

# Prototyp kompozitního podmotorového klínu pro motocykl

Bc. Lukáš Mañas

---

Diplomová práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Maňas**

Osobní číslo: **T13528**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Prototyp kompozitního podmotorového klínu pro motocykl**

Zásady pro vypracování:

1. a. Teoretická část
2. Literární rešerše v oblasti kompozitních materiálů
3. Kompozitní materiály v motocyklovém průmyslu
4. b. Experimentální část
5. Návrh modelu pro danou součást
6. Výroba prototypového modelu a návrh výrobní formy
7. Možnosti materiálového složení pro daný díl
8. Experimentální testování dle doporučených norem
9. Vyhodnocení a zpracování naměřených výsledků, výběr nejoptimálnějšího materiálového složení
10. Závěr diplomové práce

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Ehrenstein, Gottfried W.: . Polymerní kompozitní materiály. Scientia, 2009.
2. Chawla, K. K. Composite Materials, Science and Engineering. Springer Verlag, New York, 1987.
3. Barbero, E. J. Introduction to Composite Materials Design. London: Taylor & Francis, 1999.
4. Havalda, A. Kompozitné materiály. Bratislava: SVŠT v Bratislave, 1989.
5. Bareš, R. A. Kompozitní materiály. Praha, SNTL, 1988.
6. Pancl, J. a kol. Kompozitní materiály. Praha, Conmat, 1992.
7. Táborský, L., Šebo, P. Konštrukčné materiály se spevnenými vláknami, . Bratislava, Alfa, 1982.
8. Geier, M.H. Quality Handbook for Composite Material. ASM International, 1999.
9. Černý, M. Vláknové kompozity. Praha, Čvut, 2001.
10. Kolařík, J. Vysokomodulová polymerní vlákna a vláknové kompozity. ACADEMIA, Praha, 1984.

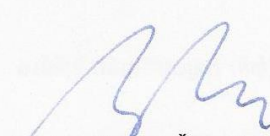
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

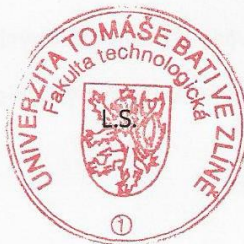
Datum zadání diplomové práce: **30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2015**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015

  
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 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 22. 04. 2015



<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 vzdělávacího 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). Odpirá-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**

Diplomová práce se zabývá konstrukcí prototypu kompozitního podmotorového klínu. Teoretická část diplomové práce podává základní informace o technologiích a materiálech využívaných při konstrukci kompozitních dílů a také o možnostech využití kompozitních materiálů v motocyklovém průmyslu. Praktická část diplomové práce popisuje celý proces návrhu součásti a výrobní formy. Závěr práce je věnován zhodnocení výsledku a přínosu práce.

Klíčová slova: Kompozitní materiál, karbon, prepreg, forma, podmotorový klín.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis describes the construction of a prototype composite chin spoiler. The theoretical part provides basic information about technologies and materials used in the construction of composite parts and also about the use of composite materials in the motorcycle industry. The practical part of the diploma thesis describes the whole process of design components and manufacturing molds. The conclusion is devoted to the evaluation results and benefits of the work.

Keywords: Composite material, carbon, prepreg, mold, chin spoiler.

Rád bych touto cestou poděkoval všem, kteří mi poskytli cenné rady a především svůj čas při řešení diplomové práce.

Zvláštní poděkování patří paní doc. Ing. Soni Rusnákové, Ph.D. za vedení, poskytnuté materiály a také za možnost volby vlastního tématu, které se zájmem podpořila.

Dále bych rád poděkoval Ústavu výrobního inženýrství a všem jeho členům za poskytnuté prostory a asistenci při zkouškách materiálů.

Za pomoc s výrobou formy bych rád poděkoval panu Kovářovi, který formu svařoval a také panu Žáčkovi, který vytvořil tvar formy dle mnou vytvořené předlohy. Díky patří také firmě MRB Sazovice s.r.o. a jejím pracovníkům za poskytnutý materiál potřebný k výrobě formy. Poslední úpravy na výrobku provedla firma Rokospol a.s., jejíž pracovníci provedli nalakování pohledových ploch bezbarvým lakem. Všichni zde zmínění provedli dané operace zdarma ve vlastním volném čase a za to jim ještě jednou děkuji.

Důležité díky patří i firmě Form s.r.o. za pomoc s výrobou a také za poskytnutý materiál. Rád bych poděkoval panu Ing. Rusnákovu za konzultace konstrukce formy a za vedení při výrobní procesu.

Nemalé díky patří i mé rodině za morální a také finanční podporu po celou dobu mého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové 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 KOMPOZITY – ZÁKLADNÍ POJMY .....</b>	<b>12</b>
<b>2 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY .....</b>	<b>15</b>
2.1 ČÁSTICOVÉ KOMPOZITY .....	15
2.2 VLÁKNOVÉ KOMPOZITY .....	16
2.3 SROVNÁNÍ S KONVENČNÍMI MATERIÁLY .....	16
2.3.1 Přednosti kompozitních materiálů v porovnání s konvenčními materiály: .....	17
2.3.2 Nevýhody spojené s využitím kompozitních materiálů: .....	17
2.3.3 Zavedení a následné využití kompozitních materiálů ve výrobě .....	17
<b>3 MATERIÁLOVÉ POŽADAVKY .....</b>	<b>19</b>
3.1 MATERIÁL FORMY .....	19
3.1.1 Kovové a slitinové formy .....	20
3.1.2 Kompozitní formy .....	21
3.1.3 Ostatní materiály .....	21
3.2 MATRICE .....	22
3.2.1 Epoxidové matrice .....	22
3.2.2 Polyesterové matrice .....	23
3.2.3 Fenolické matrice .....	23
3.3 VYZTUŽUJÍCÍ VLÁKNA .....	23
3.3.1 Skelná vlákna .....	23
3.3.2 Uhlíková vlákna .....	24
3.3.3 Přírodní vlákna .....	25
3.4 PREPREG MATERIÁLY .....	26
Výhody a nevýhody předimpregnovaných materiálů: .....	26
3.5 POMOCNÉ TECHNOLOGICKÉ MATERIÁLY .....	26
<b>4 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ KOMPOZITŮ .....</b>	<b>29</b>
4.1 RUČNÍ KLADENÍ ZA MOKRA .....	29
4.2 RTM – RESIN TRANSFER MOULDING .....	30
4.3 VAKUOVÁ INFUZE .....	31
4.4 VAKUOVÉ LISOVÁNÍ PŘEDIMPREGNOVANÉ VÝZTUŽE .....	32
4.5 PULTRUZE – KONTINUÁLNÍ TAŽENÍ .....	33
<b>5 KOMPOZITY V MOTOCYKLOVÉM PRŮMYSLU .....</b>	<b>34</b>
5.1 PODMOTOROVÝ KLÍN .....	34
5.2 SOUČÁSTI MOTOCYKLU .....	36
5.2.1 Díly kapotáže .....	36
5.2.2 Výfukové systémy .....	37
5.2.3 Motocyklové doplňky .....	39
5.2.4 Motocyklové vybavení .....	40

<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>41</b>
<b>6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>42</b>
<b>7 NÁVRH MODELU PRO DANOU SOUČÁST .....</b>	<b>43</b>
7.1 VYTVOŘENÍ ŠABLONY .....	43
7.2 VYTVOŘENÍ ROZVINUTÉHO TVARU A VOLBA MATERIÁLU OVĚŘOVACÍ SOUČÁSTI.....	44
<b>8 VÝROBA VÝROBNÍ FORMY A OVĚŘOVACÍ SOUČÁSTI .....</b>	<b>48</b>
8.1 VÝROBA VÝROBNÍ FORMY .....	48
8.2 VÝROBA OVĚŘOVACÍ SOUČÁSTI VAKUOVÝM LISOVÁNÍM PŘEDIMPREGNOVANÝCH TKANIN.....	50
8.3 VYTVOŘENÝ A OŘEZANÝ OVĚŘOVACÍ MODEL.....	55
<b>9 MOŽNOSTI MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ A TECHNOLOGIE PRO DANÝ DÍL.....</b>	<b>57</b>
9.1 VAKUOVÉ LISOVÁNÍ PŘEDIMPREGNOVANÝCH TKANIN .....	57
9.1.1 Předimpregnovaná uhlíková tkanina .....	57
9.1.2 Předimpregnovaná skelná tkanina .....	57
9.1.3 Kombinace materiálů.....	57
9.2 VAKUOVÁ INFUZE .....	58
9.3 VOLBA TECHNOLOGIE A MATERIÁLU.....	59
<b>10 EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ .....</b>	<b>60</b>
10.1 LISOVÁNÍ A PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	60
10.2 ZKOUŠKA OHYBEM.....	62
10.2.1 Tepelně nezatížený materiál.....	63
10.2.2 Tepelně zatížený materiál .....	66
10.3 RÁZOVÁ ZKOUŠKA .....	70
10.3.1 Tepelně nezatížený materiál.....	71
10.3.2 Tepelně zatížený materiál .....	73
10.4 VÝBĚR NEOPTIMÁLNĚJŠÍHO MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ A ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....	76
<b>11 VÝROBA PODMOTOROVÉHO KLÍNU .....</b>	<b>78</b>
11.1 VYTVOŘENÍ NÁSTŘIHOVÉHO PLÁNU .....	78
11.2 VÝROBA SOUČÁSTI.....	80
11.3 OŘEZÁNÍ A DOPLŇUJÍCÍ ÚKONY.....	86
11.3.1 Ořezání výrobku a vyvrtání děr.....	86
11.3.2 Lakování výrobku.....	87
11.3.3 Doplnující úkony .....	88
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>90</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>93</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>95</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>96</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>99</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ.....</b>	<b>100</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>101</b>

## ÚVOD

Kompozitní materiály v současnosti nahrazují a v některých odvětvích plně vytlačují dosud používané konvenční materiály. Tyto moderní materiály a technologie umožňují také splňovat veškeré požadavky konstruktérů na stále více tvarově a materiálově složitější výrobky. Dříve dostupné materiály pouze pro vojenský průmysl a vědecký výzkum se tak dostávají i do veřejných odvětví. Zde zaujímají svou důležitou pozici a každý z nás se tak s nimi dostává denně do kontaktu. Důvodem je zejména jejich vysoká pevnost a tuhost vztažená na jednotku hmotnosti. Jedním z mnoha odvětví využívající tyto vlastnosti je motocyklový průmysl. Výrobci motocyklů spolu navzájem soupeří a snaží se maximálně využívat dostupné technologie a materiály, především kvůli sportovním úspěchům a z toho plynoucí prezentaci značky a technologickým inovacím.

Teoretická část diplomové práce se zabývá teorií v oblasti kompozitních materiálů a jejich využitím v oblastech motocyklového průmyslu. Jsou zde vysvětleny základní pojmy, stručně popsány kompozitní materiály a také požadavky na materiály využívané při výrobě kompozitních součástí. Část teoretické části se také zabývá popisem jednotlivých technologií výroby využívaných při výrobě a příklady využití těchto moderních materiálů v motocyklovém průmyslu. Materiály a blíže popsané technologie jsou voleny s ohledem na materiály a technologie využité v praktické části diplomové práce.

Praktická část diplomové práce se zabývá návrhem šablon a ověřovacího modelu. Důležitá je také volba materiálu a samotná výroba formy a výrobků. Konstrukce formy je směřována k využití nestandardních materiálů. V této části jsou také obsaženy výsledky experimentálního testování, jeho zpracování a vyhodnocení. Neméně důležité je také pojednání o průběhu jednotlivých úkonů a výsledcích práce a jejím přínosu.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 KOMPOZITY – ZÁKLADNÍ POJMY

**Kompozity** – Heterogenní materiály mající kombinace dvou nebo více odlišných materiálových složek. Výsledné materiály mají zřetelně odlišné vlastnosti od fází, z kterých se skládají. Základní myšlenkou je tedy získat nové materiály, využívající synergický efekt. Kompozit není v pravém slova smyslu hotový materiál, ale jedná se o jakýsi stavební prvek, sloužící k dalšímu zpracování.



Obr. 1. Příklad kompozitního profilu

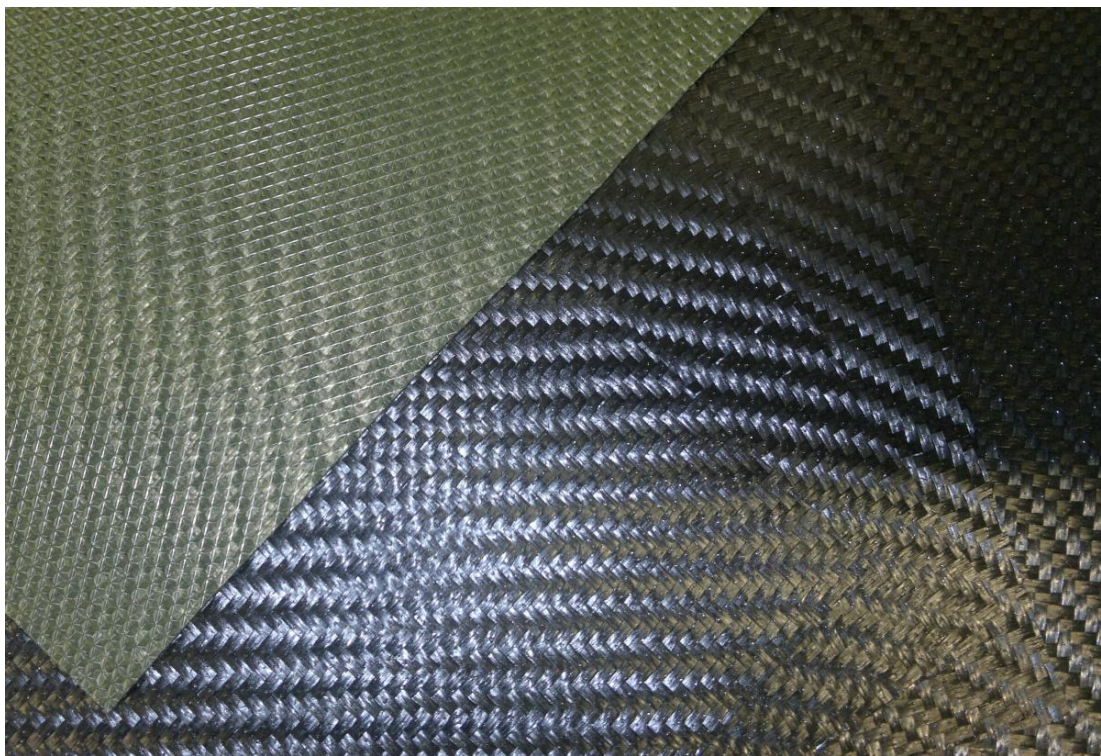
**Synergický efekt** – Kompozitní materiály jsou takzvaně synergické, to znamená, že vlastnosti jednotlivých materiálových složek jsou horší než celkové vlastnosti jejich řízené spolupráce. [1]

**Anizotropie** – Charakteristický rys kompozitního materiálu popisující silnou závislost vlastností kompozitu na směru uložení jednotlivých vláken.

**Matrice** – Z anglického slova Matrix. Slouží především k zafixování vláken v kompozitu. Tím umožňuje pomocí adheze přenos zátěže do a z kompozitu. Spojitá a poddajnější fáze, která plní funkci pojiva výztuže a také výztuž ochraňuje před okolními vlivy prostředí.

**Výztuž** – Nespojitá fáze, tvrdší a tužší. S kombinací s vhodnou matricí a s využitím synergického efektu umožňuje přenos větších zatížení, které by nebyla schopna přenést samostatně. Důležitými znaky pro výztuže jsou jejich geometrie a orientace. Podle těchto vlastností se také kompozitní materiály dále dělí.

**Prepreg** – Polotovary výztuže předimpregnované částečně vytvrzenými pryskyřicemi. Tyto výztuže se následně vrství a působením tepla, případně tlaku se vytvrzují.

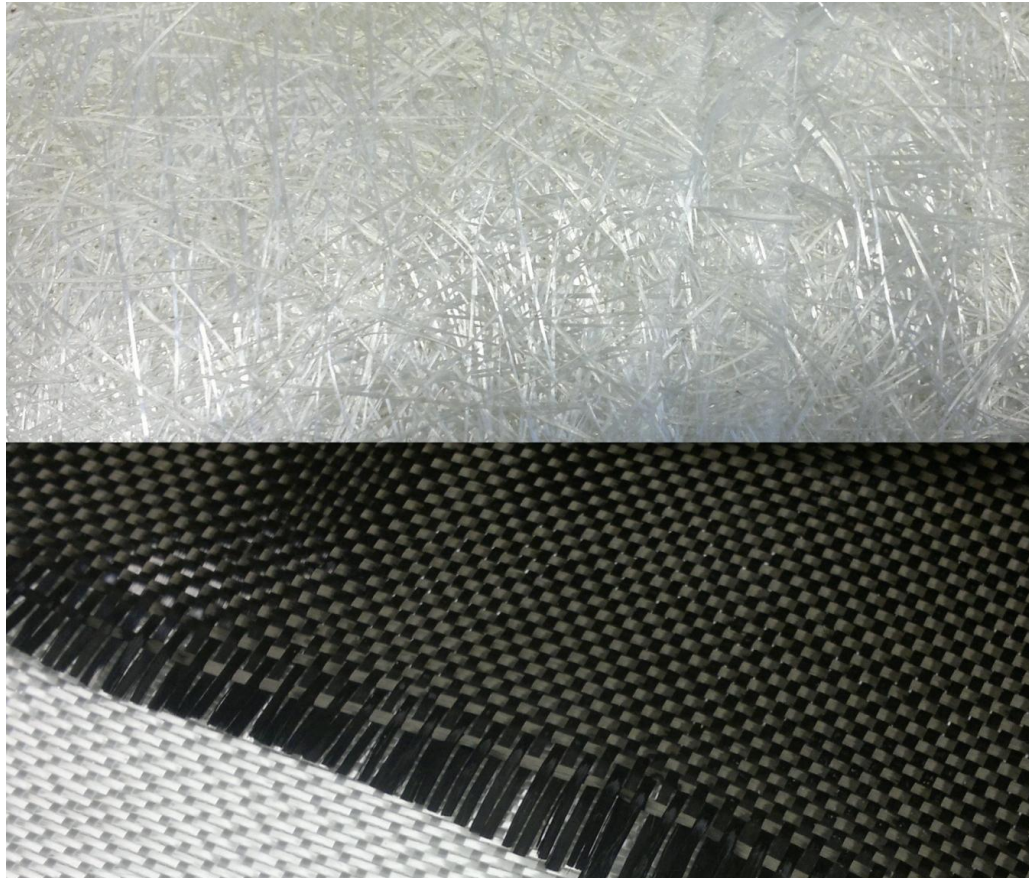


Obr. 2. Předimpregnovaná výztuž – PREPREG

**Rohož** – Jedná se o polotovar plošného charakteru. Rohože jsou vhodné především na tvarově složitější výrobky, jelikož se snadno ohýbají a kopírují tak složité tvary výrobku.



**Tkanina** – Polotovar tkaných, pravidelně uspořádaných vláken. Tyto polotovary se vyznačují různými vlastnostmi v různých směrech.



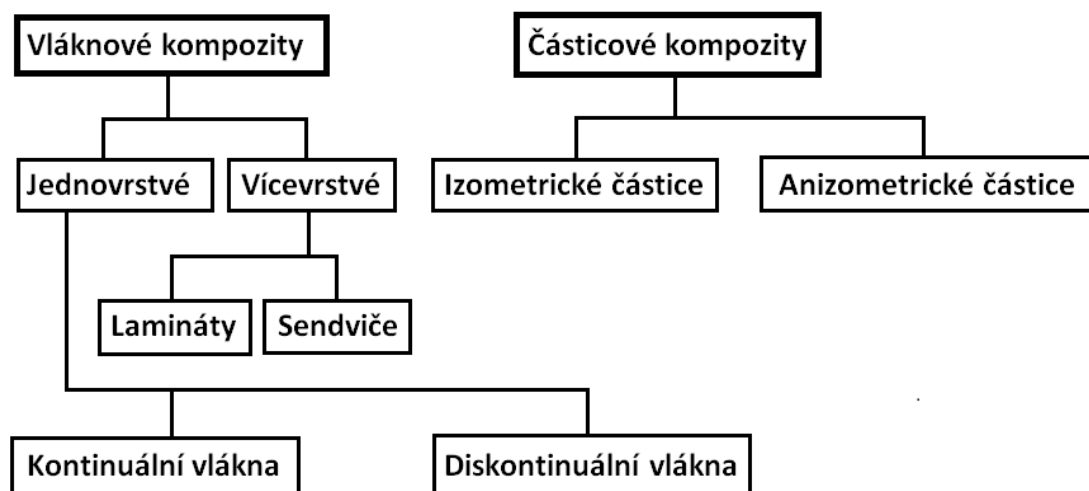
Obr. 3. Rozdíl mezi rohoží (nahore) a tkaninou (dole)

**Sendvičové struktury** – Laminátové kompozity skládající se z tuhých vrstev a jádrové struktury. Tato struktura je tvořena převážně lehkým materiálem. Sendvičové struktury se vyznačují nižší hmotností, úsporou materiálu a lepšími izolačními vlastnostmi. Materiály mají ve srovnání s jednoduchými lamináty větší tuhost.

