cz/>
- [21] *Využití ve stavebnictví-Dumsnu*. [online]. 2014 [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: <http://www.dumsnu.eu/clanky/konopi-a-jeho-vyuziti-ve-stavebnictvi.html>
- [22] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Kompozity\_FORM-technology*. Zlín, 2011.
- [23] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Kompozity\_RTM*. Zlín, 2011.
- [24] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *SMC\_prezentace\_mezolit*. Zlín, 2011.
- [25] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Kompozity\_FORM-Prepregy*. Zlín, 2011.
- [26] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Kompozity\_FORM-Handlayup*. Zlín, 2011.
- [27] *Carbon fiber interior*. [online]. 2015 [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: <http://f80.bimmerpost.com/forums/showthread.php?t=1160555>
- [28] *Carbon fólie*. [online]. 2010 [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://www.carbonfolie.cz/4D-FOLIE/>
- [29] *Autorevue*. [online]. 2014 [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/audi-zacne-davat-do-aut-pruziny-z-plastu>

[30] *Nalezeno\_Chytrá řešení pro každého.* [online]. 2015 [cit. 2016-12-23]. Dostupné z: <http://nazeleno.cz/technologie-1/lpg-a-cng/cng-kolik-stoji-prestavba-vozu-vyplati-se.aspx>

[31] *Cars Review.* [online]. 2009 [cit. 2017-1-15]. Dostupné z:

[http://cars-----review.blogspot.cz/2009\\_11\\_01\\_archive.html](http://cars-----review.blogspot.cz/2009_11_01_archive.html)

[32] *Czech lamborghini.* [online]. 2017 [cit. 2017-1-18]. Dostupné z:

<http://www.czechlamborghini.cz/2011/02/karbonovy-monok-lp700-4/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

°C	stupně celsia
%	procenta
AF	Aramid Fiber (aramidová vlákna)
cca	cirka
CF	Carbon Fiber (uhlíková vlákna)
EP-R	Vyztužené nasycené epoxidové pryskyřice
GF	Glass Fiber (skelná vlákna)
kg	kilogram
cm	centimetr
mm	milimetr
např.	například
obr.	obrázek
RTM	Resin Transfer Moulding (vysokotlaká infuze)
SMC	Sheet Moulding Compoud (lisovací technologie)
tzv.	takzvaný
UP	polyesterové pryskyřice
UR-R	vyztužené nenasyčené polyesterové pryskyřice
VE	polyesterová pryskyřice
VFI	Vacuum Foil Infusion (vakuová infuze)

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1 Využití kompozitních materiálů [32]</i> .....	12
<i>Obr. 2 Rozdělení vláknových kompozitů</i> .....	13
<i>Obr. 3 Rozdělení částicových kompozitů</i> .....	13
<i>Obr. 4 Skelné vlákno ve formě rohože [18]</i> .....	16
<i>Obr. 5 Aramidové vlákno – kevlar [19]</i> .....	16
<i>Obr. 6 Uhlíkové vlákno [20]</i> .....	17
<i>Obr. 7 Přírodní vlákno – konopí [21]</i> .....	17
<i>Obr. 8 Technologie stříkání [22]</i> .....	18
<i>Obr. 9 Vakuová infuze [22]</i> .....	19
<i>Obr. 10 Vysokotlaké vstřikování [23]</i> .....	20
<i>Obr. 11 Pultruze [22]</i> .....	21
<i>Obr. 12 Lisovací technologie [24]</i> .....	22
<i>Obr. 13 Navíjení [22]</i> .....	23
<i>Obr. 14 Vakuové lisování prepregů [25]</i> .....	24
<i>Obr. 15 Ruční laminace [22]</i> .....	25
<i>Obr. 16 Výroby formy ruční laminací [26]</i> .....	27
<i>Obr. 17 Forma vyrobená ruční laminací [26]</i> .....	28
<i>Obr. 18 Interiér automobilu [27]</i> .....	30
<i>Obr. 19 Střecha automobilu z uhlíkového kompozitu [28]</i> .....	30
<i>Obr. 20 Tvrzené pružiny [29]</i> .....	31
<i>Obr. 21 Nádrž na zemní plyn [30]</i> .....	31
<i>Obr. 22 Interiér závodního automobilu [31]</i> .....	32
<i>Obr. 23 Originální díl</i> .....	34
<i>Obr. 24 Montážní pěna</i> .....	35
<i>Obr. 25 Stavební sádra</i> .....	36
<i>Obr. 26 Tvarovací plastelína</i> .....	36
<i>Obr. 27 Separální vosk</i> .....	37
<i>Obr. 28 Epoxidový gelcoat a tužidlo</i> .....	37
<i>Obr. 29 Skelná rohož</i> .....	38
<i>Obr. 30 Uhlíková tkanina</i> .....	39
<i>Obr. 31 Separální fólie</i> .....	40
<i>Obr. 32 Odtřhová tkanina</i> .....	40