**Autokláv** – Přístroj konstruovaný pro reakce probíhající nejen při vysokých teplotách ale také při zvýšeném tlaku.

## 2 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Obecně kompozity dělíme na částicové a vláknové. Toto rozdělení je dáno geometrickým tvarem, velikostí, orientací a rozměry vyztužujících prvků. Jedná se tedy o dělení kompozitních materiálů vzhledem k jejich geometrické struktuře. Částicové kompozity jsou definovány jako nevláknový útvar, který nemá dlouhý rozměr. Jsou plněny částicemi. Vláknové kompozity jsou vyztuženy vlákny, která mají délkové rozměry podstatně větší než průřezové. Každá z těchto skupin má v průmyslu své speciální uplatnění. [2]



Obr. 4. Základní rozdělení kompozitních materiálů

### 2.1 Částicové kompozity

Částice mohou být ve tvaru krychle, kvádra, koule, případně jiného útvaru. Částice se mohou podílet na přenosu namáhání, ale v mnohem menším měřítku než vláknové kompozity. Hlavní význam částic v materiálu je zlepšení mechanických vlastností, například elektrická a tepelná vodivost, odolnost proti opotřebení či snížení koeficientu tření. Mohou mít v matici náhodnou orientaci, nebo přednostní orientaci z důvodu dosažení požadovaných mechanických vlastností. Dle tohoto kritéria dělíme kompozitní částice na orientované a neorientované. [2]

## 2.2 Vláknové kompozity

Z důvodu malých průřezových rozměrů se vlákna nemohou používat v technických aplikacích přímo. Vkládají se proto do matricových materiálů a vytvoří vláknové kompozity. Matrice je zde spojitou fází, slouží k přenosu namáhání do vláken a také je chrání proti vnějším vlivům a proti poškozením při zpracování. Tyto kompozity se stávají nejdůležitějšími kompozitními materiály, protože jsou schopny dosahovat vysokých pevností. [3]

## 2.3 Srovnání s konvenčními materiály

Pevnost a tuhost kompozitních materiálů závisí na pevnosti a tuhosti vláken. Vlákna a jejich orientace výrazným způsobem ovlivňují také další mechanické vlastnosti kompozitu. Konstrukční prvky musí být navrženy tak, aby zejména při dynamickém namáhání nedošlo v místech s vyšší koncentrací namáhání a napětí k nebezpečnému poškození a následnému lomu. Při výrobě kompozitní součásti musí být zajištěno, aby měl prvek v každém místě stejné vlastnosti a aby výrobní postup probíhal kontrolovatelně a za předem definovaných podmínek. Tento předpoklad však vyžaduje mimo kvalitní materiály i odborně kvalifikovaný výrobní personál. Kompozitní materiály jsou velmi vhodné pro aplikace, při kterých je nutné, aby součásti vydržely rázové zatížení. Nedosahují však houževnatosti kovů. [4]

Tab. 1. Srovnání kompozitních materiálů s konvenčními materiály (HS - Vysokopevnostní materiál, HM – materiál s vysokou tuhostí) [5]

Typ vlákna	Sklo	Aramid	HS - uhlík	HM - uhlík	Hliník	Ocel
Modul pružnosti v podélném směru [MPa]	74 000	130 000	230 000	390 000	75 000	210 000
Modul pružnosti v příčném směru [MPa]	74 000	5 400	15 000	6 000	75 000	210 000
Modul pružnosti ve smyku [MPa]	30 000	12 000	50 000	20 000	30 000	81 000
Pevnost v tahu [MPa]	2 100	3 000	5 000	3 800	500	1 800
Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	2 500	1 500	1 600	1 700	2 700	7 850



### 2.3.1 Přednosti kompozitních materiálů v porovnání s konvenčními materiály:

- Velmi dobrá odolnost proti korozi a agresivním médiím
- Odolnost proti hoření
- Vlastnosti závislé na směru uložení vláken
- Kompozitní materiály mají lepší dynamické vlastnosti
- Dobré tlumící vlastnosti
- Vysoká pevnost a tuhost při zachování nízké měrné hmotnosti
- Vysoká tvarová stálost
- Hygienická nezávadnost

### 2.3.2 Nevýhody spojené s využitím kompozitních materiálů:

- Drahé výchozí materiály pro výrobu
- Nákladná a zdlouhavá výroba výchozích polotovarů
- Obtížná technika montáže
- Problematická oprava poškozených, zvláště pak pohledových ploch
- Vysoké požadavky na zručnost a kvalifikovanost pracovníků

### 2.3.3 Zavedení a následné využití kompozitních materiálů ve výrobě

Kompozitní materiály jsou využívány především z ekonomických důvodů. Například v kosmonautice umožňují dosáhnout úsporu až 25 000 eur na 1 kg ušetřené hmotnosti vzhledem k vysokým nákladům na energii. V leteckém průmyslu jsou tyto úspory až 1000 eur na 1kg. V průmyslu dopravních vozidel 0 až 3 eur na 1 kg. Kompozitní materiály jsou obecně dražší než materiály konvenční a také kladou vyšší požadavky na výpočet konstrukcí a zpracovatelské technologie. Vzhledem k těmto skutečnostem jsou vhodnější spíše pro výrobky vyráběné v malých sériích, v letectví a v kosmonautice. [4]



Obr. 5. Kompozitní Trimble pro mapování terénu [6]

Největším problémem při přechodu na kompozitní materiály je nízký odbyt výrobků z těchto materiálů vyrobených. Dále pak vysoké náklady na vývoj a nutnost změn ve vybavení dílen. Všechny tyto faktory pak brání v další podpoře vývoje. Nezanedbatelný je také problém s finančně nákladnou recyklací a nezbytnost vybavit výrobní prostory zařízeními na ochranu životního prostředí a zdraví výrobního personálu.

Tyto nedostatky lze postupně odstraňovat díky vzdělané obsluze a školení zaměstnanců. Dalším problémem jsou relativně nízké znalosti vlastností a způsobu zpracování této materiálové skupiny a poměrně nízká úroveň vzdělání uživatelů v této problematice. [4]



Obr. 6. Vrtulník Northrop Grumman MQ-8B [6]

### 3 MATERIÁLOVÉ POŽADAVKY

Pro kvalitní provedení veškerých technologických operací je nutné vhodně zvolit technologické podmínky. Neméně důležitá je také volba materiálů, které pro danou aplikaci hodláme použít. Ať už se jedná o materiály pomocné či přímo využitě na budoucím výrobku.

Je třeba brát v úvahu podmínky vyskytující se nejen při přípravě polotovarů a při výrobě, ale také při používání výrobků. Je nutné sledovat teploty procesů, tlakové hodnoty a například zatížení výrobku či rozměrovou stabilitu.

Na každý výrobek je třeba provést rozvahu o jeho budoucím využití a zatížení a podle těchto hodnot zvolit vhodné technologické podmínky a materiály.

#### 3.1 Materiál formy

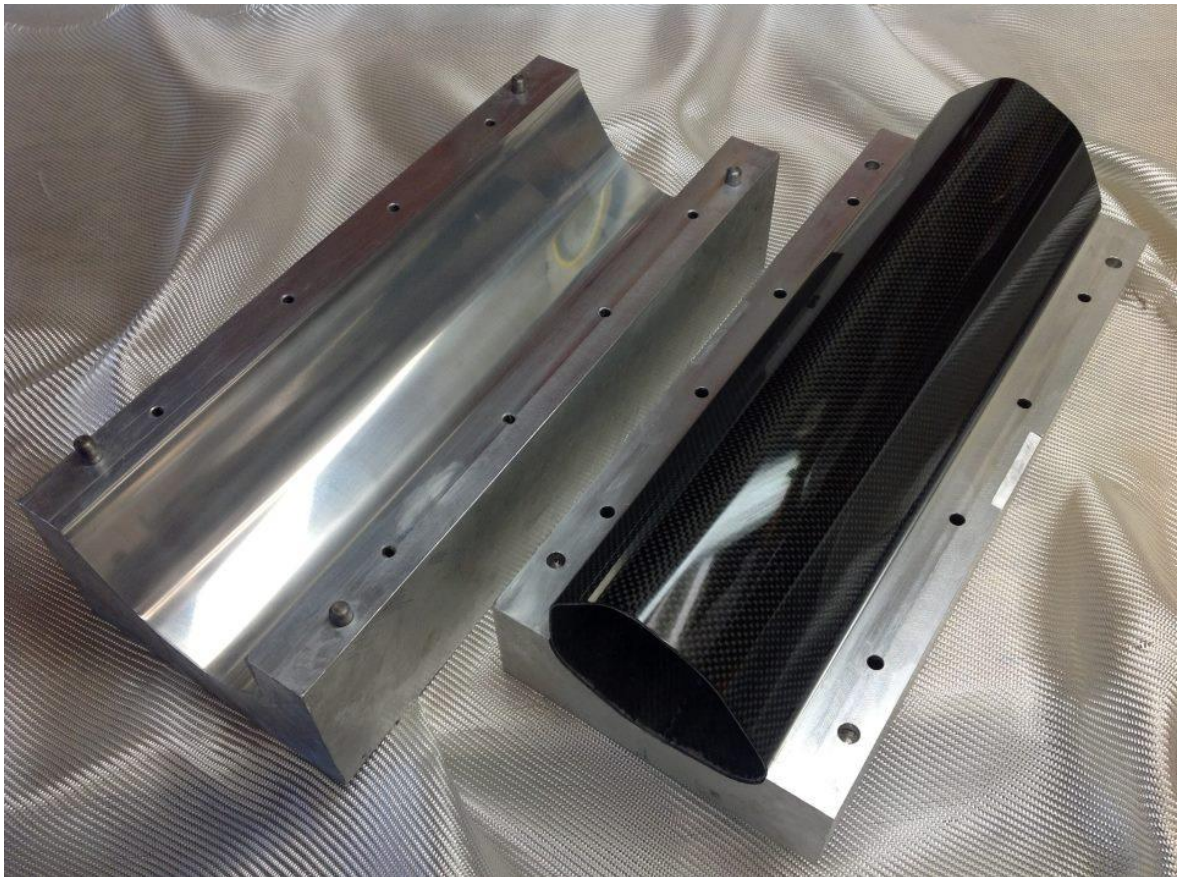
Skutečně kvalitní a rozměrově přesný výrobek je možné získat pouze z formy, která splňuje potřebné požadavky. Forma má tvar negativu budoucího výrobku a je zvětšená o hodnoty smrštění, případně o různé druhy přídávků. Provedení formy může být jednodílné či vícedílné pro tvarově složitější, nebo objemnější výrobky.

V současné době je jedním z nejhlavnějších faktorů pro výběr formy průsečík požadavků mezi konečnými požadavky na výrobek a vybavení, náklady na výrobu a časovou náročností. Hlavním faktorem, podle kterého se volí typ formy, je sériovost výroby, to znamená například odhadovaná roční produkce. Z hlediska přesnosti forem je důležité, aby byly zajištěny minimální tvarové odchylky a také rozměrová přesnost jednotlivých dílů. V opačném případě se potom vyskytují problémy při montáži. [7]

K výrobě forem se převážně využívají CNC stroje nebo obráběcí centra. Tyto metody mají výhodu z hlediska časové a především finanční úspory. Takto vyrobené formy podstoupí ještě řadu dokončujících operací. Také je provedena separace formy. [7]

### 3.1.1 Kovové a slitinové formy

Nejpoužívanější materiály pro výrobu forem, u kterých požadujeme velkou životnost potřebnou k vyrobení velkých sérií výrobků. Velkou výhodou těchto forem je také možnost temperace tvarových ploch a vysoká kvalita povrchu. Kvalitu povrchu je možné udržovat například pomocí leštění, případně lze takovéto formy opravovat. Teplotně a tlakově stabilní formy. [7]

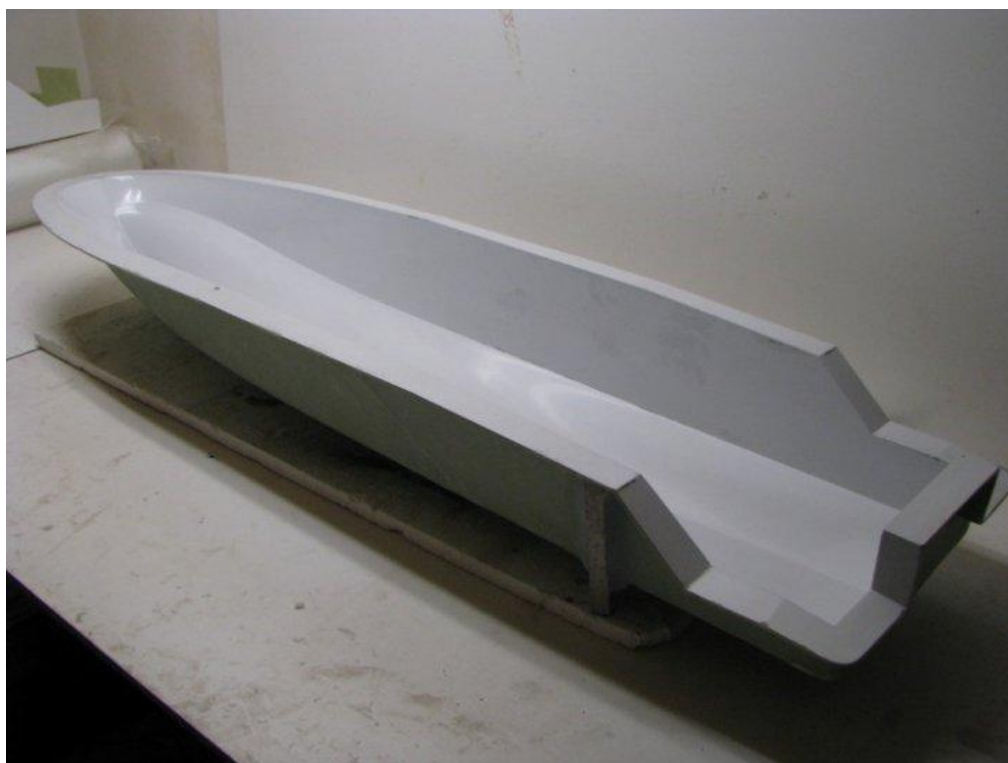


Obr. 7. Kovová forma určená pro výrobu pláště motocyklového výfuku [8]

Nevýhodou kovových materiálů je poměrně velká hmotnost hotové formy a tím snížená možnost manipulace s takovou formou. Tyto formy jsou ve srovnání s formami z kompozitů také finančně nákladnější. Kovové formy nevyžadují model.

### 3.1.2 Kompozitní formy

Používají se pro středně velké série. Lze je využít pro velkorozměrné a tvarově složité součásti. Kompozitní formy se vyznačují velkou tuhostí při zachování poměrně malé hmotnosti. Tuhost celé konstrukce je podporována kovovou kostrou, která je součástí formy. Vyrábějí se podle modelu součásti a je tedy nutné počítat z hlediska ekonomického také s výrobou modelu. I přesto jsou tyto formy finančně výhodnější než formy kovové. [7]



Obr. 8. Forma vyrobená ze skelných vláken [8]

Kompozitní formy vyrobené ze sklolaminátů jsou v současné době nejčastěji používané. Výrobky z kompozitů mohou dosahovat délky i několika desítek metrů, a proto by nebylo finančně ani technologicky výhodné vyrábět je z kovových materiálů. [7]

### 3.1.3 Ostatní materiály

Nejčastěji používané jsou materiály jako dřevo, polystyren, umělé dřevo nebo silikon. Jedná se převážně o formy prototypové, nebo formy určené k výrobě pouze několika kusů výrobku. [7]





Obr. 9. Dřevěná forma určená pro výrobu součástí ze skelných vláken [8]

## 3.2 Matrice

Úkolem matrice je zaručení geometrické stálosti tvaru, zavedení a přenosu sil a také ochrana vláken. Přenáší nejen namáhání na jednotlivá vlákna, ale také namáhání z vláken na vlákna.

### 3.2.1 Epoxidové matrice

- Za normálních teplot kapalné až pevné
- Můžou obsahovat přídavné pomocné látky – rozpouštědla
- Tvrdivlo v kapalné nebo pevné formě

Překonávají většinu dalších typů pryskyřic především svými mechanickými vlastnostmi a v odolnosti vůči vnější degradaci, a proto nacházejí široké uplatnění v leteckém průmyslu.

Výhodou je malé smršťování během vytvrzování, vysoké elektrické a izolační schopnosti a dobrá chemická odolnost. Dále můžeme vyzdvihnout vysokou odolnost proti vodě a tudíž předpoklad pro široké spektrum využití při výrobě lodí. [9]

### 3.2.2 Polyesterové matrice

- Lze vytvrzovat za normální nebo zvýšené teploty bez vedlejšího produktu – těkavé složky
- Mají velké smrštění při vytvrzování
- Velmi křehké – tvorba mikrotrhlin
- Dobře smáčejí skelná vlákna, ale pevnost vazby je menší
- Dobré elektrické vlastnosti a odolnost proti UV záření

Při výrobě polyesterové pryskyřice je nutné, aby směs obsahovala ještě další látky jako katalyzátor, aditiva, pigment, barvivo, ohnivzdorné látky atd. Jsou bezbarvé až nažloutlé. Jejich cena je relativně nízká, a proto jsou častěji používané při výrobě. [9]

### 3.2.3 Fenolické matrice

- Fenolické matrice můžeme skladovat bez ztráty vlastností a se schopností síťovat po relativně dlouhou dobu
- Používají se jako základ lepidel pro laminování dřeva
- Při využití těchto pryskyřic u kompozitních profilů jsou vytvářeny materiály s výrazně sníženou hořlavostí [9]

## 3.3 Vyztužující vlákna

### 3.3.1 Skelná vlákna

- Skelné vlákno je izotropní – vlastnosti v podélném a příčném směru jsou stejné
- Dlouhodobé tepelné zatížení nesnižuje hodnoty mechanických vlastností
- Skelná vlákna jsou nehořlavá a tudíž ohnivzdorná
- Součinitel teplotní délkové roztažnosti skelných vláken je nižší než u většiny konstrukčních materiálů [4]

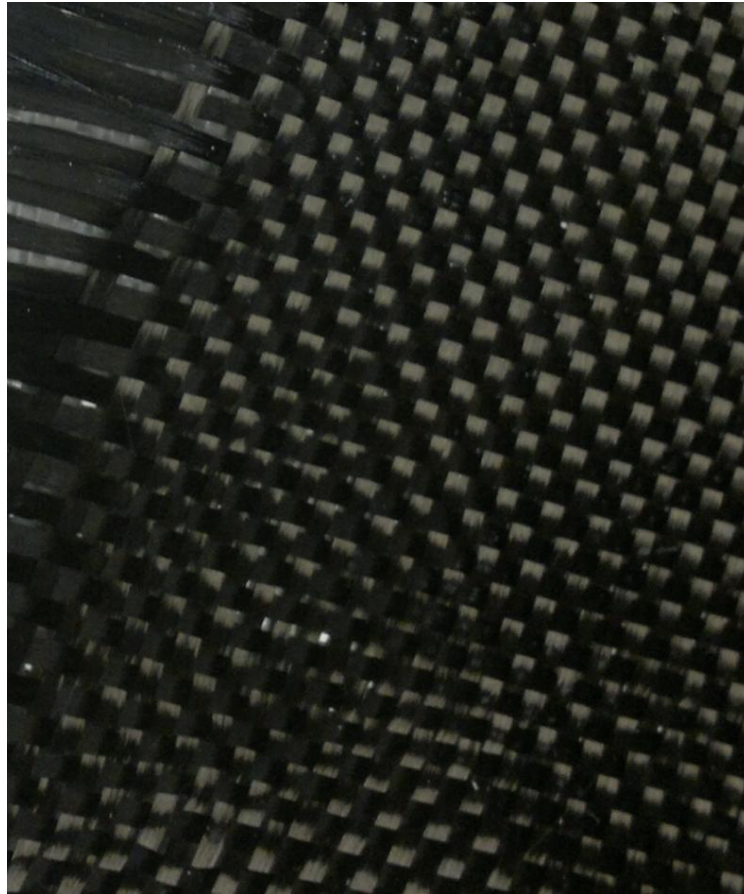


Obr. 10. Skelná vlákna – rohož

Používají se především v kompozitech s polymerní matricí. Vlákna jsou vyráběna kontinuálně. Dodací formou textilního skla jsou příze, pramence, rohože, nebo například krátké vlákna či sekany pramenec. [4]

### 3.3.2 Uhlíková vlákna

- Ve srovnání se syntetickými vlákny mají uhlíková vlákna progresivní deformační chování a se zvyšujícím se zatížením stoupá hodnota  $E$  – modulu
- Vysoká pevnost a modul pružnosti až do teploty 500 °C
- Vysoká korozní odolnost
- Dobrá elektrická a tepelná vodivost
- Snášlivost s tělesnými tkáněmi – lze je tedy použít jako implantáty
- Ve srovnání se skelnými vlákny jsou silně anizotropní
- Vysoká odolnost proti dlouhodobému dynamickému namáhání
- Neodráží radarový paprsek [4]



Obr. 11. Uhlíková vlákna – tkanina

### 3.3.3 Přírodní vlákna

Pro vyztužování jsou nejvýhodnější vlákna rostlinného původu. Mezi nejběžnější patří len, konopí, juta a bavlna. Výhodou použití těchto vláken je především jejich odolnost proti stárnutí a čichová nezávadnost při měnících se klimatických podmínkách. Jedná se o zajímavou surovinu pro využití v lehkých konstrukcích. [4]

Výhodou přírodních vláken rostlinného původu je nízká hustota a také následná likvidace pomocí spalování. Problémy však může způsobovat růst rostlin, který ovlivňuje vlastnosti jednotlivých vláken či omezená délka vláken. Tyto vlákna jsou také náchylné na působení vlhkosti a možnost změn vyvolaných biologickým napadením. [4]

Tab. 2. Porovnání vlastností vybraných přírodních vláken s vlákny skelnými [4]

Vlastnosti vlákna	Sklo	Konopí	Len	Juta
E-modul [ $\text{N.mm}^{-2}$ ]	75 000	70 000	30 000	55 000
Mez pevnosti v tahu [ $\text{N.mm}^{-2}$ ]	3 500	600	750	550
Tažnost [%]	4	1,6	2,0	2,0
Hustota [ $\text{g.cm}^{-3}$ ]	2,54	1,45	1,48	1,4

### 3.4 Prepreg materiály

#### Výhody a nevýhody předimpregnovaných materiálů:

- Vysoký podíl vláknové výztuže
- Procentuálně malé zastoupení dutin
- Rovnoměrná distribuce výztuže a matrice zaručující rovnoměrnou kvalitu materiálu
- Vyšší cena z důvodu časově a energeticky náročnější technologie
- Nutnost skladování materiálu při nízkých teplotách z důvodů zabránění degradace polotovarů [10]

### 3.5 Pomocné technologické materiály

**Separční a odtrhové materiály** – slouží k oddělení pomocných technologických materiálu od vyráběného výrobku. Parametry určující tuto fólii jsou tepelná odolnost, kompatibilita s vakuovým materiálem, perforace a flexibilita. Perforace fólie se provádí maximálně do 5 % plochy fólie. Vytváří na povrchu výrobku čistý a texturovaný povrch vhodný pro další technologické operace. Tyto fólie se kladou přímo na materiál výrobku. [5]





Obr. 12. Separáční fólie

**Odsávací rohož** – Netkan  textilie zabezpečující odsávání vzduchu z uzavřeného prostoru. Rovněž absorbuje přebytečnou matici. Parametry určující typ rohože jsou plo n  gramáž a tepeln  odolnost. Lze vyu it  i jako rozvodnou tkaninu pro distribuci matrice. [5]



Obr. 13. Odsávací rohož



**Vakuová fólie** – Vzduchotěsná vakuová fólie vytvářející tlak na horní části plochy výrobku, slouží především k vytvoření vakua a k uzavření systému. Tato fólie pokrývá všechny výrobní materiály. Požadavky na tuto fólii jsou především tepelná a chemická odolnost. Dále pak flexibilita a pevnost v tahu. U složitějšího tvaru je vhodné volit až 40 % přesah oproti tvaru výrobku. Tento přesah umožní, aby vakuová fólie přiléhala ke všem tvarům výrobku. [5]



Obr. 14. Vakuová fólie s nalepenou těsnicí páskou

**Těsnicí pásky** – Vytváří vzduchotěsný spoj mezi formou a vakuovou fólií. Důležitým parametrem při výběru těsnicí pásky je teplotní rozsah použití, přilnavost a lepivost.

**Ostatní pomocné materiály** – Mezi další pomocné materiály patří zejména rozvodné hadice a spojky, tlakové budíky případně rozvodné můstky zabezpečující distribuci matrice do celé plochy budoucího výrobku.

Neméně důležité jsou také pomůcky chránící bezpečnost obsluhy manipulující s matricí a výtuzí. Důležité jsou především respirátory a ochranné rukavice, případně také ochranné pomůcky zraku.

## 4 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ KOMPOZITŮ

Základní technologie zpracování kompozitních materiálů můžeme rozdělit z mnoha hledisek. Jedním z nich je například typ využití formy. Tato forma může být jednak jednodílná, jednak vícedílná - tvořící jeden celek či dutinu budoucího výrobku. [6]

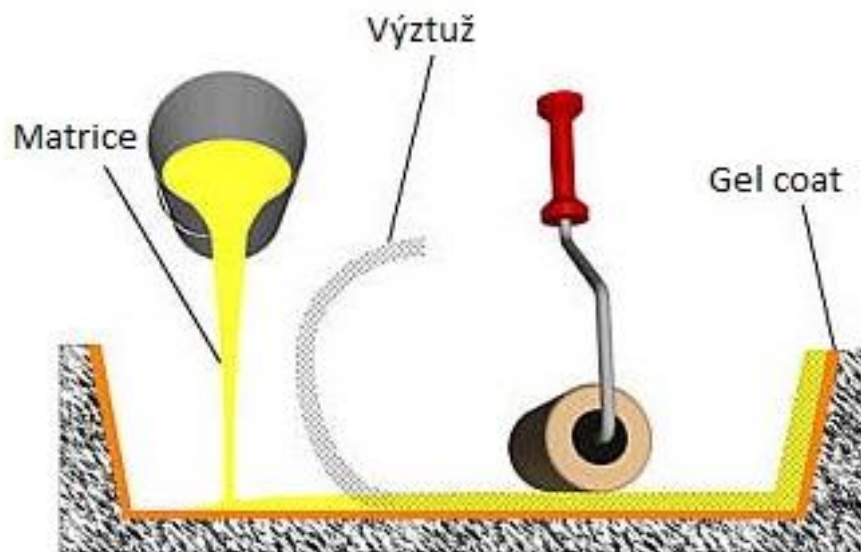
Další rozdělení můžeme provést z hlediska ručního nebo strojního kladení materiálů.

### 4.1 Ruční kladení za mokra

Technologie kontaktního ručního kladení spočívající v prosycování výztuže pomocí matrice vytvrzující při standardních atmosférických podmínkách a v nanesení gel coatu na vyčištěnou formu. Prosycování výztuže je prováděno ručně pomocí štětce, případně válečku a stěrky. [6]

Výztuže jsou ve formě tkanin, případně rohoží. Jedná se o jednoduchou metodu a také velmi rozšířenou s poměrně nízkými náklady na výrobu formy. Je vhodná spíše pro malé série, prototypy a složité velkorozměrové výrobky. [6]

Nutnost kvalifikovaných pracovníků - kvalita výroby závisí na dovednostech pracovníka. Důležité je také bezpečné pracoviště - nebezpečné výpary styrenu. [6]



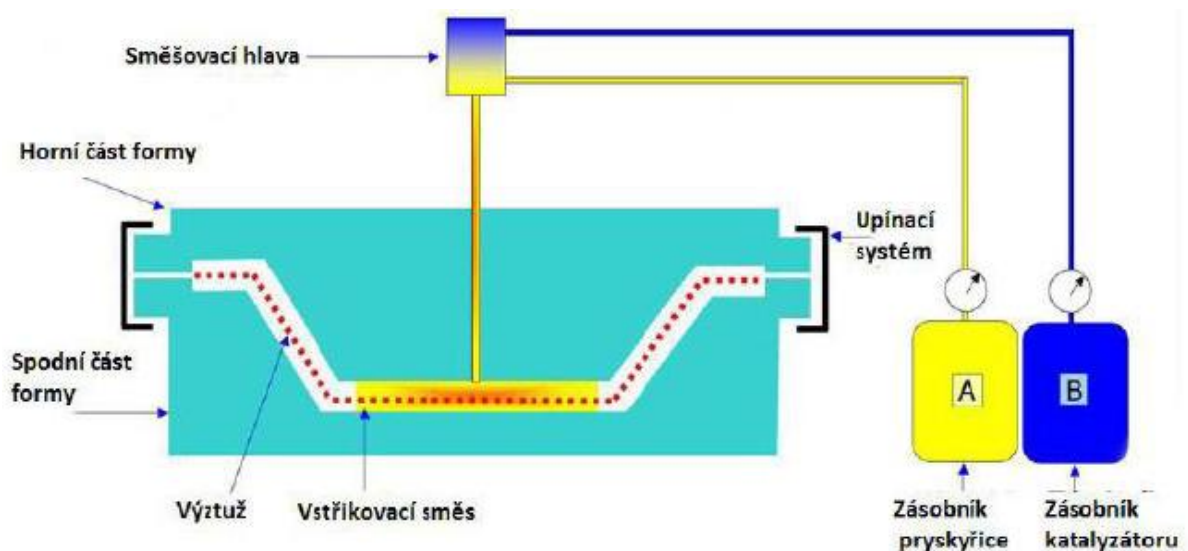
Obr. 15. Ruční laminování [5]

Využívá matrice polyesterové, epoxidové, vinylesterové, fenolické. Jako výztuže lze využít sklo, kevlar či uhlík. K dalším materiálům vhodným pro použití při této technologii jsou vlákna přírodních materiálů - konopí, ovčí vlna, juta. [5]

Technologie vhodná především pro výrobu krytování přístrojů a různých zařízení, pro výrobu lodí. Pro mechanicky namáhané díly jsou nejvhodnější tkaniny rovinové s prameny bez zákrutů. [6]

## 4.2 RTM – Resin Transfer Moulding

Technologie vstřikování pojiva pomocí vysokotlaké pumpy s regulovatelným přidáváním iniciátoru. Tento proces vstřikování je čistější a také zdravější – redukováno množství vypařovaného styrenu na pracovišti. Nespornou výhodou této technologie je také možnost vyrábět zadané rozměry výrobku i s tolerancemi. Nevýhodou je, že nemůžeme vyrábět žebra a negativní úkosy. Výrobek takto vyrobený může mít obě dvě strany pohledové, za použití gel coatu, znamená to ale, že je nutná dvoudílná forma a tím pádem jsou vyšší výrobní náklady na formu. Technologie vhodná zejména pro větší série do 10 000 kusů. [5]



Obr. 16. Technologie RTM [11]

Jako výztuže se většinou používají rohože z nekonečného vlákna nebo prošivané rohože. Je důležité, aby vlákna v rohoži byla odolná proti posunutí při toku pojiva. Pojiva se používají nejčastěji na bázi polyesterové pryskyřice se zabudovaným urychlovačem. Můžeme

je také kombinovat s levnějšími plnivými kvůli snížení nákladů a pro úpravu vlastností výsledného výrobku. [5]

Kromě RTM existuje také RTM Light (LRTM), které nevyžaduje při vstřikování vysoké tlaky pryskyřice, tlak se pohybuje v rozmezí mezi 0,1 až 0,3 MPa. Využívá se u menších a méně tuhých formách. Prýskyřice je nasávána podtlakem. Technologie je vhodná pro menší počet výrobků. [6]

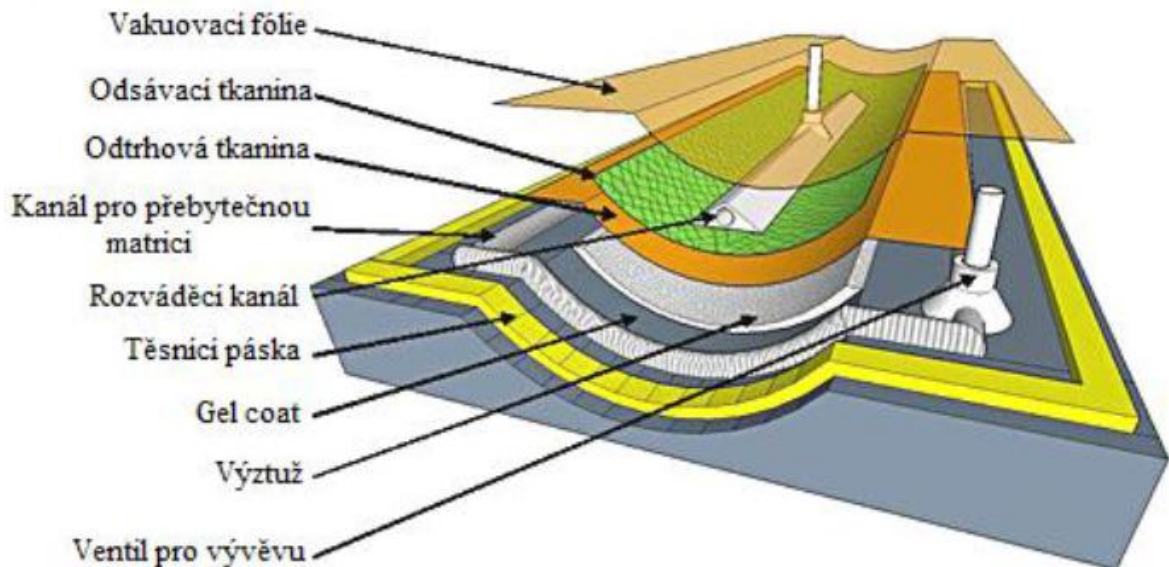


Obr. 17. Karoserie McLaren MP4-12C [12]

### 4.3 Vakuová infuze

Do dutiny formy postupně klademe výztuže ve formě tkanin nebo tkaných rohoží. Na takto připravené výztuže se dále kladou další technologicky potřebné materiály – separační fólie, rozváděcí tkanina, vakuová fólie. Vlivem podtlaku vytvořeného díky vakuové fólii a utěsněním celého systému je pak možné pomocí rozvodných kanálků prosytit výztuž matricí. Matrice vytvrzuje při standardních atmosférických podmínkách. [5]

Technologie je vhodná pro výrobu trupů lodí či vrtulí větrných elektráren. Epoxidové a polyesterové matrice. Výztuže se využívají tkané – sklo, uhlík, kevlar. Možnost využití sendvičových materiálů – pěna, balza. [5]

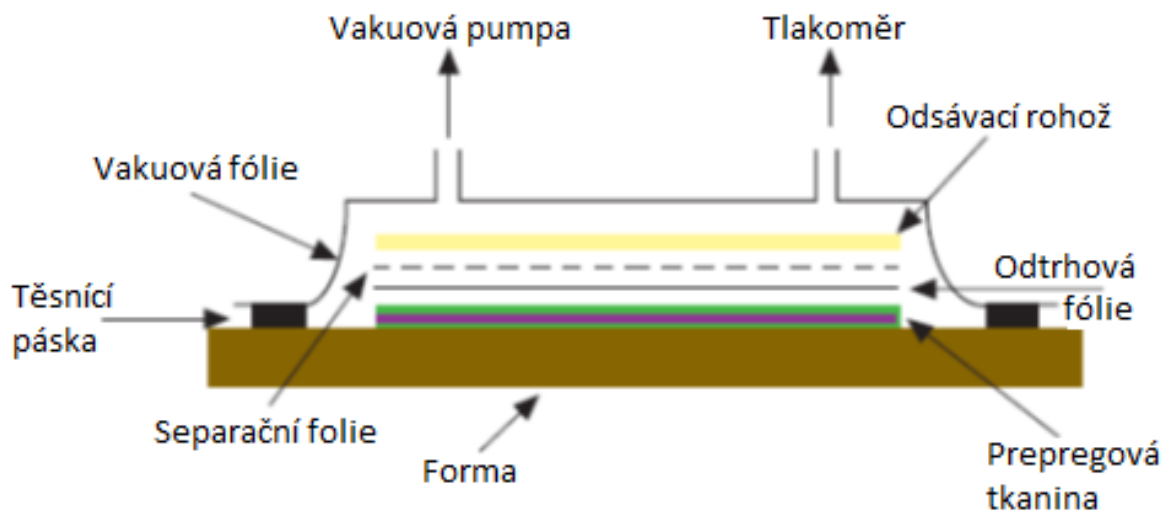


Obr. 18. Schéma vakuové infuze [11]

Jedná se o poměrně technologický složitý proces. Mezi náklady je nutné zahrnout také pomocný technologický materiál. Technologie vhodná pro malé série a velkorozměrové výrobky. Ve srovnání s ručním kladením zaručuje tento kontrolovaný proces lepší mechanické vlastnosti produktu. [5]

#### 4.4 Vakuové lisování předimpregnované výztuže

Technologie využívající předimpregnované tkaniny – takzvané prepregy. Tyto materiály klademe dle přesného plánu do dutiny formy v několika vrstvách. Dále následují pomocné technologické materiály. Jmenovitě se jedná o odtřhovou tkaninu, separační fólii, odsávací rohož a vakuovou fólii. Vakuová fólie umožní vakuové pumpě vytvořit vakuum a všechny materiály pod touto fólií se tak slisují. Takto připravená forma se přemístí do vyhřívané pece nebo autoklávu. [5]



Obr. 19. Schéma technologie vakuového lisování prepregů

Technologicky složitý proces, jehož finanční nákladnost ještě dále zvyšují náklady spojené s použitím pomocných materiálů. Lze využít u rozměrných výrobků – s ohledem na velikost vytvrzovacího prostředí. [5]

Mezi nejvyužívanější materiály patří především skelné tkaniny. Dalším, hojně využívaným materiálem je uhlíková neboli karbonová tkanina.

#### 4.5 Pultruze – kontinuální tažení

Výztuž v různé formě je vtahována do zásobníku s matricí a následně pokračuje do vyhřívané formy. Zde se matrice vytvrzuje. Technologie využívá svazků vláken, rohoží anebo tkanin. Dutina formy má tvar požadovaného profilu. Takto vzniklé profily se automaticky řežou či jiným vhodným způsobem dělí na požadovanou délku. Využívají se skelné, případně uhlíkové výztuže. Touto technologií lze vyrobit až pět metrů profilu za minutu. Závisí na tvarové složitosti profilu výrobku. Proces je velmi náročný na rozběh výroby a jsou zde také tvarové omezení vytvářeného profilu. [5]



## 5 KOMPOZITY V MOTOCYKLOVÉM PRŮMYSLU

Především vysoká pevnost, tuhost a také velmi důležitá nízká hmotnost jsou jedny z nejdůležitějších vlastností, díky kterým se motocyklový průmysl o tyto materiály zajímá. Velkou pozornost pak motocyklový průmysl soustřeďuje právě na úsporu váhy za cílem dosáhnout většího výkonu s poměrem na sníženou hmotnost motocyklu. Velmi rozšířenou aplikací těchto materiálů je také jejich použití při výrobě motocyklových doplňků a také motocyklového vybavení. Nejčastější materiály používané při výrobě dílů a příslušenství jsou sklolaminát a kombinace uhlíkových a kevlarových tkanin.

### 5.1 Podmotorový klín

Ačkoliv na funkčnost motocyklu nemá podmotorový klín vliv, jedná se i tak o vyhledávaný doplněk především pro motocykly, které označujeme jako naked bike. Tyto motocykly jsou většinou bez kapotáže a je pro ně specifický velký řadový čtyřválcový motor upravený ze sportovního motocyklu stejného objemu na vyšší krouticí moment. Oblíbené jsou také u skupiny motocyklů známých jako chopper. Dle fantazie majitele motocyklu jde podmotorový klín použít u jakéhokoliv motocyklu a s jeho pomocí může majitel upravit motocykl tak, aby odpovídal jeho představám, a tím se také odlišil od ostatních, továrních motocyklů.



Obr. 20. Podmotorový klín Carbon Kawasaki Z750 [13]

Můžeme říct, že se podmotorový klín umísťuje na silniční motocykl pouze z estetického hlediska. Částečně však může sloužit jako ochrana svodů motocyklu a olejové vany před kamínky létajícími od přední pneumatiky či vůči případnému nárazu způsobeným nerovnostmi na vozovce.



Obr. 21. Klín pod motor Honda CBF600 [14]

Podmotorový klín je možné upevnit také na terénní motocykly. Zde plní naopak funkci ochrannou a motocykl tak lze používat i v extrémnějších podmínkách, pro které jsou tyto stroje určeny. Tyto kryty mohou být vyrobeny jak z kompozitů a polymerů tak z různých slitin, případně plechů.



Obr. 22. Klín pod motor terénního motocyklu [15]

Klín pod motor tedy spadá do kategorie doplňků, za které jsou motocyklový nadšenci ochotni zaplatit, aby své motocykly odlišili od sériově prodávaných motocyklů. S oblibou je tento díl také využíván profesionálními úpravci motocyklů. Ti s jeho pomocí vytváří originální stroje. Cena takového podmotorového krytu se pohybuje v rozmezí od 1500 Kč do několika tisícových položek. Cena se odvíjí především od tvarové a designové složitosti klínu po použité materiály, případně i značku, za kterou jsou ochotni zájemci zaplatit větší částky. Důležitou roli při výběru hraje také zpracování jednotlivých výrobků.

## 5.2 Součásti motocyklu

### 5.2.1 Díly kapotáže

Sklolaminátové díly kapotáže jsou montovány na motocykly určené pro okruhové ježdění a pro závodní účely. Zde kompozity nahrazují dříve používané materiály, jako například různé slitiny, ocelový plech, hliník, polymery.



Obr. 23. Sklolaminátová kapotáž okruhového motocyklu [16]

Sklolaminátové kapoty se používají především kvůli nižší ceně ve srovnání s originálními kapotami, které jsou na motocykl montovány v továrně výrobce. Není tedy tolik finančně nákladné opravit havarovaný okruhový motocykl se sklolaminátovými kapotami na rozdíl od toho s originálními kapotami.

Kapotáže plní i ochrannou funkci. Jedná se o kryty nádrže, kryty motoru a kyvné vidlice. Umožňují také vytvořit pod motocyklem uzavřený prostor, který zachytí případný únik provozních kapalin při technické poruše či netěsnosti motorové části. Nespornou výhodou je také jednodušší montáž a demontáž takovýchto kapot. Kapoty jsou uchyceny pomocí speciálních šroubů. Důležitá je také úspora hmotnosti. Se srovnáním se sériovými kapotami jsou sklolaminátové kapoty lehčí v průměru o 8 kilogramů a uhlíkové jsou lehčí až o 12 kilogramů.

### 5.2.2 Výfukové systémy

Laděné výfukové koncovky vyrobené z kompozitu jsou bezpochyby jednou z nejčastějších úprav standardních motocyklů, určených pro běžný silniční provoz. Z větší části se jedná o kompletní výfukové koncovky, které plně nahrazují sériově montované.



Obr. 24. Výfuková koncovka s nerezovými svody Akrapovič [17]

V případě využití takovéto koncovky lze rovněž upravit průběh krouticího momentu, zvýšit výkon a krouticí moment a také snížit hmotnost výfukové soustavy cca o polovinu. I proto jsou tyto koncovky oblíbeny jak u běžných účastníků silničního provozu, tak u závodních jezdců, kteří díky nim dosahují na lépe bodované příčky žebříčku.

Použitím laděné koncovky však může dojít ke zvýšení spotřeby paliva. Zvuková kulisa takového výfuku je však natolik působivá, že tento fakt většina motocyklistů naprosto zanedbává. Karbonová koncovka působí dunivým zvukem, oproti titanovým koncovkám, které jsou spíše hlasitější a ostřejší. Výhodou titanových koncovek je však méně náročná oprava v případě poškození pláště.

Karbonová koncovka také vyžaduje pravidelnou údržbu v podobě výměny tlumící vaty. V případě zanedbání se může karbonová vrstva působením vysoké teploty propálit. Poškozené karbonové těleso je většinou nutné v obou případech vyměnit za nové. Laděné karbonové výfukové koncovky podléhají homologaci a nesmí překračovat přesně definované hlukové hranice. Upevnění koncovky je prováděno pomocí objímky z vhodného materiálu pomocí pružin.



Obr. 25. Karbonová objímka výfuku [18]



### 5.2.3 Motocyklové doplňky

Jedním z dalších využití těchto materiálů je výroba součástí sloužících jako ochranný a designový prvek. Tyto součásti chrání jednotlivé části motocyklu, případně kamuflují poškozené materiály a dodávají tak jednotlivým částem nový vzhled.



Obr. 26. Ochranný kryt motoru [19]

Některé součásti motocyklu, jako například kryt řetězu či nášlapy stupaček, lze také nahradit karbonovými díly. Jiné lze kombinovat s ostatními materiály a karbonový povrch tak tvoří pouze designový prvek součásti. Příkladem mohou být například zrcátka či blinkry.



#### 5.2.4 Motocyklové vybavení

Velké množství výrobců motocyklového příslušenství používá při výrobě uhlíkové materiály. Jedná se například o skořepiny motocyklových přileb či chrániče vkládané do koženého a textilního oblečení. Využívá se také pohledové stránky tohoto materiálu.



Obr. 27. Motocyklová helma LS2 FF 323 Arrow C Carbon [20]

Cena těchto součástí několikanásobně přesahuje cenu standardního vybavení. Jedná se však o exkluzivní výrobky a tudíž spadají do vysoce žádané kategorie zboží, za které jsou lidé ochotni zaplatit nemalé částky.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomová práce se zabývá experimentálním návrhem a výrobou formy pro výrobu kompozitního dílu. Kroky jednotlivých bodů obsažených v diplomové práci lze dále rozdělit do následujících bodů:

- Navrhnutí modelu pro danou součást pomocí papírové šablony a následné vytvoření rozvinutého tvaru z plechu.
- Výroba výrobní formy a ověřovací součásti s využitím technologie vakuového lisování předimpregnované tkaniny.
- Porovnání jednotlivých materiálových složení a výběr vhodné technologie pro výrobu součásti.
- Experimentální testování materiálu při tepelně zatížených a tepelně nezatížených podmínkách dle vybraných norem.
- Výroba podmotorového klínu z vybraného materiálu pomocí zvolené technologie.
- Vyhodnocení výsledků a pojednání o přínosech diplomové práce.

## 7 NÁVRH MODELU PRO DANOU SOUČÁST

### 7.1 Vytvoření šablony

Jednou ze základních operací při navrhování podmotorového klínu bylo změření rozměrů rámu pomocí jednoduchých měřidel. Následně pak byl díky těmto hodnotám vytvořen soubor s potřebnou konturou pro vyřezání šablony rozvinutého tvaru laserem. Takto vzniklá šablona slouží pro ověření rozměrů a tvarů budoucího výrobku. Bylo vytvořeno několik šablon s různými rozměry a ty byly přikládány na motocykl.



Obr. 28. Tvorba šablony pomocí Laseru

Rozměry byly dále měněny až do okamžiku, kdy šablona odpovídala tvaru rámu motocyklu a bylo ji možné nasadit na motocykl bez jakýchkoliv obtíží a zásahů do konstrukce motocyklu. Šablony byly vytvářeny z papíru, který je na takovéto úkony vhodný především kvůli ceně a také díky jednoduché manipulaci s ním. Kontura šablony je zobrazena v příloze PII.



Obr. 29. Šablona připevněná na motocykl Kawasaki ZRX 1100

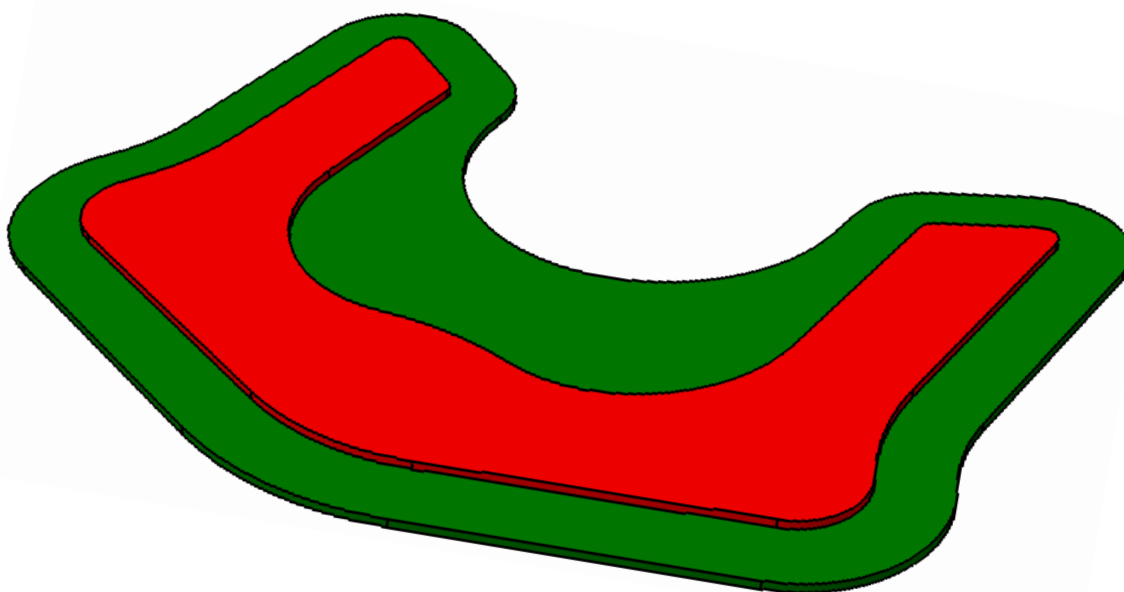
## 7.2 Vytvoření rozvinutého tvaru a volba materiálu ověřovací součásti

Po kontrole rozměrů následovalo díky vytvořené šabloně vypálení kontury ve firmě MRB Sazovice s.r.o. Pomocí programu Catia V5 byl vytvořen rovněž technologický přírůbek po celém obvodu hrany budoucího výrobku. Firma poskytla v rámci spolupráce s Ústavem výrobního inženýrství materiál zdarma.

Není zcela běžné, aby byl jako materiál formy pro kompozitní výrobek zvolen ocelový plech. Bude však výhodné tento materiál odzkoušet. Zejména kvůli finanční úspoře. Ve srovnání s umělým dřevem, nebo například duralem, jehož cena se pohybuje v částkách od 120 Kč za Kg materiálu. Vzhledem k plánované velikosti by využití plechu umožňovalo dosáhnout úsporu zhruba 10 000 Kč. Plech však není příliš vhodný pro tvarově složité formy, nicméně v kombinaci s ostatními materiály je jeho použití jistě zajímavé.