<i>Obr. 33 Odsávací rohož</i> .....	41
<i>Obr. 34 Vakuová fólie</i> .....	41
<i>Obr. 35 Těsnicí páska</i> .....	42
<i>Obr. 36 Lepicí sprej</i> .....	42
<i>Obr. 37 A)Rozvodná hadice, B)Rozvodný konektor, C)Vakuová vývěva, D)Rezervoár</i> .....	43
<i>Obr. 38 Montážní pěna po ořezání</i> .....	44
<i>Obr. 39 Vyrovnání povrchu stavební sádkou</i> .....	45
<i>Obr. 40 Použití tvarovací plastelíny</i> .....	45
<i>Obr. 41 Nanesení separačního vosku</i> .....	46
<i>Obr. 42 Díl potřený gelcoatem</i> .....	47
<i>Obr. 43 Roztrhaná skelná rohož</i> .....	47
<i>Obr. 44 Průběh laminace formy</i> .....	48
<i>Obr. 45 Hotová forma</i> .....	48
<i>Obr. 46 Výroba za pomoci vakuové infuze</i> .....	49
<i>Obr. 47 Vzniklé vady po odformování – 1. způsob</i> .....	50
<i>Obr. 48 Vzniklé vady po odformování – 2. způsob</i> .....	50
<i>Obr. 49 Vzniklé vady po odformování – 3. způsob</i> .....	51
<i>Obr. 50 Výsledný díl – 4. způsob</i> .....	52
<i>Obr. 51 Nalakovaný výsledný díl</i> .....	53
<i>Obr. 52 Detail uhlíkové tkaniny na finálním výrobku</i> .....	54
<i>Obr. 53 Navržená úchytka</i> .....	54
<i>Obr. 54 Kryt motoru umístěný na automobilu Peugeot 207</i> .....	57

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Vlastnosti použité pryskyřice a tužidla .....</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 2 Cenová kalkulace výrobku .....</i>	<i>55</i>



## SEZNAM PŘÍLOH

V bakalářské práci se vyskytují technické listy jako přílohy. Jsou to technické listy pryskyřice, tužidel, gelcoatu, separačního vosku a uhlíkové tkaniny, které byly použity při výrobě formy a výrobku. Tyto listy sloužily při vypracování bakalářské práce a jsou přiložené na CD-ROM.

PŘÍLOHA PI	Technický list epoxidové pryskyřice LH 385
PŘÍLOHA PII	Technický list tužidla do pryskyřice H535
PŘÍLOHA PIII	Technický list epoxidového gelcoatu 252 T
PŘÍLOHA PIV	Technický list tužidla do gelcoatu H 252
PŘÍLOHA PV	Technický list separačního vosku Oskar's M-700
PŘÍLOHA PVI	Technický list uhlíkové tkaniny s gramáží 200g/m <sup>2</sup>