Technologický přídavek (Obr. 30), vyznačený zelenou barvou, slouží zejména pro snadné zaformování výrobku a také pro možnost vytvořit přesah, který se po odformování odstraní ořezáním. Na výrobku tak vznikne čistá hrana.

Dostatečně velká plocha technologického přídavku také umožňuje připojit tlakový ventil tak, aby nebyl položený na vyráběné součásti. Špatně umístěný ventil může způsobit deformaci plochy pod ním.



Obr. 30. Rozvinutý CAD model pro MRB Sazovice

Z vytvořeného CAD modelu byl vygenerován DWG soubor s obrysem zeleně vyznačené plochy. Tato plocha tvoří základ výrobní formy. Pro snadnější ořezání součásti po odformování byl do DWG souboru vytvořen také obrys nezvětšeného modelu – červená plocha. Obrys této plochy nebyl řezán plným výkonem, ale byl pouze vyznačen jako obrys budoucího výrobku. Tento obrys se promítne na hotovém výrobku a bude jej možné tedy ořezat. Vytvořené kontury jsou zobrazeny v příloze PIII.

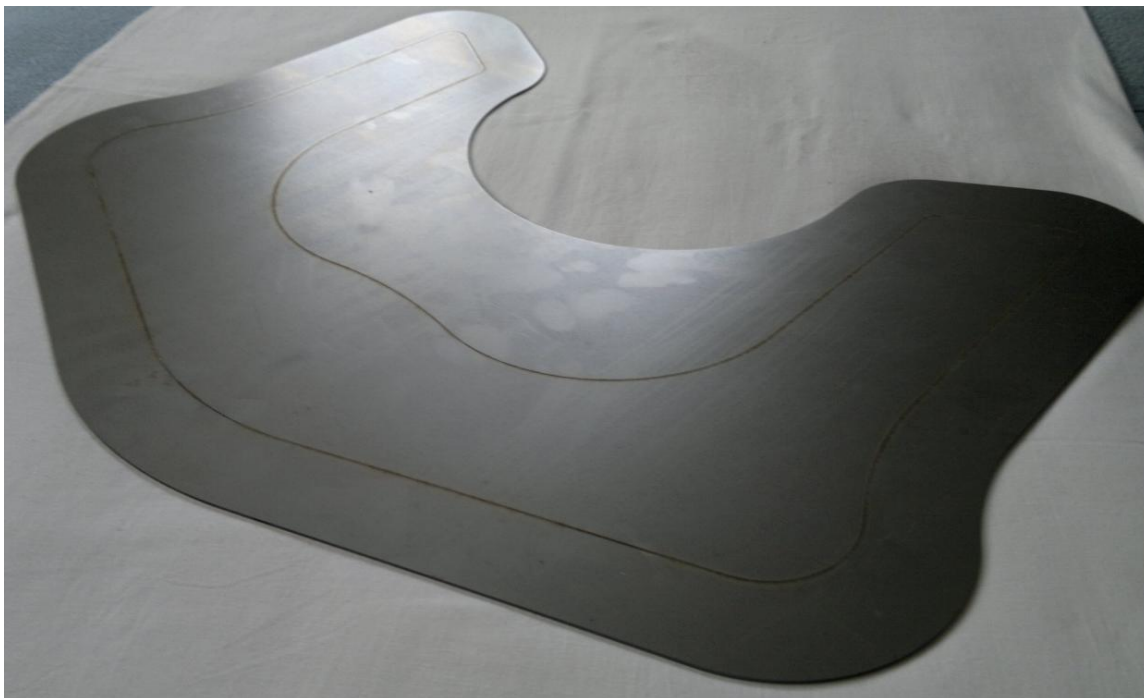




Obr. 31. Detail vytvořeného obrysu pro ořezání výrobku

Pomocí vygenerovaného souboru DWG vyřezali ve firmě v Sazovicích pracovníci na stroji Trumpf Trumatic L 3050 rozvinutý tvar formy a také tvar výrobku z materiálu EN 10130.

Tloušťka materiálu byla zvolena 1,2 mm – po předešlé konzultaci se zámečnickem. Plechy větší tloušťky by bylo obtížné jednoduše tvarovat na zakružovacím stroji. Byly by však vhodnější z hlediska tuhosti celé soustavy výrobní formy. Tloušťka 1,2 mm je tedy jakýsi kompromis, zvolený s ohledem na předešlé informace.



Obr. 32. Rozvinutý tvar formy s vytvořeným obrysem modelu



Obr. 33. Rozvinutý tvar nezvětšeného modelu

Vytvořením rozvinutého tvaru formy a modelu výrobku byl ukončen návrh modelu a následovalo vytvoření výrobní formy. Tvar nezvětšeného modelu byl vyřezán kvůli nadcházejícím operacím v zámečnické dílně.

## 8 VÝROBA VÝROBNÍ FORMY A OVĚŘOVACÍ SOUČÁSTI

### 8.1 Výroba výrobní formy

Polotovar vyrobený firmou MRB Sazovice byl zámečnickem na zakružovačce plechu zpracován do tvaru budoucího výrobku dle předem vytvořené papírové šablony. Tento tvar přesně odpovídá rozměrům výrobku, který po odformování a ořezání kompozitního materiálu získáme z výrobní formy. Také bylo možné díky tomuto mezikroku opětovně porovnat plechový model na motocyklu a zjistit případně rozměrové a tvarové nesrovnalosti.

Mimo jiné také umožnil zručnému zámečnickovi pochopit, který poloměr vytvořit jako první. Dodatečné dopasování na motocyklu bylo provedeno ručně. Plechový model výrobku posloužil jako předloha při tvarování formy, která byla vytvořena stejným postupem na zakružovačce plechu a dopasována byla podle předem vytvořeného plechového modelu výrobku.



Obr. 34. Plechový model výrobku

Tuhost takovéto formy však nebyla dostačující, a proto následovala další operace předcházející před samotnou výrobou ověřovací součásti z uhlíkových vláken. Jednalo se o vyztužení plechového těla formy tak, aby se zabezpečila její tuhost. Tato operace byla rovněž konzultována se zámečníkem a také ve firmě FORM s.r.o. Jako nejjednodušší možnost bylo vybráno vyztužení žebrem.

Vytvořením jednoduchého žebra z pásoviny celou konstrukci dostatečně zpevnilo. V zadní části formy byl také vytvořen opěrný prvek, sloužící k ustavení formy na stole.



Obr. 35. Vyztužení plechového těla formy pomocí žebra

Přivařením žebra k tělu formy pomocí CO2 sváření však způsobilo poškození pohledové části formy. Materiál se při svařování propadnul, což u svařování takto tenkých plechů není ničím neobvyklým.





Obr. 36. Poškozená pohledová plocha

Poškození pohledové plochy bylo možné předejít pouze na úkor tuhosti celé formy tak, že by žebro bylo posunuto více k přední části, nebo by mělo zcela jiný tvar. Posunutí žebra by však narušilo tuhost formy. Po konzultaci s vedoucí diplomové práce bylo rozhodnuto tato místa zcela neopravovat. Vybroušeny byly pouze velké nerovnosti. Veškeré opravy budou uskutečněny na finálním výrobku, případně až po nalakování či vůbec. Bude tedy možné porovnat, jaké povrchové nerovnosti lze vyrovnat pomocí lakování bezbarvým lakem.

Dosažení ještě lepšího povrchu formy by bylo možné pomocí leštění. Tato operace však provedena nebyla právě kvůli následnému lakování výrobku.

## **8.2 Výroba ověřovací součásti vakuovým lisováním předimpregnovaných tkanin**

Vzhledem k velikosti výrobní formy bylo nutné výrobu přesunout do firmy FORM s.r.o., která vypomohla již při konzultaci technologických přídavek a při návrhu výrobní formy. Ve firmě bylo k dispozici vybavené pracoviště, nápomocný personál a především materiál a také dostatečně velká vyhřívaná pec. Materiálový list součásti – příloha PV. Jedná se o



předimpregnovanou uhlíkovou tkaninu. Vyšší cena této tkaniny ji činí méně vhodnou pro použití při výrobě ověřovacího modelu. Je však nutno zohlednit také fakt, že firma materiál poskytla zdarma, což je také jeden z důvodů proč byl tento materiál použit už při výrobě ověřovací součásti podmotorového klínu. Vhodnějším materiálem by byl například skelný prepreg.

První operací bylo vytvoření šablony pro předběžný nástřihový plán. Stejně jako u běžných součástí vyráběných zde ve firmě byl i tento první nástřihový plán vytvořen, pro názornost a jednoduchou možnost změny pozice jednotlivých tvarů, z papíru. Finální nástřihový plán je vytvořen při výrobě finálního výrobku. Při výrobě prvního modelu se jedná pouze o vystřížení jednotlivých vrstev s pokud možno co nejmenším odpadem.

Rozvinutý tvar modelu skutečné součásti byl tedy po obvodu zvětšen o 15 mm, což umožňuje překrytí obrysové kontury vytvořené pomocí laseru na povrchu formy. Zvětšení je patrné v příloze PIV zobrazující finální nástřihový plán. Větší přídavek nástřihového plánu by znemožnil aplikaci ostatních pomocných materiálů potřebných pro zaformování výrobku.

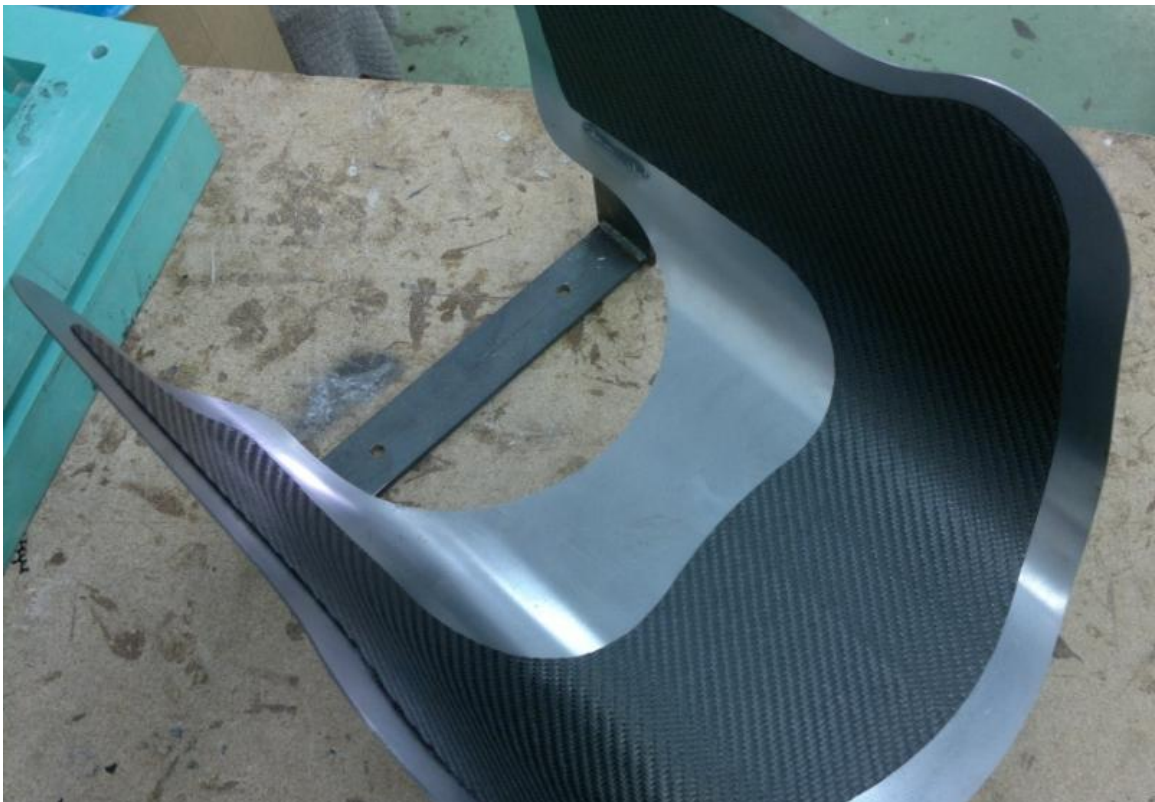


Obr. 37. Nástřihový plán využitý u ověřovací součásti

Z materiálu byly vystřižnuty díly tvořící dohromady tři vrstvy. Výsledná součást tedy bude tvořena třemi vrstvami materiálu o celkové předpokládané tloušťce 0,75 mm. Jednotlivé části vrstvy jsou naskládány tak, aby jejich spoje byly vždy v jiném místě součásti.

Předpokládaná tloušťka 0,75 je dostačující – ověřovací díl slouží pouze k vytvoření vhodného překrytí vrstev, pro ověření práce s formou a materiálem a v neposlední řadě také k opětovnému ověření tvaru dílu na motocyklu. Poslouží také jako šablona pro vyznačení otvorů, potřebných pro vyvrtání otvorů. Tyto otvory budou sloužit k upevnění výrobku na motocykl.

Jednotlivé vrstvy byly poté postupně vloženy do naseparované formy. Vrstvy bylo nutné ukládat od středu formy směrem k vyšším místům formy. Takovýmto postupným kladením byly vytlačeny pomocí obyčejného válečku všechny vzduchové mezery. Jelikož materiál na formě příliš nadržel, bylo nutné jej několikrát přitlačovat. Postupně se však podařilo všechny vrstvy do formy umístit a byla tedy připravena na další operace.



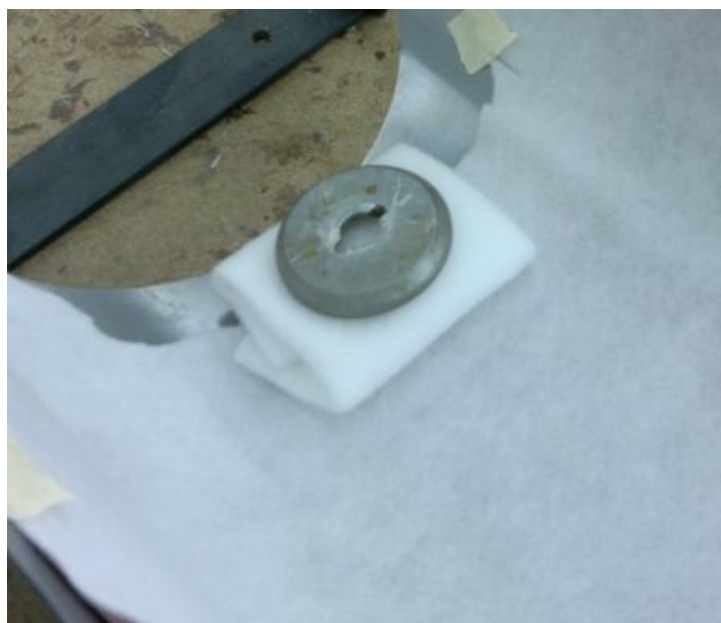
Obr. 38. Materiál vložený do formy

Potažení materiálu separační fólií, sloužící k snadnému oddělení odsávací rohože. Všechny další materiály byly upraveny na patřičný rozměr pomocí nůžek a zalamovacího nožíku.



Obr. 39. Separační fólie

Následovalo přidání odsávací rohože a spodní části vakuového ventilu umožňujícího vytvoření vakua po připojení formy k vývěvě.



Obr. 40. Část ventilu na odsávací tkanině

Předposlední krok spočíval v připevnění vakuové fólie pomocí oboustranně lepicí pásky. Z počátku dělalo problém kvalitní spojení lepicí pásky a kovového povrchu formy. Postupným přitlačováním pásky k povrchu formy a k odstranění všech netěsností se však podařilo udržet požadovanou hladinu podtlaku i po odpojení hadice vývěvy. Takto připravenou formu bylo možné dále vložit do vyhřívané pece. Hadice vývěvy je připojena během celého technologického procesu.

Technologické podmínky vytvrzovacího procesu byly stanoveny dle technického listu použitého materiálu. Bližší informace o tepelných a časových podmínkách bohužel firma Form s.r.o. neuvádí. Součást byla totiž vytvrzována spolu s jinými díly a podmínky při jejich vytvrzování spadají pod firemní tajemství.



Obr. 41. Připravený a zavakuovaný materiál ve formě





Obr. 42. Forma ve vyhříváné peci připravená na připojení hadice

### 8.3 Vytvořený a ořezaný ověřovací model

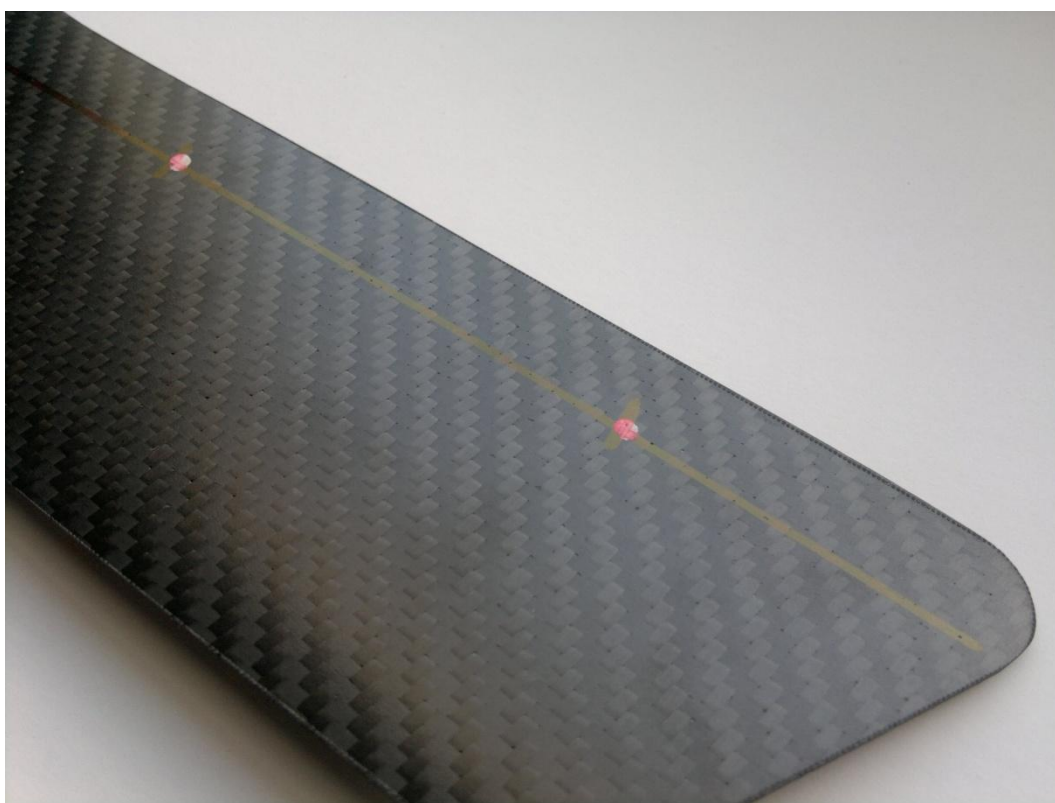
Dle technologických podmínek uvedených v předešlém kroku forma podstoupila program ve vyhříváné peci, což způsobilo vytvrzení pryskyřic obsažených v tkanině. Takto vytvrzený výrobek tedy získal vlastnosti dílu vytvořeného z uhlíkových vláken. Pomocí předem vytvořeného obrysu byl díl pracovníky ve firmě Form s.r.o. ořezán. Toto ořezání bylo přenecháno profesionálům především z bezpečnostních důvodů. Částičky vzniklé při ořezávání mají totiž vysoce dráždivý charakter a je tedy nutné použít kvalitně odvětrávaných prostor a také velmi kvalitní ochranné pomůcky.

Po ořezání již bylo možné součást připevnit na motocykl. Na připevněné součásti byly vyznačeny rozměry pro vyvrtání otvorů průměru 10 mm. Vyznačení otvorů na rozvinutém tvaru je patrné v příloze PVI. Vyznačením otvorů byla ukončena výroba prototypové součásti.





Obr. 43. Prototyp připevněný na motocykl



Obr. 44. Vyznačení otvorů na prototypu

## 9 MOŽNOSTI MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ A TECHNOLOGIE PRO DANÝ DÍL

### 9.1 Vakuové lisování předimpregnovaných tkanin

Vzhledem k využití technologie vakuového lisování a také tvaru výrobní formy se jeví jako nejvhodnější materiál předimpregnovaná uhlíková tkanina, která byla využita již při výrobě prototypu součástí. Případně lze využít předimpregnovanou skelnou tkaninu. Tyto různé tkaniny lze také kombinovat a vytvořit tak díl tvořený levnějším materiálem s designovou pohledovou stranou, vytvořenou jiným vhodným materiálem.

#### 9.1.1 Předimpregnovaná uhlíková tkanina

Použití uhlíkové tkaniny je vhodné zejména kvůli dobrému modulu pružnosti a vysoké pevnosti i za vyšších teplot, kterým bude nárazově díl vystaven vzhledem k jeho umístění v blízkosti svodů výfukového systému motocyklu. V těsné blízkosti svodů bylo naměřeno maximálně 120 °C. Materiál také vykazuje výborné vlastnosti při dynamickém namáhání, kterému bude výrobek při jízdě vlivem vibrací vystaven.

#### 9.1.2 Předimpregnovaná skelná tkanina

Skelná vlákna jsou oproti vláknům uhlíkovým izotropní. Mají tedy stejné vlastnosti v podélném a příčném směru. Tepelné zatížení nesnižuje hodnoty mechanických vlastností. Jedná se o levnější materiál, který svými materiálovými hodnotami plně vyhovuje požadavkům.

#### 9.1.3 Kombinace materiálů

Kombinací dvou výše uvedených materiálů lze vytvořit výrobek s nízkou hmotností, dostatečnými mechanickými vlastnostmi a také s přijatelnou cenou. Více namáhána místa lze vyztužit uhlíkovými vlákny. Pohledovou plochu výrobku může tvořit také aramidová tkanina. Kombinace materiálů se tedy jeví jako nejvhodnější volba.

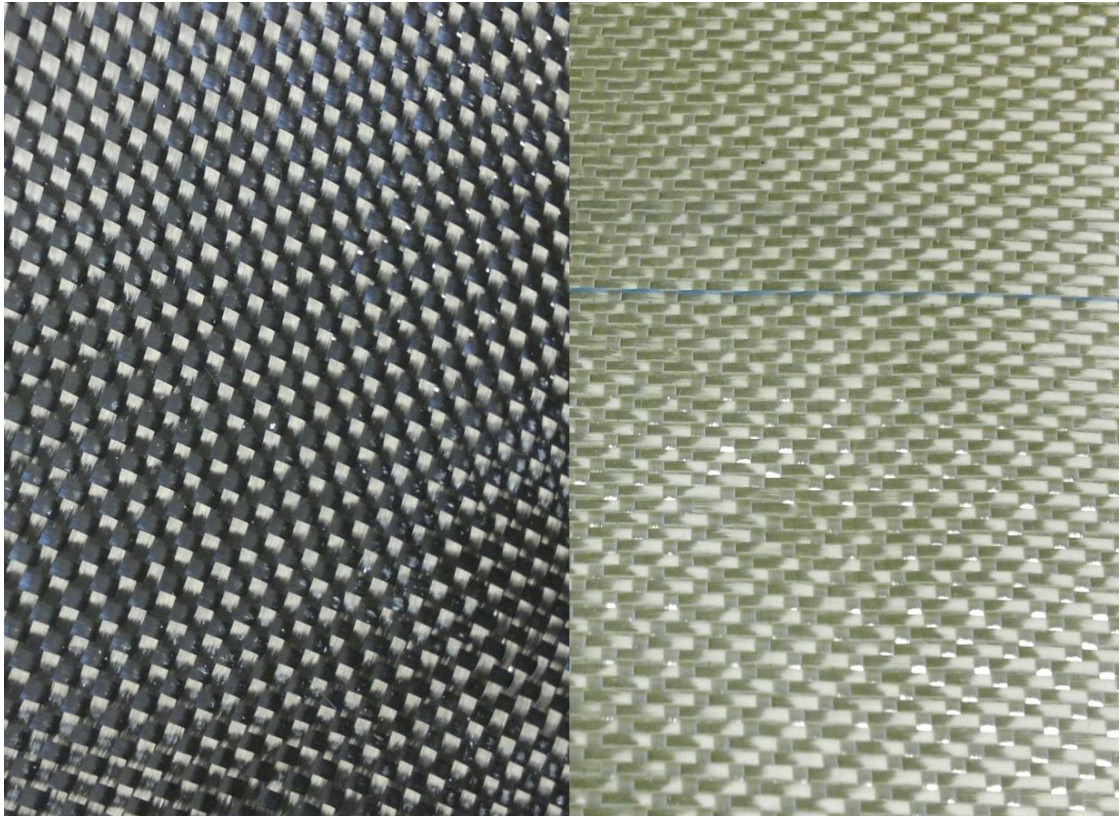


Obr. 45. Aramidová pohledová plocha

## 9.2 Vakuová infuze

Konstrukce formy také umožňuje možnost využití tkaniny v kombinaci s epoxidovou pryskyřicí s nižší viskozitou. Zde je využito technologie vakuové infuze a ručního kladení a následného prosycení zavakuovaných tkanin pomocí pryskyřice. Další využití této technologie při aplikaci na danou součást nebyly dále zkoumány z důvodů časových možností.





Obr. 46. Uhlíková a skelná tkanina

### 9.3 Volba technologie a materiálu

Volba technologie a materiálu byla nejvíce ovlivněna možnostmi, při kterých byla forma a model navrhovány. Technologie vakuové infuze nebyla vhodná z několika důvodů. Ve spolupráci s firmou Form s.r.o. byla k dispozici předimpregnovaná uhlíková tkanina. Použití takovéto tkaniny technologie vakuové infuze neumožňuje, proto byla zvolena technologie vakuového lisování předimpregnované tkaniny.

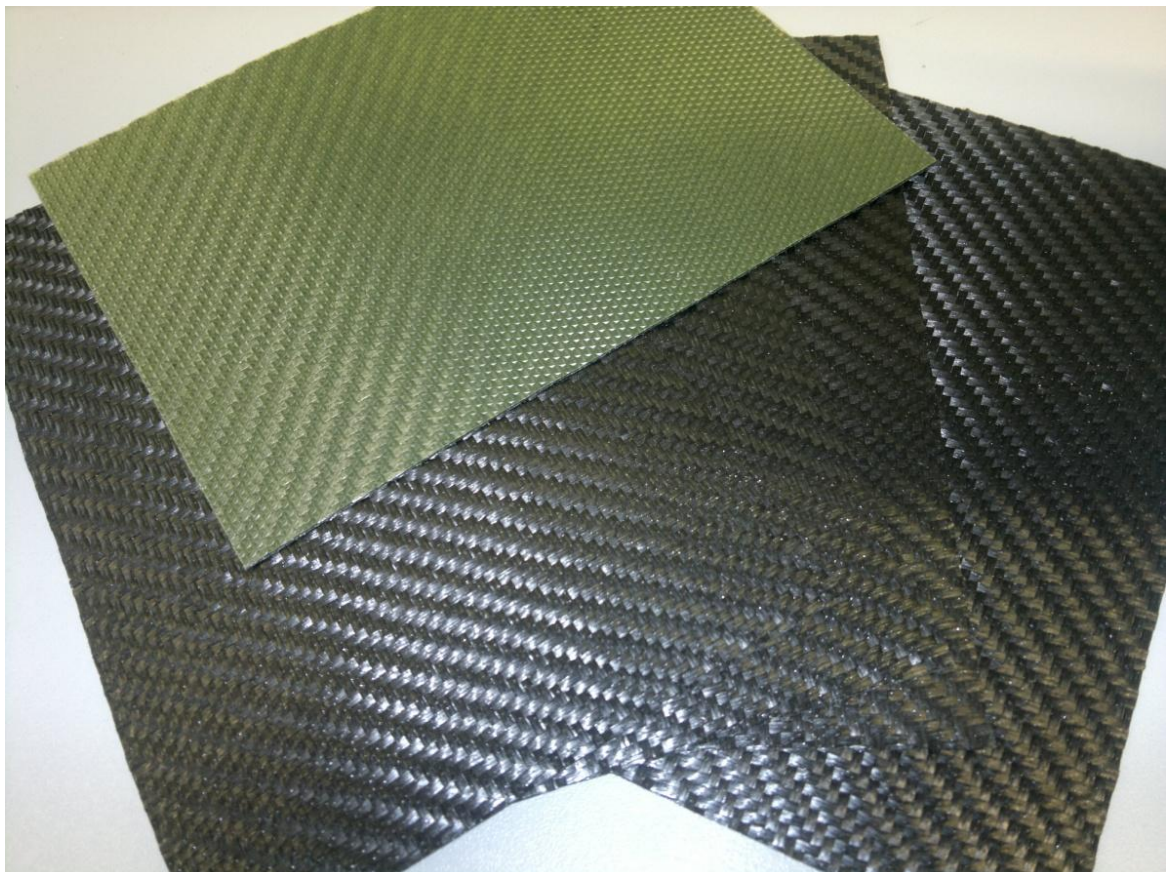
Materiálovým požadavkům uhlíková tkanina plně vyhovovala a bylo tedy možné ji použít. V kombinaci se skelnou tkaninou by dále bylo možné redukovat náklady na výrobu součástí.

## 10 EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ

Dle doporučených norem bylo provedeno experimentální testování. Pomocí tohoto testování bylo možné vyhodnotit vlastnosti a chování vybraného materiálu. Jednotlivé zkoušky byly prováděny na tepelně zatížených a tepelně nezatížených vzorcích.

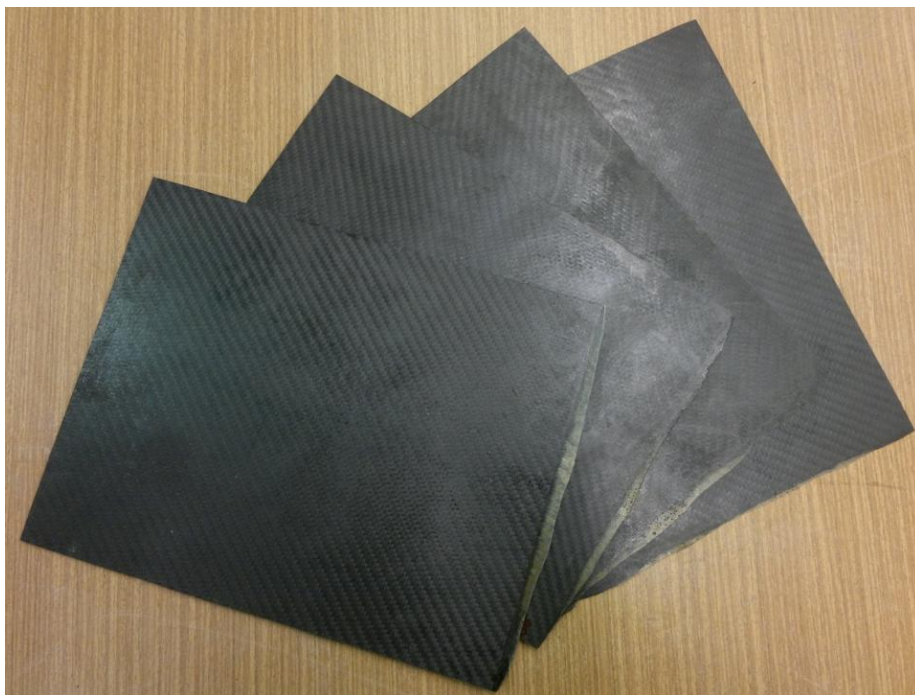
### 10.1 Lisování a příprava vzorků

Prvním krokem při testování vzorků bylo vytvoření destiček z vybraného materiálu. Bylo tedy nutné je vylisovat pomocí laboratorního lisu. Byly zvoleny čtyři počty vrstev. Konkrétně pak byly vzorky tvořeny 4, 6, 8 a 12 vrstvami materiálu.



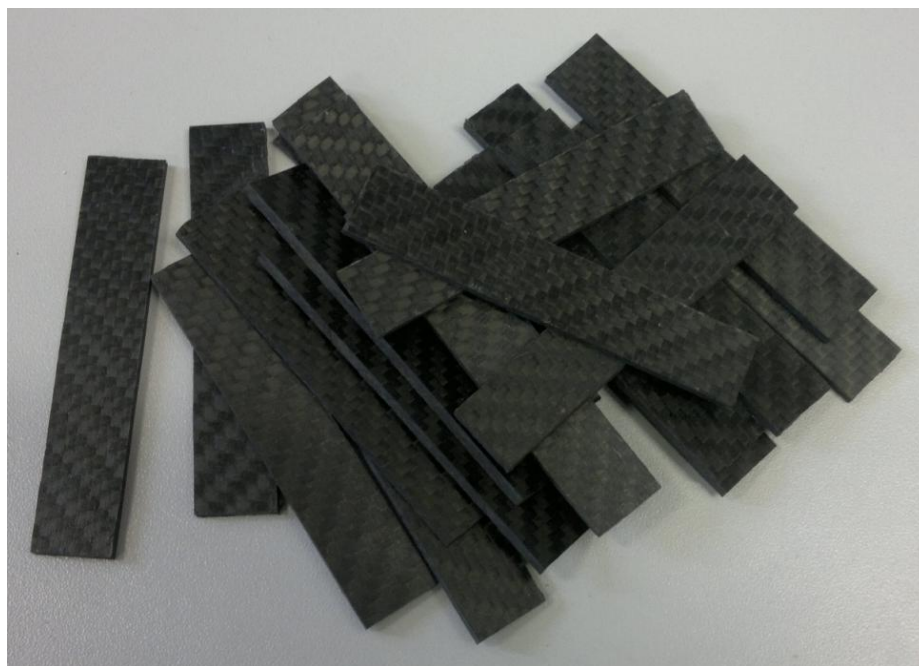
Obr. 47. Připravený materiál pro výrobu destiček





Obr. 48. Vylisované destičky

Destičky byly lisovány mezi železnými deskami. Po odformování bylo nutné destičky zatížit, aby se vlivem ochlazení tvarově nezdeformovaly. Jednotlivé destičky byly následně ve školních dílnách rozřezány dle doporučených norem na jednotlivé vzorky.



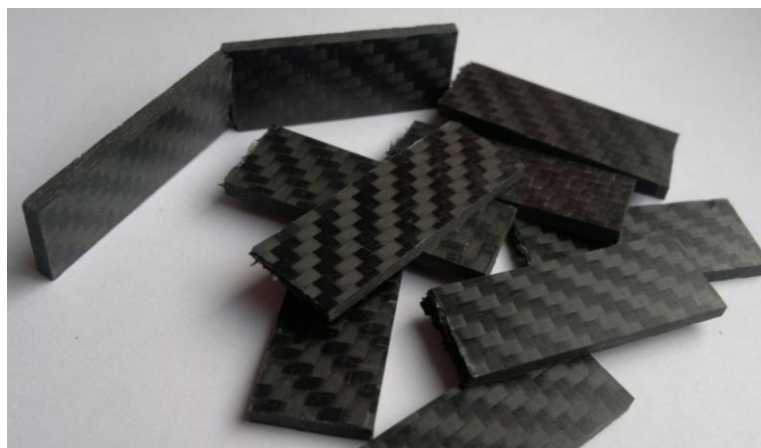
Obr. 49. Nařezané vzorky

## 10.2 Zkouška ohybem

Při zkoušce ohybem byl zkušební vzorek umístěn na dvou podpěrách. Uprostřed tohoto vzorku pak působí zatěžující síla. Jedná se tedy o tříbodovou zkoušku ohybem. Zkouška ohybem byla prováděna při tepelně nezatížených a tepelně zatížených podmínkách. Při zkoušce se zvýšenou teplotou bylo nutné vzorky zahřívat v tepelné komoře. Zkouška byla prováděna dle normy ISO 14125. Norma pro ohybovou zkoušku je uvedena v doporučené literatuře [21]. Hodnoty pro vyhodnocení ohybové zkoušky jsou uvedeny v příloze PVII.



Obr. 50. Tepelná komora zkušebního zařízení



Obr. 51. Vzorky materiálů po provedení zkoušky

### 10.2.1 Tepelně nezatížený materiál

Zkouška materiálu tepelně nezatíženého byla provedena při teplotě 23 °C. Jednotlivé vzorky byly postupně vkládány do testovacího stroje. Bylo provedeno měření a zhodnocení naměřených výsledků. Programu TextXpert II vyhodnotil průměrnou hodnotu  $\bar{x}$ , směrodatnou odchylku  $s$  a chybu měření  $\bar{s}$ .

Tab. 3. Naměřené hodnoty pro 4 vrstvy, 23 °C

Počet vrstev - 4	E [MPa]	$\sigma_{\text{Max}}$ [MPa]	$\epsilon_{\sigma\text{Max}}$ [%]	$W_{\sigma\text{Max}}$ [N.mm]
Počet měření - 10				
$\bar{x}$	56 500	555,0	1,6	662,0
$s$	7 170	45,7	0,2	98,0
$\bar{s}$	12 690	8,2	10,1	14,8

Tab. 4. Naměřené hodnoty pro 6 vrstev, 23 °C

Počet vrstev - 6	E [MPa]	$\sigma_{\text{Max}}$ [MPa]	$\epsilon_{\sigma\text{Max}}$ [%]	$W_{\sigma\text{Max}}$ [N.mm]
Počet měření - 10				
$\bar{x}$	53 400	791,0	2,1	1 884,0
$s$	944	16,9	0,1	90,5
$\bar{s}$	1 770	2,1	3,6	4,8

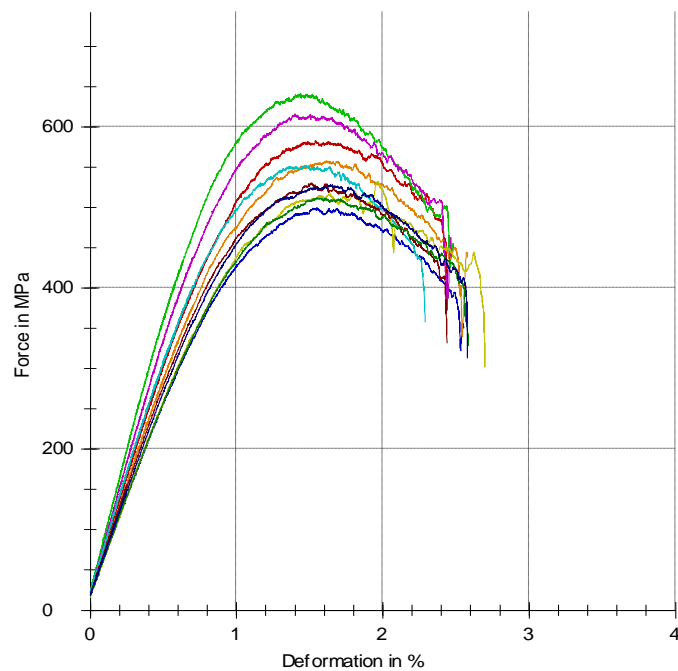
Tab. 5. Naměřené hodnoty pro 8 vrstev, 23 °C

Počet vrstev - 8	E [MPa]	$\sigma_{\text{Max}}$ [MPa]	$\epsilon_{\sigma\text{Max}}$ [%]	$W_{\sigma\text{Max}}$ [N.mm]
Počet měření - 10				
$\bar{x}$	50 900	866,0	2,3	2 591,6
$s$	7 060	69,7	0,3	363,9
$\bar{s}$	13 870	8,0	15,3	14,0

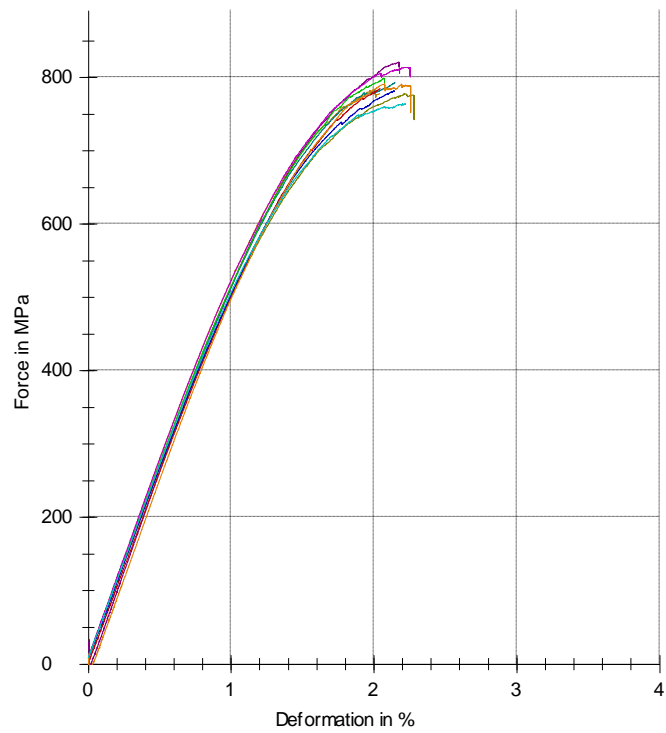
Tab. 6. Naměřené hodnoty pro 12 vrstev, 23 °C

Počet vrstev - 12	E [MPa]	$\sigma_{\text{Max}}$ [MPa]	$\varepsilon_{\sigma\text{Max}}$ [%]	$W_{\sigma\text{Max}}$ [N.mm]
Počet měření - 10				
$\bar{x}$	36 400	799,0	2,4	3 618,9
s	1 740	56,9	0,2	452,6
$\bar{s}$	4 780	7,1	6,2	12,5

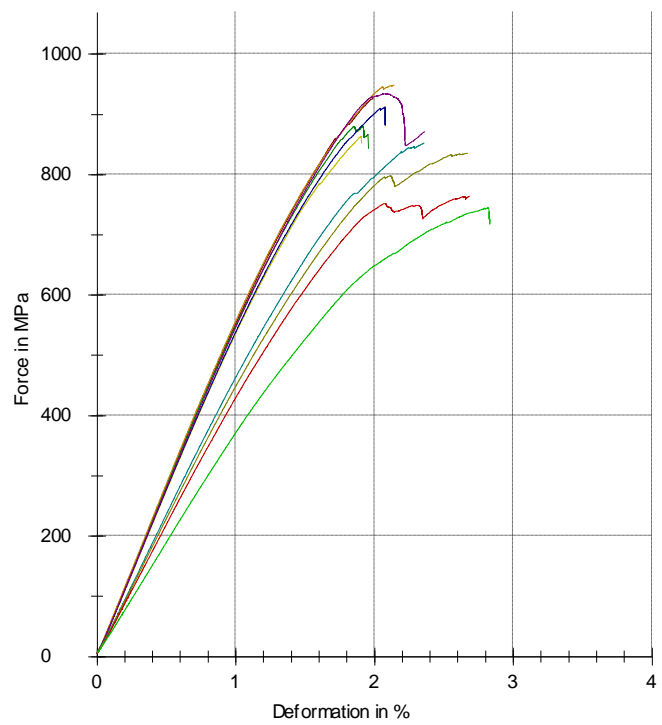
Pomocí programu TextXpert II byly získány grafy závislosti napětí  $\sigma$  [MPa] na poměrné deformaci  $\varepsilon$  [%].



Graf. 1. Graf zatěžování – 4 vrstvy, 23 °C

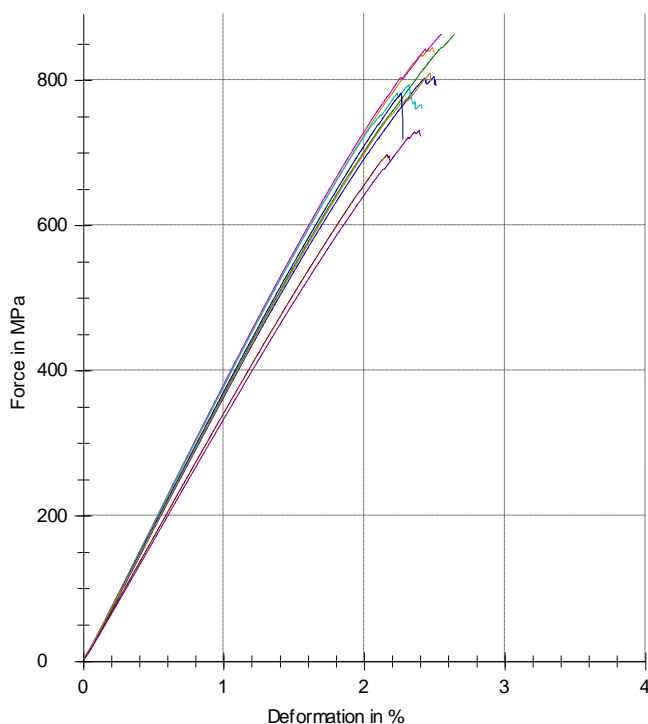


Graf. 2. Graf zatěžování – 6 vrstev, 23 °C



Graf. 3. Graf zatěžování – 8 vrstev, 23 °C





Graf. 4. Graf zatěžování – 12 vrstev, 23 °C

### 10.2.2 Tepelně zatížený materiál

Zkouška materiálu tepelně zatíženého byla provedena při teplotě 100 °C v tepelné komoře testovacího stroje. Bylo provedeno měření a vyhodnocení jednotlivých výsledků obdobně jako u tepelně nezatížených vzorků materiálu.

Tab. 7. Naměřené hodnoty pro 4 vrstvy, 100 °C

Počet vrstev - 4	E [MPa]	$\sigma_{\text{Max}}$ [MPa]	$\epsilon_{\sigma\text{Max}}$ [%]	$W_{\sigma\text{Max}}$ [N.mm]
Počet měření - 10				
$\bar{x}$	31 600	417,0	1,5	482,0
s	10 700	99,2	0,2	118,1
$\bar{s}$	33 990	23,8	11,3	24,5

Tab. 8. Naměřené hodnoty pro 6 vrstev, 100 °C

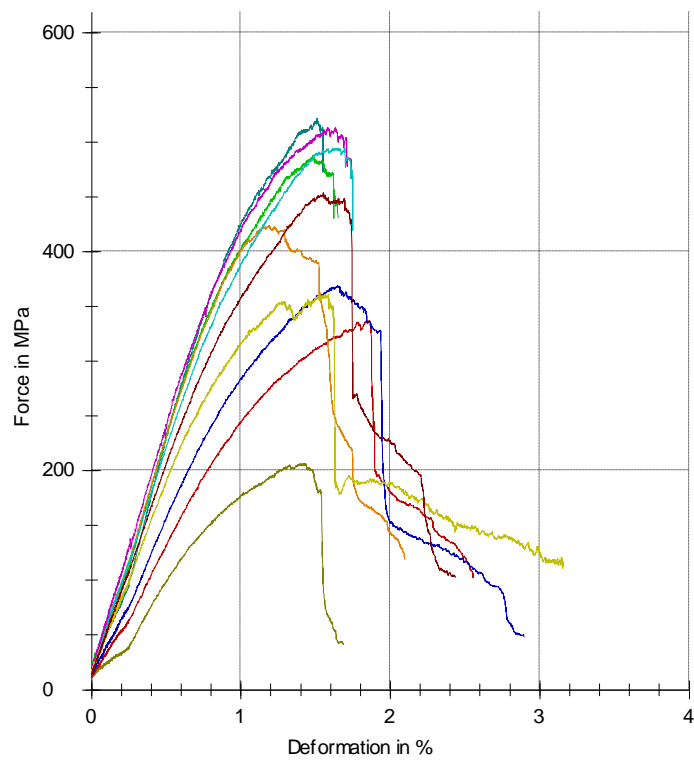
Počet vrstev - 6	E [MPa]	$\sigma_{\text{Max}}$ [MPa]	$\varepsilon_{\sigma\text{Max}}$ [%]	$W_{\sigma\text{Max}}$ [N.mm]
Počet měření - 10				
$\bar{x}$	44 000	576	1,5	853,6
s	4 580	69,4	0,1	121,1
$\bar{s}$	10 400	12,1	6,1	14,2

Tab. 9. Naměřené hodnoty pro 8 vrstev, 100 °C

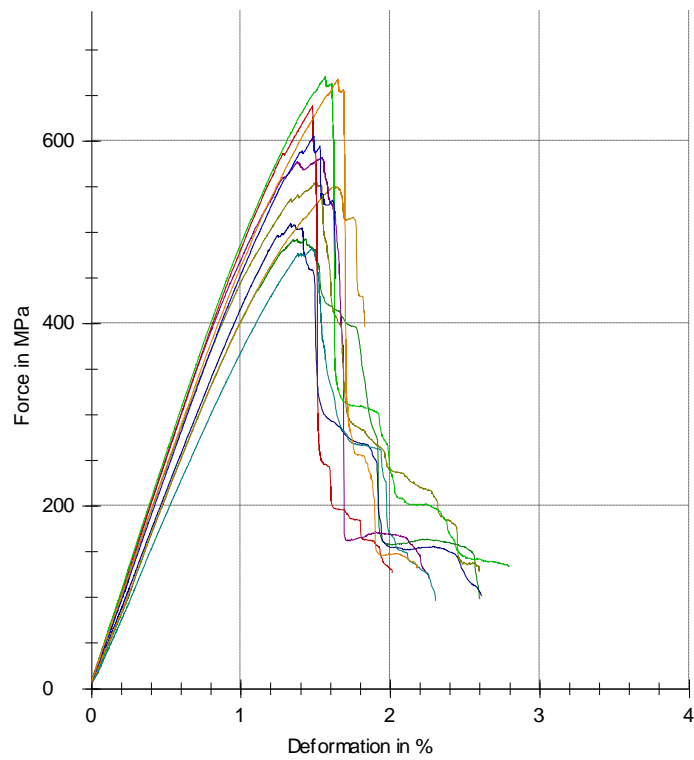
Počet vrstev - 8	E [MPa]	$\sigma_{\text{Max}}$ [MPa]	$\varepsilon_{\sigma\text{Max}}$ [%]	$W_{\sigma\text{Max}}$ [N.mm]
Počet měření - 10				
$\bar{x}$	47 200	650,0	1,5	1 234,0
s	2 420	26,1	0,1	87,0
$\bar{s}$	5 130	4,02	3,93	7,05

Tab. 10. Naměřené hodnoty pro 12 vrstev, 100 °C

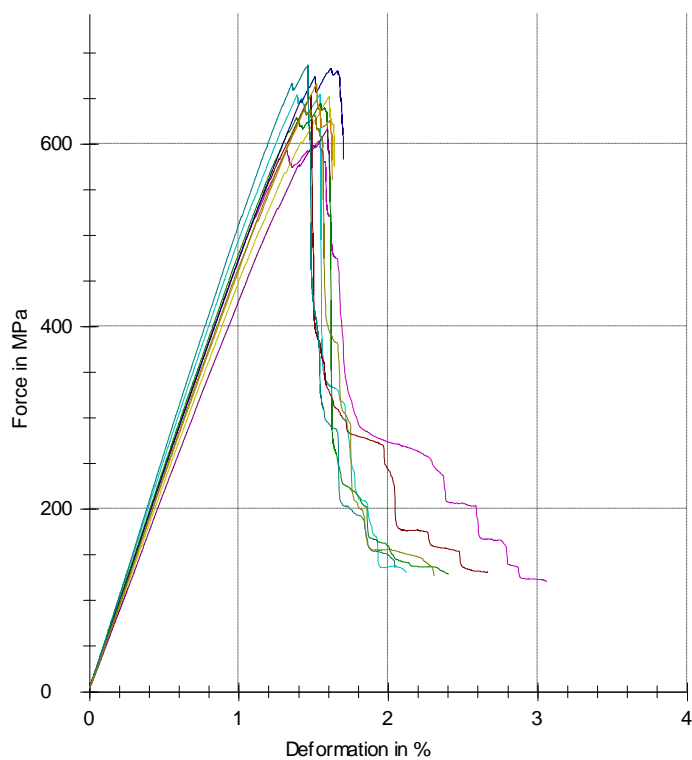
Počet vrstev - 12	E [MPa]	$\sigma_{\text{Max}}$ [MPa]	$\varepsilon_{\sigma\text{Max}}$ [%]	$W_{\sigma\text{Max}}$ [N.mm]
Počet měření - 10				
$\bar{x}$	48 300	691,0	1,5	1839,5
s	2 810	31,1	0,1	105,62
$\bar{s}$	5 820	4,5	3,44	5,74



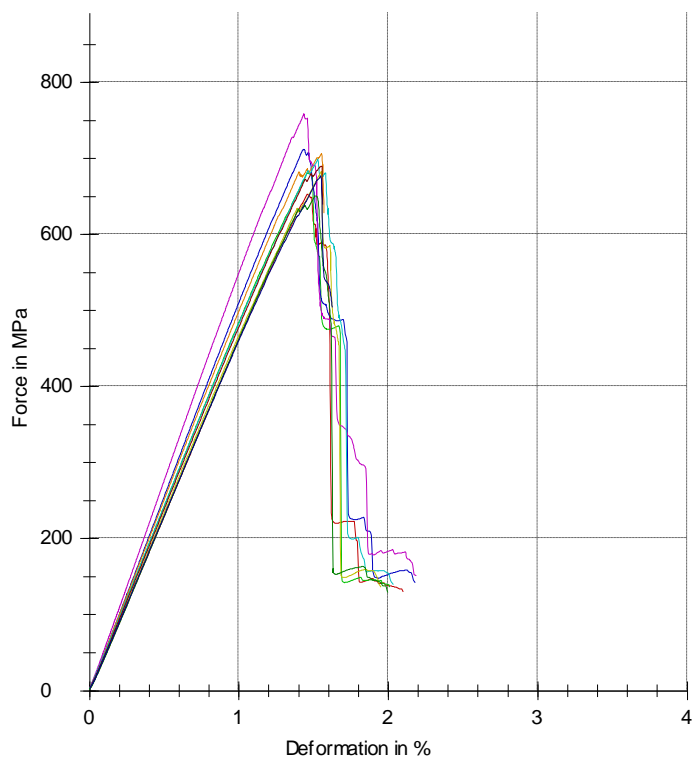
Graf. 5. Graf zatěžování – 4 vrstvy, 100 °C



Graf. 6. Graf zatěžování – 6 vrstev, 100 °C



Graf. 7. Graf zatěžování – 8 vrstev, 100 °C



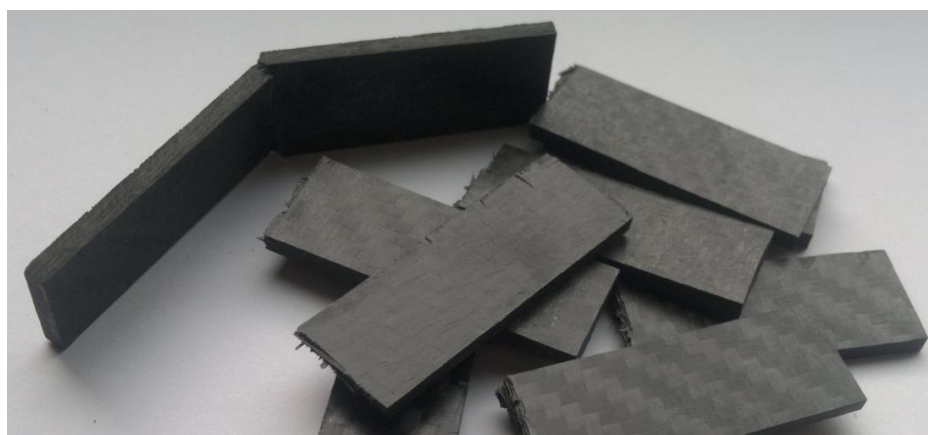
Graf. 8. Graf zatěžování – 12 vrstev, 100 °C

### 10.3 Rázová zkouška

Rázová zkouška byla provedena na stroji CEAST Resil Impactor Junior. Zkouška se využívá ke zjišťování houževnatosti materiálů. Měřítkem je energie potřebná k porušení zkušebního tělesa. Zkouška byla prováděna dle normy EN ISO 179-2. Norma pro rázovou zkoušku je uvedena v doporučené literatuře [22]. Hodnoty pro vyhodnocení rázové zkoušky jsou uvedeny v příloze PVIII.



Obr. 52. Zkušební stroj CEAST



Obr. 53. Zkušební tělíska po přeražení



### 10.3.1 Tepelně nezatížený materiál

Zkouška tepelně nezatíženého materiálu byla provedena při teplotě 23 °C. Bylo provedeno měření a vyhodnocení jednotlivých výsledků. Dále byla určena průměrná hodnota  $\bar{x}$  a směrodatnou odchylka  $s$ .

Tab. 11. Naměřené hodnoty pro 4 vrstvy, 23 °C

n = 10	Fm [N]	Am [kJ/m <sup>2</sup> ]	Ab [kJ/m <sup>2</sup> ]
<b>4 Vrstvy</b>			
$\bar{x}$	700,0	92,6	101,6
<b>s</b>	70,3	7,2	10,1

Tab. 12. Naměřené hodnoty pro 6 vrstev, 23 °C

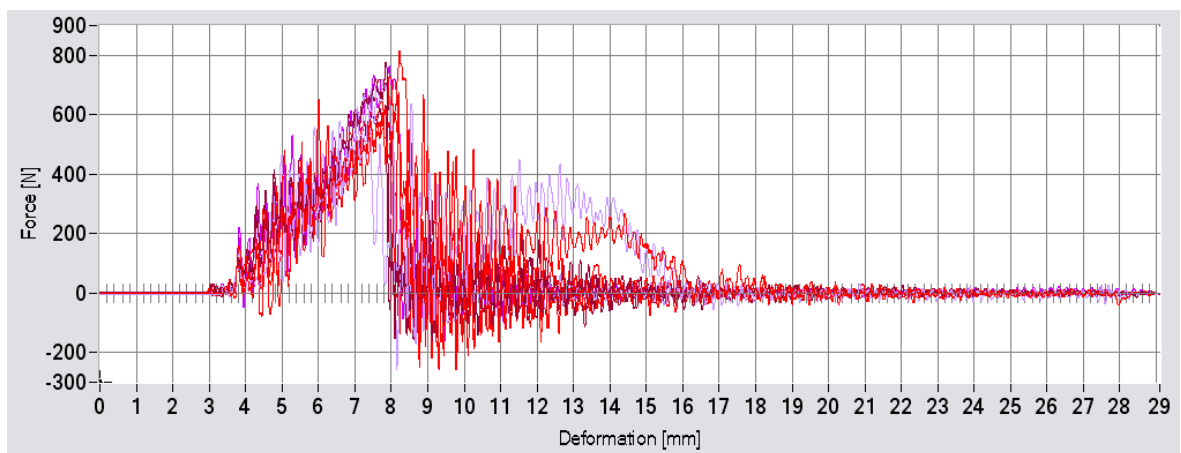
n = 10	Fm [N]	Am [kJ/m <sup>2</sup> ]	Ab [kJ/m <sup>2</sup> ]
<b>6 Vrstev</b>			
$\bar{x}$	1452,0	125,6	146,3
<b>S</b>	194,8	17,3	15,7

Tab. 13. Naměřené hodnoty pro 8 vrstev, 23 °C

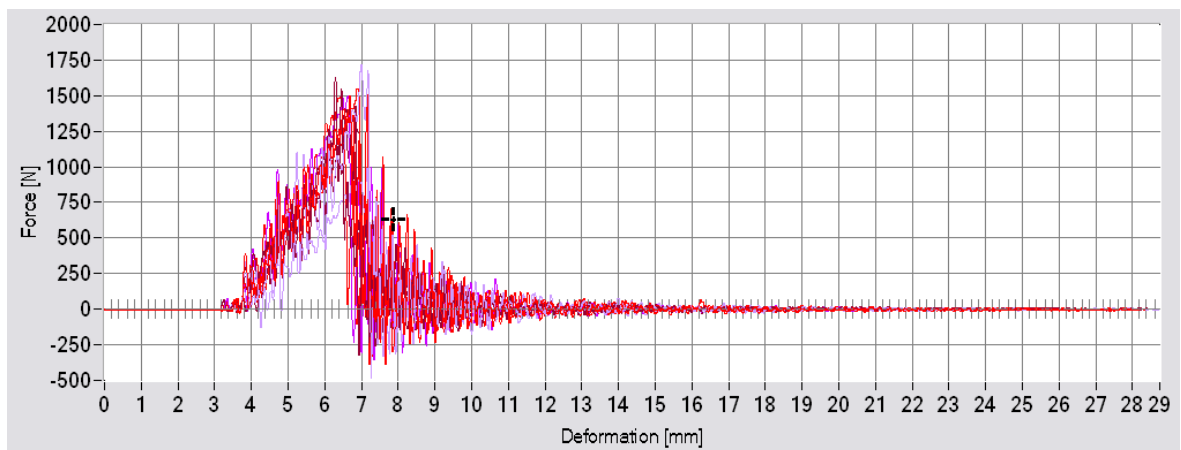
n = 10	Fm [N]	Am [kJ/m <sup>2</sup> ]	Ab [kJ/m <sup>2</sup> ]
<b>8 Vrstev</b>			
$\bar{x}$	2341,6	79,0	95,9
<b>S</b>	115,3	12,4	8,0

Tab. 14. Naměřené hodnoty pro 12 vrstev, 23 °C

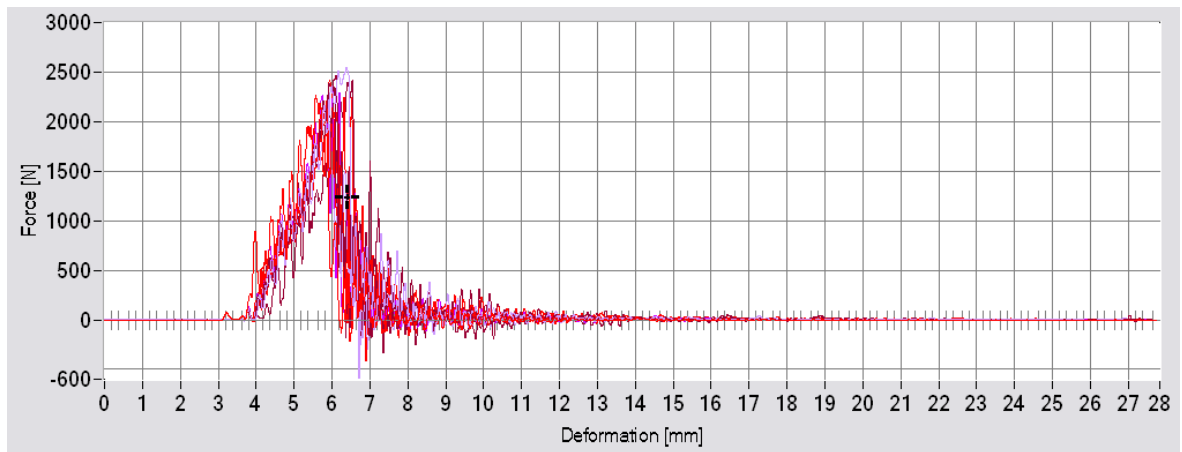
n = 10	Fm [N]	Am [kJ/m <sup>2</sup> ]	Ab [kJ/m <sup>2</sup> ]
<b>12 Vrstev</b>			
$\bar{x}$	2749,2	65,4	103,7
S	1,1	2,9	3,1



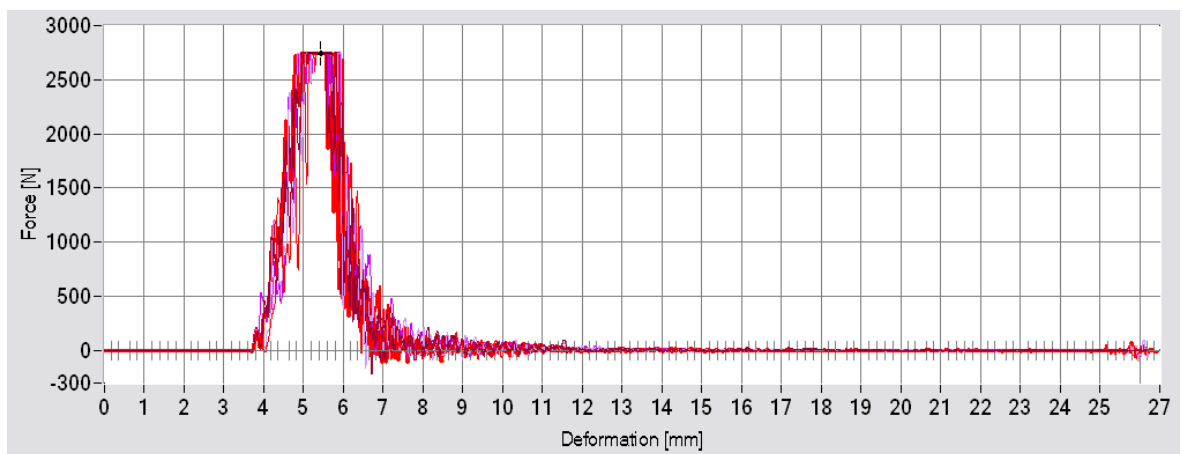
Graf. 9. Průběh rázové zkoušky – 4 vrstvy, 23 °C



Graf. 10. Průběh rázové zkoušky – 6 vrstev, 23 °C



Graf. 11. Průběh rázové zkoušky – 8 vrstev, 23 °C



Graf. 12. Průběh rázové zkoušky – 12 vrstev, 23 °C

### 10.3.2 Tepelně zatížený materiál

Zkouška materiálu tepelně zatíženého byla provedena při teplotě 100 °C a bylo využito tepelné komory, v které byl materiál ohřát a poté přemístěn do testovacího zařízení rázové zkoušky. Bylo provedeno měření a vyhodnocení jednotlivých výsledků. Dále byla určena průměrná hodnota  $\bar{x}$  a směrodatná odchylka  $s$ .

Tab. 15. Naměřené hodnoty pro 4 vrstvy, 100 °C

n = 10	Fm [N]	Am [kJ/m <sup>2</sup> ]	Ab [kJ/m <sup>2</sup> ]
<b>4 Vrstvy</b>			
$\bar{x}$	686,8	84,6	95,3
S	63,7	8,5	9,7

Tab. 16. Naměřené hodnoty pro 6 vrstev, 100 °C

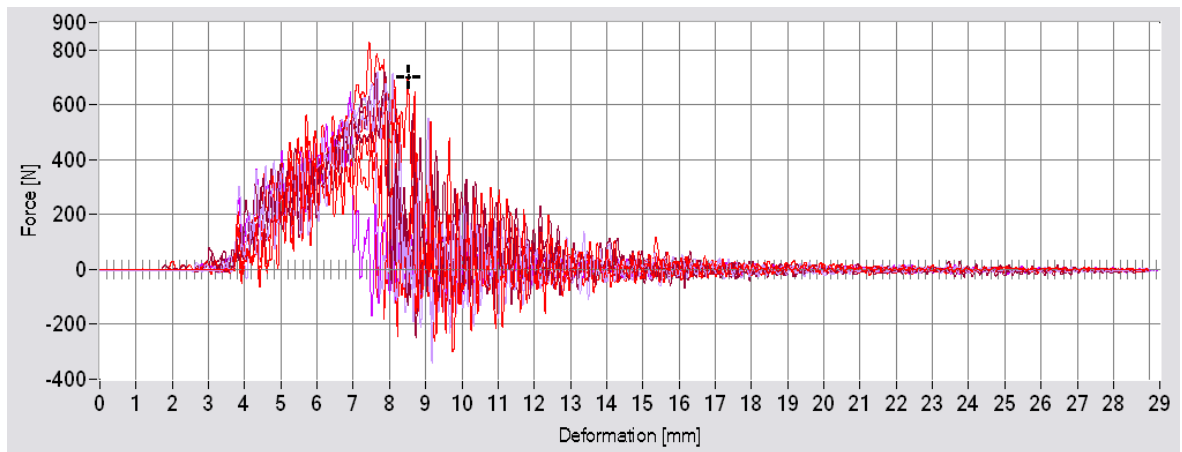
n = 10	Fm [N]	Am [kJ/m <sup>2</sup> ]	Ab [kJ/m <sup>2</sup> ]
<b>6 Vrstev</b>			
$\bar{x}$	1294,5	78,4	91,1
S	184,8	10,5	4,5

Tab. 17. Naměřené hodnoty pro 8 vrstev, 100 °C

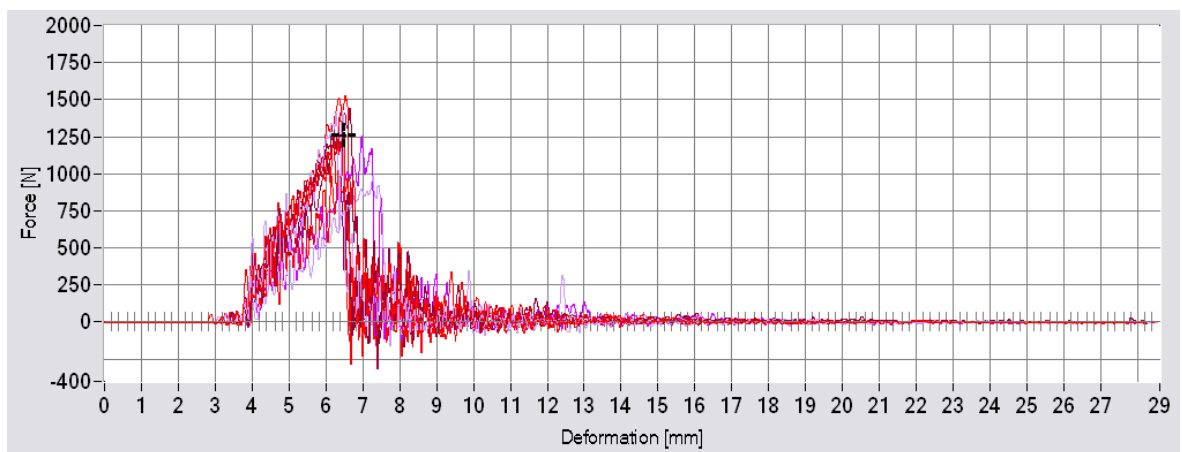
n = 10	Fm [N]	Am [kJ/m <sup>2</sup> ]	Ab [kJ/m <sup>2</sup> ]
<b>8 Vrstev</b>			
$\bar{x}$	2204,4	78,4	95,6
S	145,2	7,0	7,8

Tab. 18. Naměřené hodnoty pro 12 vrstev, 100 °C

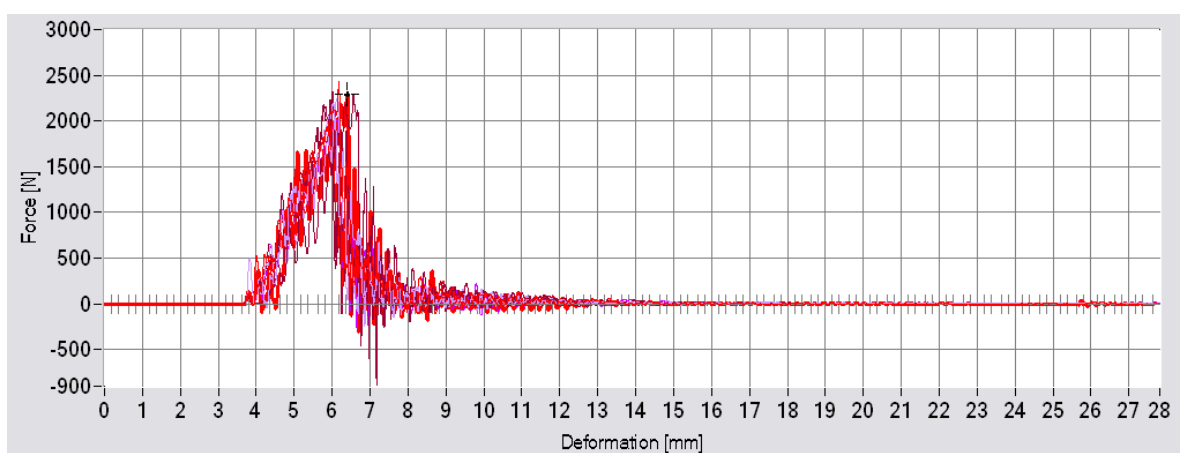
n = 10	Fm [N]	Am [kJ/m <sup>2</sup> ]	Ab [kJ/m <sup>2</sup> ]
<b>12 Vrstev</b>			
$\bar{x}$	2750,2	66,1	100,3
S	0,7	5,7	6,4



Graf. 13. Průběh rázové zkoušky – 4 vrstvy, 100 °C

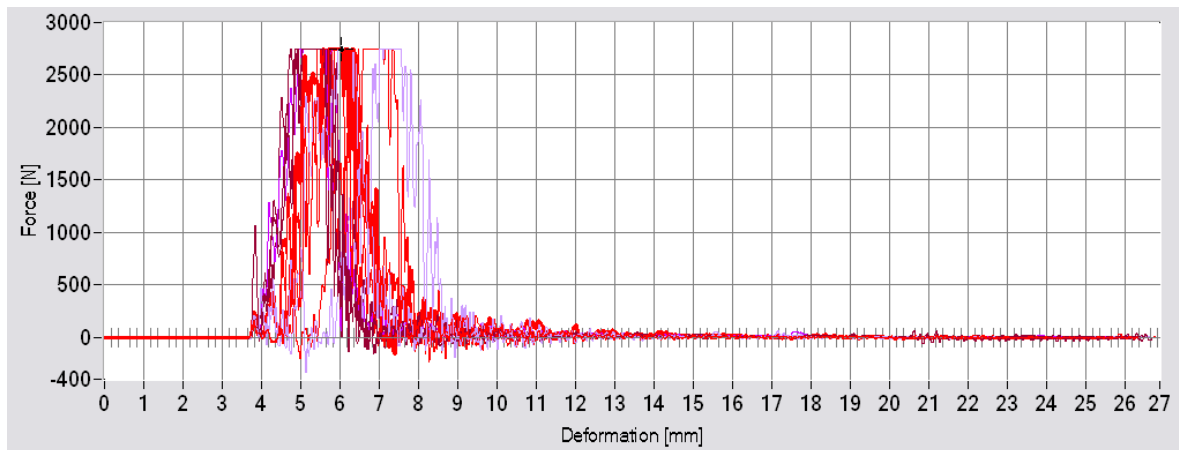


Graf. 14. Průběh rázové zkoušky – 6 vrstev, 100 °C



Graf. 15. Průběh rázové zkoušky – 8 vrstev, 100 °C





Graf. 16. Průběh rázové zkoušky – 12 vrstev, 100 °C

#### 10.4 Výběr neoptimálnějšího materiálového složení a zhodnocení výsledků

Destičky vytvořené z uhlíkového prepregu byly tvořeny různým počtem vrstev a tím se měnila i jejich tloušťka. Jednotlivé destičky však vykazovaly různé hodnoty v různých místech měření. To bylo způsobeno především lisovacím zařízením, ve kterém se vzorky vyráběly a jeho vůlemi. Rozdíly v naměřených tloušťkách byly kompenzovány měřením jednotlivých vzorků. Průměrné hodnoty tloušťky a její závislost na počtu vrstev materiálu jsou uvedeny v Tab. 19. Předpokládaná tloušťka čtyřvrstvé součásti je 1 mm.

Tab. 19. Tloušťky jednotlivých vzorků

Počet vrstev	4	6	8	12
Průměrná tloušťka destičky [mm]	0,93	1,25	1,86	2,51
Tloušťka jedné vrstvy [mm]	0,23	0,21	0,23	0,21

Z tabulky je patrné, že tloušťka součásti je úměrná počtu vrstev a dá se předpokládat, jakou tloušťku bude mít výsledný výrobek.

Výsledky tříbodové ohybové zkoušky ukazují odolnost materiálu proti přelomení. Tato odolnost platí pro vzorky tvořené čtyřmi vrstvami. Maximální napětí, poměrná deformace a práce vykonaná na mezi pevnosti se s rostoucí tloušťkou materiálu zvětšují. Jediné vybočení vykazuje modul pružnosti tepelně nezatíženého materiálu pro dvanáctivrstvý vzorek. Tato skutečnost může být způsobena chybou při lisování, či nedostatkům ve struktuře materiálu.

Porovnáním tepelně zatížených a tepelně nezatížených vzorků bylo zjištěno, jak teplota jednotlivé vzorky ovlivňuje. Největší rozdíl je patrný v práci vykonané na mezi pevnosti. Ta je u tepelně zatížených vzorků téměř dvakrát menší než u tepelně nezatížených.

Vyhodnocení rázové zkoušky ukázalo, že celková síla potřebná k přeražení tepelně zatížených vzorků se liší od síly potřebné k přeražení tepelně nezatížených vzorků pouze v desítkách N. S ohledem na podmínky, při kterých byla zkouška prováděna je však nutné brát výsledky s rezervou. Je pravděpodobné, že by síla potřebná k přeražení byla ještě menší, pokud by tepelná komora byla součástí měřicího zařízení. Jednotlivé vzorky byly přenášeny z komory a během této činnosti se jejich teplota snížila a nebyla rovna přesně 100 °.

Pro podmotorový klín by z hlediska pevnosti byl dostačující i menší počet vrstev. S ohledem na tuhost a další manipulaci byl zvolen počet osmi vrstev. Větší počet vrstev už není potřeba. Předpokládaná tloušťka výrobku je 2 mm, což plně vyhovuje požadavkům.

Vzhledem k faktu, že podmotorový klín je na rámu motocyklu zavěšený a kromě občasných rázů na něj nepůsobí žádné zatížení, bylo experimentální testování prováděno především kvůli pochopení toho, jak se materiál bude chovat za vyšších teplotních podmínek.

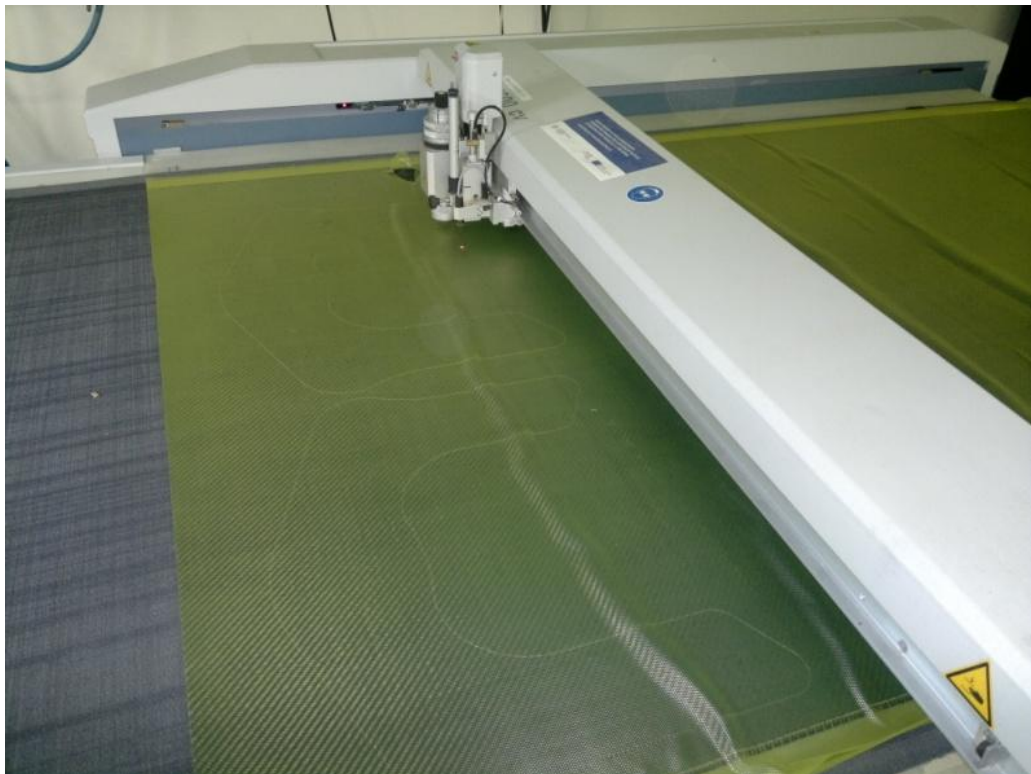
## 11 VÝROBA PODMOTOROVÉHO KLÍNU

Jako nejvhodnější technologie byla zvolena technologie vakuového lisování předimpregnované výztuže. Po stanovení vhodného počtu vrstev a s tím související tloušťky budoucího výrobku bylo tedy možné výrobu uskutečnit.

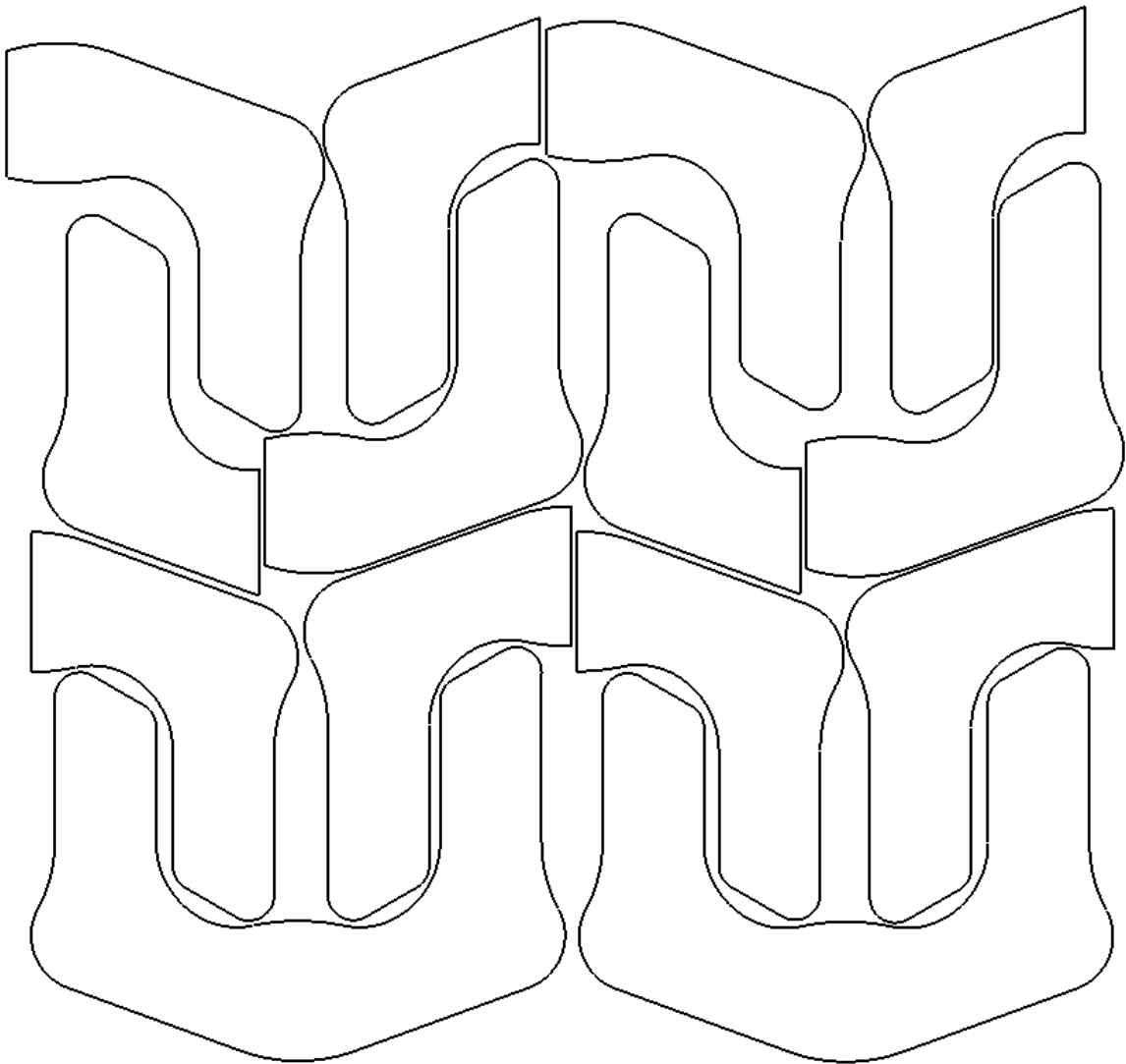
### 11.1 Vytvoření nástřihového plánu

Pomocí programu Catia V5 byl s využitím zvětšeného modelu vytvořen nástřihový plán. Model je zvětšený po celém obvodu o 15 mm. Toto zvětšení je patrné v příloze PIV a bylo využito i při nástřihovém plánu prototypové součásti. Zvětšení nebylo potřeba měnit, protože bylo dostačující.

U prototypové součásti však bylo využito papírové šablony, kdežto u finálního výrobku byl vytvořen nástřihový plán, který byl poté převeden do řezacího plotru ve firmě Form. Nástřihový plán je součástí elektronické přílohy.



Obr. 54. Řezání materiálu ve firmě Form s.r.o.



Obr. 55. Rozložení jednotlivých vrstev v nástřihovém plánu

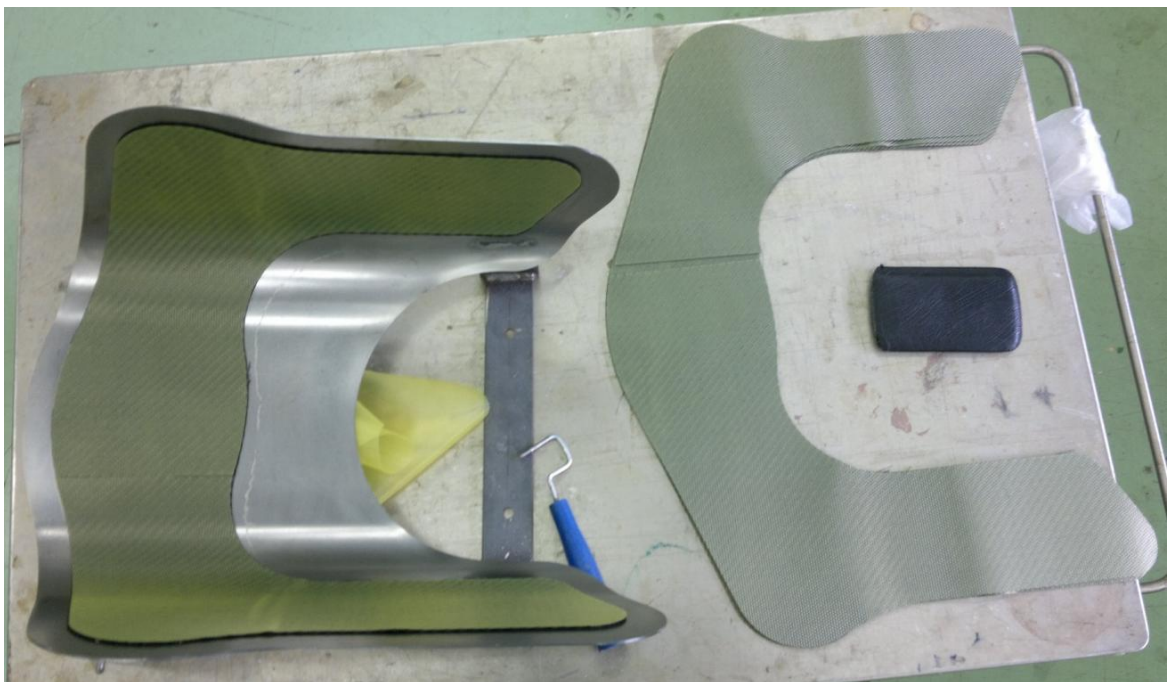
Jednotlivé vrstvy v nástřihovém plánu jsou uspořádány s ohledem na co největší využití role, ze které je materiál odvíjen. Byly vytvořeny dvě vrstvy, sloužící jako pohledové. Tyto vrstvy jsou v jednom kuse. Dalších šest vrstev je rozděleno na tři páry. Tyto jednotlivé páry se vyznačují různým umístěním spoje jednotlivých částí vrstvy. Po uložení všech vrstev jsou spoje v různých místech, což výrazně zvyšuje tuhost a pevnost celé soustavy. Nástřihový plán je vyobrazen v příloze PIV.

## 11.2 Výroba součásti

Přichystaný materiál bylo po nařezání možno vložit do formy. Forma umístěná ve venkovním skladu se však musela nejdřív připravit. Příprava spočívala v ohřátí formy na pracovní teplotu. Pro urychlení byla forma ohřívána horkovzdušnou pistolí tak, aby se její teplota vyrovnala teplotě v pracovní místnosti. S takto připravenou formou je jednodušší pracovat a jednotlivé materiály vykazují také lepší přilnavost k povrchu formy.

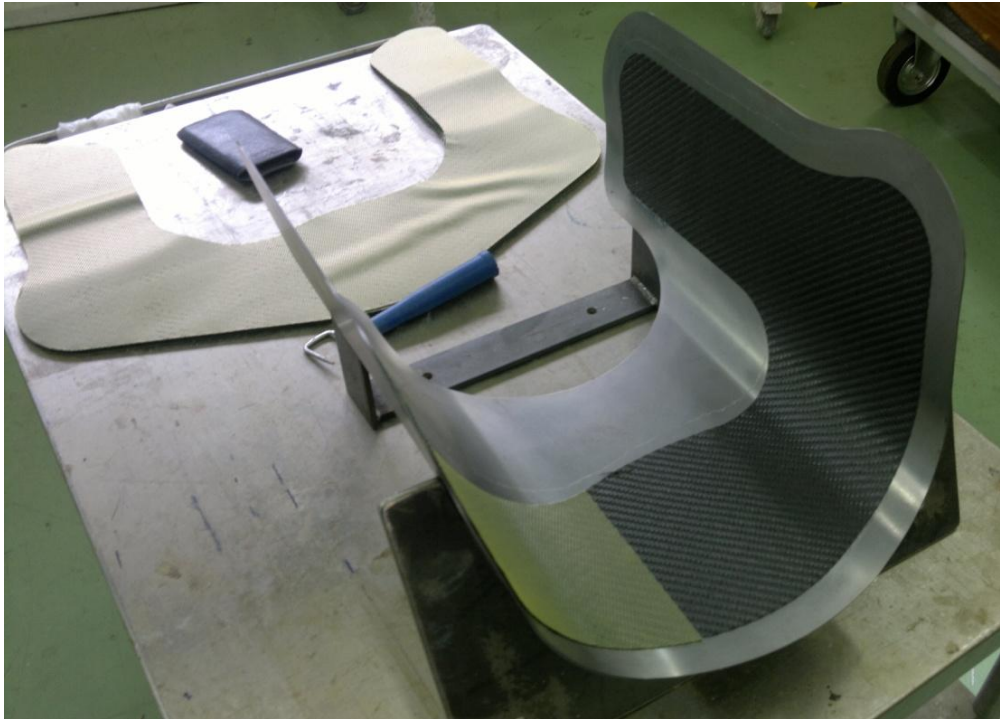
Pohledová strana formy byla ošetřena separátorem ve dvou vrstvách. Před zaschnutím byl separátor s pomocí acetonu odstraněn z míst, kde bude nalepena žlutá těsnící páska. Při výrobě prototypové součásti dělala tato místa problémy, jelikož byla také naseparována a bylo obtížné dosáhnout cílené hodnoty podtlaku.

Do naseparované formy byly dle nástřihového plánu kladeny jednotlivé vrstvy. Všechny vrstvy byly kladeny od středu formy – nejnižšího místa. Tento postup byl zvolen s ohledem na práci s materiálem. Struktura materiálu tak nebyla poškozena a nevznikala žádná místa na tkanině, která by především na pohledových stranách způsobila chyby ve struktuře tkaniny.



Obr. 56. Klazení jednotlivých vrstev do formy - 1





Obr. 57. Klázení jednotlivých vrstev do formy - 2

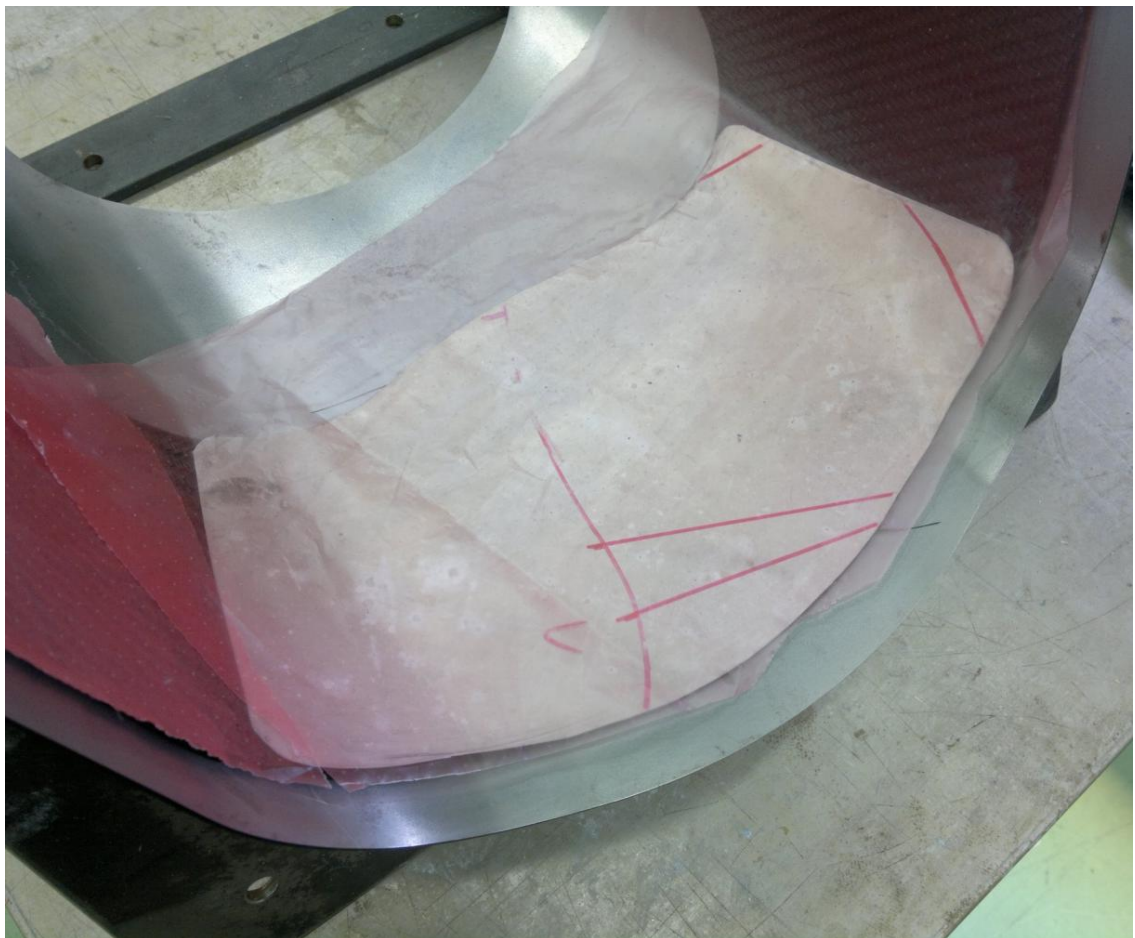
Po výrobě prototypové součásti bylo zřejmé, které plochy budou pohledové a které ne. Pokužel tato technologie výroby neumožňuje vytvořit více pohledových stran tak, jak by bylo na součástce potřeba. Pohledové jsou jen plochy, které jsou v kontaktu s povrchem formy. Toto řešení však nevyhovovalo požadavkům na finální výrobek.



Obr. 58. Vyznačení pohledových stran

Vytvoření druhé pohledové strany vyžadovalo nahradit pomocné materiály kladené na předimpregnovanou výztuž materiálem jiným. Takovéto řešení se však v praxi nevyužívá. Jako vhodný materiál se jevil například plast. Zde by však nejspíš nastal problém při vyšších teplotách, při kterých by se plast mohl začít deformovat. Pro své vlastnosti byl tedy vybrán jiný materiál. Jedná se o hliníkový plech tloušťky 0,3 mm. Z takového plechu se jednoduše vystříhne požadovaný tvar a díky své tloušťce se také přizpůsobí tvaru formy.

Po upravení tvaru plechu a vyleštění jedné z jeho stran ho bylo možné dále připravit pro vložení do formy. Během kladení jednotlivých vrstev byl tento díl celkem čtyřikrát separován. Po naseparování byl vždy na deset minut vložen do pece. Vyleštěná strana plechu vytvoří na výrobku požadovanou pohledovou plochu. Po vložení plechu na tkaninu následovalo uložení separační tkaniny.

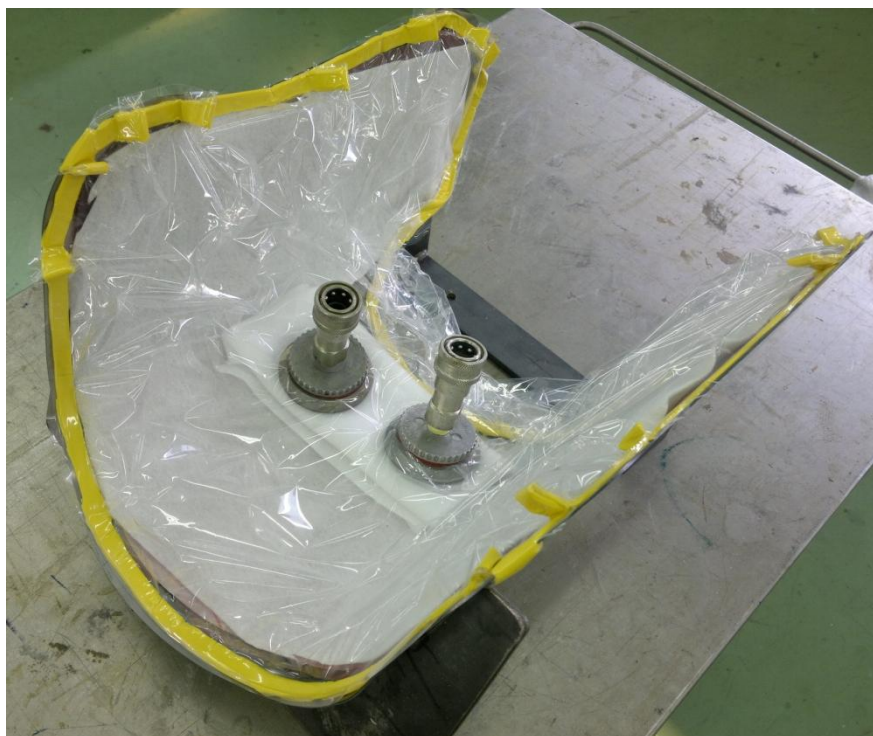


Obr. 59. Hliníkový plech vložený do formy

Odsávací tkanina byla pomocí nůžek ostříhnutá na požadovaný rozměr.



Obr. 60. Odsávací tkanina



Obr. 61. Forma připravená k zavakuování



Díky očištění acetonem proběhla aplikace žluté těsnící pásky, nalepené předem na vakuovou fólii, bez menšího problému. Po připojení hadice vedoucí od vývěvy a po důkladném utěsnění všech otvorů bylo dosaženo požadované hodnoty podtlaku 0,8 MPa. Po nastavení technologických podmínek dle materiálového listu bylo možné spustit vytvrzovací program.



Obr. 62. Forma připravená do pece

Byly použity stejné technologické podmínky jako při výrobě prototypové součásti.

Po ukončení vytvrzovacího programu bylo možné výrobek odformovat a díky naseparovaným plochám jednoduše vyjmout z formy. Byly odstraněny všechny pomocné materiály a hliníkový plech. Pod tímto plechem byla vytvořena nová, pohledová plocha. Rozdíl mezi nově vytvořenou plochou a plochou vzniklou pod hliníkovým plechem ukazuje Obr. 64.



Obr. 63. Díl vyjmutý z formy



Obr. 64. Detail vytvořené pohledové plochy



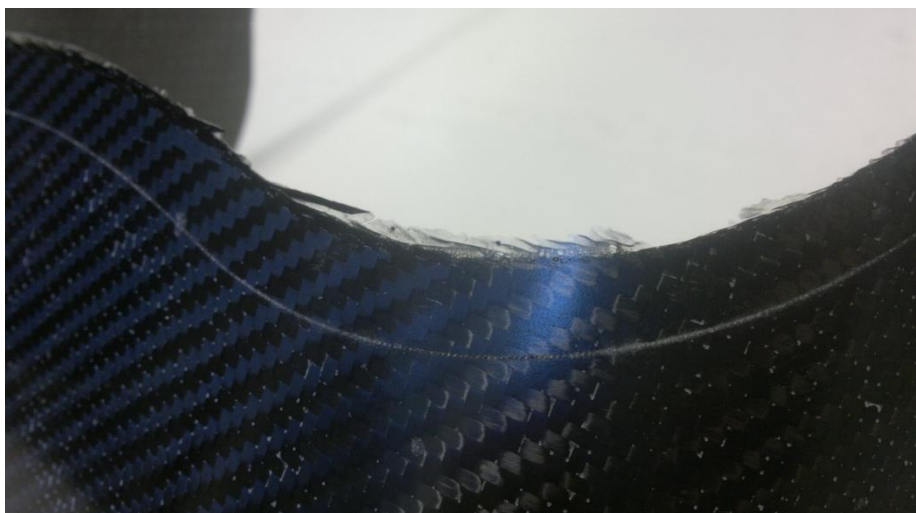


Obr. 65. Vytvořený, neořezaný model

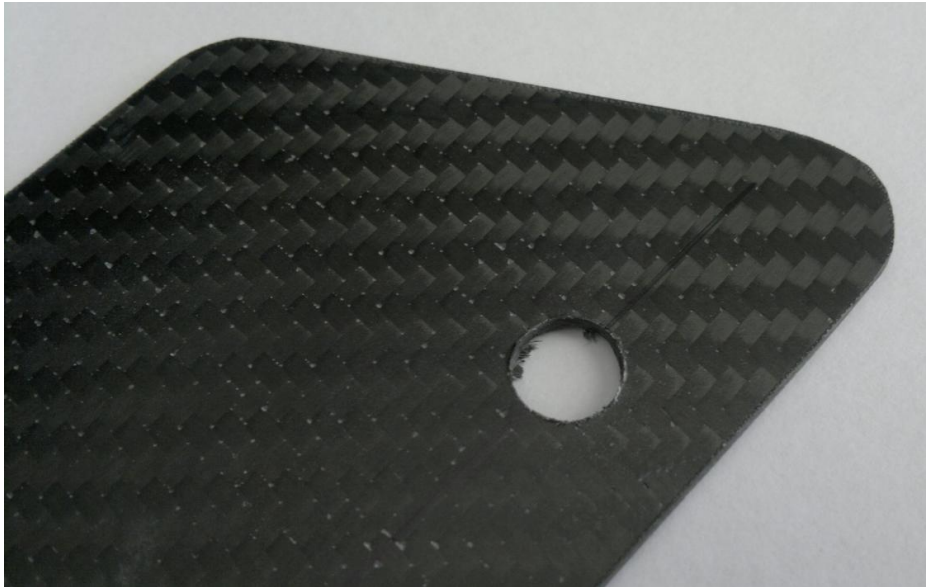
### 11.3 Ořezání a doplňující úkony

#### 11.3.1 Ořezání výrobku a vyvrtání děr

Následné operace byly dokončovacího charakteru. Jednalo se především ořezání celého výrobku, které stejně jako v případě prototypu uskutečnili pracovníci firmy Form s.r.o. dle kontury obtisknuté na výrobku. Dalším úkolem bylo vyvrtání otvorů průměru 10 mm.



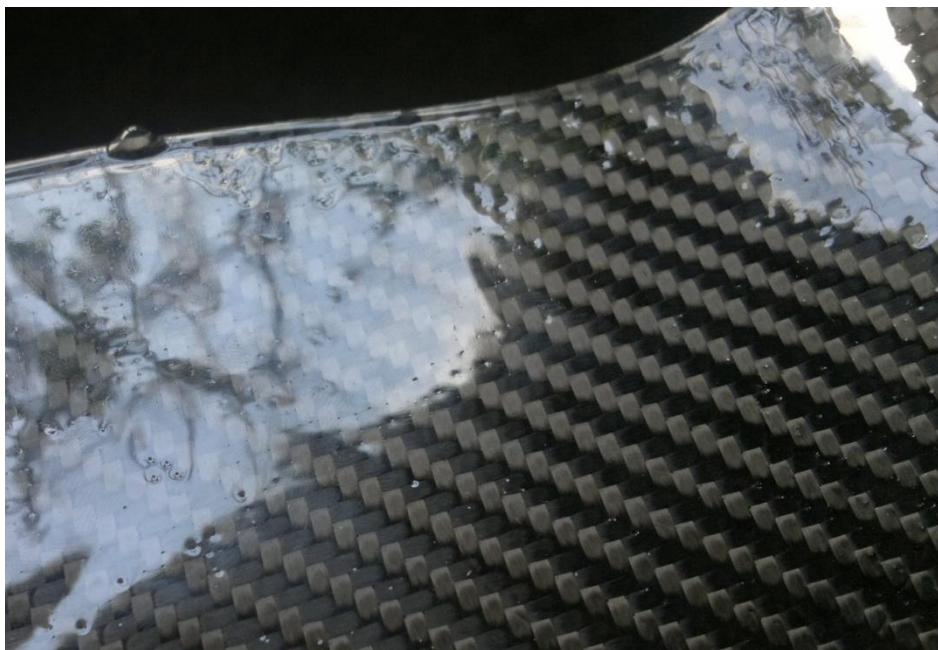
Obr. 66. Detail obtisknuté kontury



Obr. 67. Detail vyvrtaného otvoru

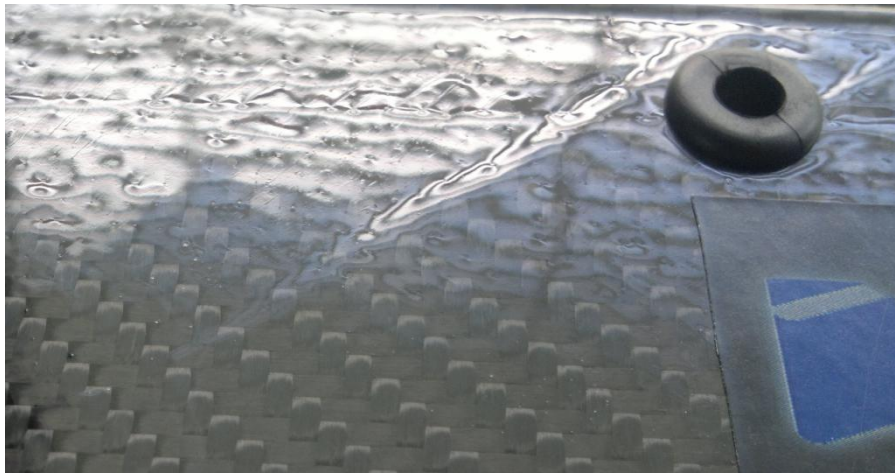
### 11.3.2 Lakování výrobku

Nalakování výrobku provedla firma ROKOSPOL a.s., která použila speciální transparentní lak určený pro zviditelnění struktury uhlíkového materiálu. Tento lak je však spíše vhodný rovinné výrobky, proto nalakovaný výrobek obsahoval vady.



Obr. 68. Vady lakování - 1

Separátor využitý při výrobě součásti a jeho nedostatečné odstranění způsobilo špatnou rozlévatelnost laku, který tvořil jakési kapky. Bylo tedy obtížné vytvořit na součásti souvislou vrstvu laku. Proto pracovníci firmy nalakovali díl tlustší vrstvou laku. Velké množství laku však způsobilo stékání, což na výrobu vytvořilo další vady. Po nalakování bylo také zřejmé, že lak není schopen zakrýt větší nerovnosti. To se projevilo propady v pórech vzniklých při výrobě součásti.



Obr. 69. Vady lakování - 2

### 11.3.3 Doplnující úkony

Do připravených otvorů byly vloženy gumové průchodky. Pomocí těchto otvorů bude podmotorový klín připevněn k motocyklu. Gumové průchodky také zabrání prodření stahovacích pásek.



Obr. 70. Gumové průchodky



Gumové průchodky byly vloženy do připravených otvorů a díl tedy bylo možné připevnit na motocykl pomocí stahovacích pásek.



Obr. 71. Detail připevněného dílu

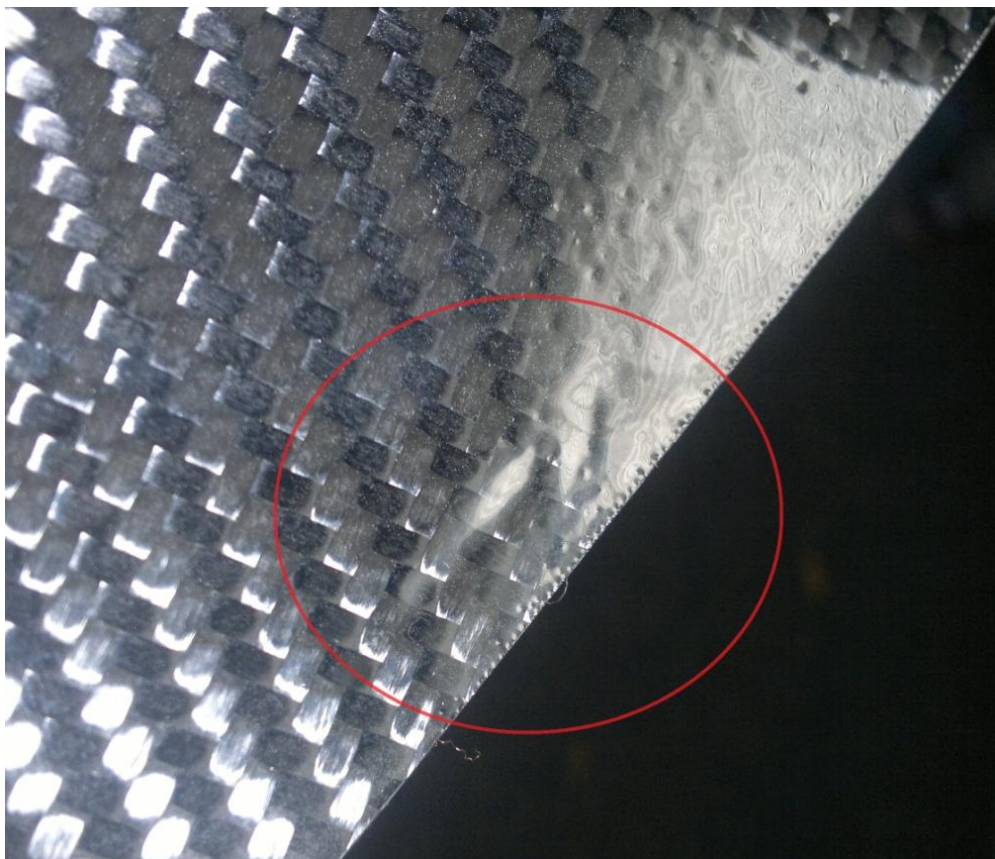


Obr. 72. Finální výrobek připevněný na motocykl

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvoření kompletního postupu výroby podmotorového klínu pro motocykl Kawasaki ZRX 1100. V první části byly navrženy šablony, pomocí kterých byly ověřeny tvary budoucího výrobku. Následně bylo možné vytvořit rozvinuté tvary z plechu, potřebné k výrobě formy. Do jednoho z polotovarů byl laserem vyřezán obrys dílu sloužící pro snadné ořezání hotového výrobku.

Nestandardní materiál formy způsobil několik problémů. Především se musela upravit tuhost celé formy a zajistit tak pevný podklad pro následné operace. Přivařením jednoduchého žebra byla celá forma vyztužena. Bohužel však byla poškozena pohledová plocha dílu, která nebyla plně opravena. Vybrušeny byly pouze největší nerovnosti.



Obr. 73. Detail obtisku poškození pohledové plochy



Vyrobením formy a ověřovací součásti z uhlíkové tkaniny bylo ještě jednou možné ověřit tvary součásti na motocyklu a také ověřit technologické podmínky a chování jednotlivých materiálů při výrobě. Tato součást byla vytvořena vakuovým lisováním předimpregnované uhlíkové tkaniny. Na ověřovací součásti bylo rovněž možno vyznačit otvory pro vyvrtání upevňovacích otvorů.

Diplomová práce také zohlednila možnosti využití jednotlivých materiálů. Pro výběr byly voleny takové, z kterých se běžně vyrábějí motocyklové doplňky. Zejména tedy uhlíkové, skelné a aramidové tkaniny. Vzhledem k možnostem, při kterých byla diplomová práce realizována, byla zvolena předimpregnovaná uhlíková tkanina a technologie vakuového lisování předimpregnované tkaniny.

Experimentálním testováním uhlíkového prepregu při tepelně nezátížených a tepelně zatížených podmínkách bylo možné pochopit a slovně pojednat o chování tohoto materiálu při zvýšené teplotě, které bude muset vzdorovat při jízdě na motocyklu. Testování materiálu proběhlo dle vybraných norem. Po vyhodnocení výsledku byl rovněž vybrán počet vrstev finálního výrobku. Finální výrobek byl vytvořen z osmi vrstev. Tato hodnota byla vybrána s ohledem na tuhost celého dílu a také s ohledem na výsledky jednotlivých zkoušek.

Po stanovení počtu vrstev výrobku bylo možné vytvořit nástřihový plán. Nástřihový plán bylo nutné seskládat do takové formy, aby byl co nejvíce využit uhlíkový materiál. Další operací bylo vytvoření finálního výrobku. Na tomto novém dílu byla vytvořena nová pohledová plocha. Tato plocha byla vytvořena s předem připraveného hliníkového plechu, který byl pro dosažení lepších výsledků vyleštěn. Vyleštění plechu také usnadnilo jeho vyjmutí z formy a výrobku. Přiložením tohoto plechového dílu na předimpregnovanou tkaninu byla vytvořena nová pohledová plocha.

Hliníkový plech umožnil vytvoření pohledových ploch tam, kde by za normálních okolností byl potřebný negativ formy. Nebylo tedy nutné využít dvoudílnou lisovací formu, přesto byly vytvořeny pohledové plochy z obou stran součásti. Využití takového řešení bude mít využití i v praxi. Bude možné vytvořit pohledové plochy na částečně pohledových plochách a zároveň nebude nutné volit jinou technologii výroby či složitě upravovat výrobní formu. Maximální velikost takového překrytí je dále nutné experimentálně ověřit.

Po odformování byl výrobek ořezán a následně byly vyvrtány otvory. Průměrná tloušťka výrobku je 1,93 mm což odpovídá předpokládané tloušťce 2 mm. Poté byl výrobek nalakován. Separační prostředek sloužící pro snadné odstranění výrobku z formy však způsobil velké množství pohledových vad. Tyto vady by bylo možné odstranit použitím jiného separačního prostředku, případně použitím vhodného odmašťovacího prostředku. Takovéto složky jsou však otázkou dalšího vývoje. Speciální bezbarvý lak zvýrazňuje texturu materiálu, avšak nedokáže vyrovnat větší nerovnosti. Je také vhodný spíše pro součásti s horizontálními plochami, u kterých nehrozí stékání laku.

Finální výrobek byl označen logem Ústavu výrobního inženýrství a po připevnění gumových průchodek byl připevněn na motocykl.



Obr. 74. Podmotorový díl připevněný na motocykl Kawasaki ZRX 1100

Přínosem této diplomové práce je především nahrazení materiálu formy nestandardním materiálem a také vytvoření nových pohledových ploch na vyráběné součásti.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KROČKOVÁ, Blanka. Částicové kompozity vyztužené krátkými vlákny [online]. Brno, 2012 [cit. 2014-12-20]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/6380>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Poláček, Ph.D.
- [2] LAŠ, Vladislav. Mechanika kompozitních materiálů. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004, 154 s. ISBN 80 7043 273 X.
- [3] D. AGARWAL, Bhagwan, Lawrence J. BROUTMAN, Lubomír SODOMKA, Richard BAREŠ, Jan JAVORNICKÝ a Jaroslava ZEMÁNKOVÁ. Vlákenné kompozity. 1. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [4] EHRENSTEIN, Gottfried W. Polymerní kompozitní materiály. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [5] RUSNÁKOVÁ, Soňa. Kompozity\_FORM - technology. Zlín, 2011.
- [6] KOŘÍNEK, Zdeněk. Kompozity [online]. [cit. 2014-12-20]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/zkorinek>
- [7] SUCHÁČEK, Petr. Vývoj technologie výroby kapoty lokomotivy technologií vakuové infuze. Zlín, 2013. Diplomová práce. Universita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.
- [8] Modeland: Zakázková výroba. [Www.modeland.cz](http://www.modeland.cz) [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://www.modeland.cz/modeland/5-Zakazkova-vyroba/2-Vyroba-forem>
- [9] ELIÁŠOVÁ, Kristina. Inovace materiálového složení sportovního náčiní. Zlín, 2013. Diplomová práce. Universita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.
- [10] RUSNÁKOVÁ, Soňa. Kompozity\_FORM\_prepregy. Zlín, 2011.
- [11] ZAVADIL, Radek. Využití kompozitních materiálů pro sportovní aplikace. Zlín, 2014. Bakalářské práce. Universita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.
- [12] Technology-rtm: RTM Technology. [Www.technology-rtm.com](http://www.technology-rtm.com) [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: [http://technology-rtm.com/?page\\_id=67](http://technology-rtm.com/?page_id=67)

- [13] Motoplasty-am. Www.motoplasty-am.cz [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://www.motoplasty-am.cz/motoplexi-am/KAWASAKI-Z750-S-04-06-klin-pod-motor-1696C-d1378.htm>
- [14] Motoplasty-am. Www.motoplasty-am.cz [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://www.motokufry-am.cz/motokufry/eshop/2-1-VYBER-Dle/578-3-CBF-600-04-12/5/3149-Klin-pod-motor-Honda-CBF600-04-07-21080B-cerny>
- [15] Bobrmoto. Www.bobrmoto.cz [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.bobrmoto.cz/300-ec/3529-kryt-pod-motor-crosspro-full-enduro-gas-gas-300-ec-99-14.html>
- [16] Motohouse: Stavíme okruhovou motorku I. díl – KAPOTY. Www.motohouse.cz [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://www.motohouse.cz/stavime-okruhovou-motorku-i-dil-kapoty>
- [17] Directcycleparts. Www.directcycleparts.com [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.directcycleparts.com/metric-cruiser-parts-exhaust-akrapovic-evolution-line-yamaha-akrapovic-evolution-line-titaniumcarboncarbon-yamaha-p-16256.html>
- [18] Motops. Www.motops.cz [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.motops.cz/leo-vince-carbon-clamp-karbon-objimka-pro-leovince-lv-one-koncovku-1-ks/>
- [19] Forspeed. Www.forspeed.cz/ [online]. [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.forspeed.cz/produkt/10129/>
- [20] LS2Helmets. Www.ls2helmets.cz/ [online]. [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.ls2.cz/integralni-helmy-ls2/LS2-FF323-Arrow-C-Carbon>
- [21] EN ISO 14125. *Vlákny vyztužené plastové kompozity - Stanovení ohybových vlastností*. CEN, 1998.
- [22] EN ISO 179-2. *Plasty - Stanovení rázové houževnatosti Charpy - Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška*. CEN, 1999-05-06.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

HS	High-strength
HM	High-modulus
CNC	Computer Numerical Control
RTM	Resin Transfer Moulding
LRTM	Light Resin Transfer Moulding
CAD	Computer Aided Design
CATIA	Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application
n	počet měření
$\bar{x}$	Aritmetický průměr
$\bar{s}$	Chyba měření
s	Směrodatná odchylka
E	Modul pružnosti [MPa]
$F_m$	Síla potřebná k přeražení [N]
$A_m$	Rázová houževnatost při síle $F_m$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
$A_b$	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]
$\sigma_{Max}$	Mez pevnosti v ohybu [MPa]
$\varepsilon_{\sigma Max}$	Poměrná deformace [%]
$W_{\sigma Max}$	Práce na mezi pevnosti [N.mm]



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Příklad kompozitního profilu .....	12
Obr. 2. Předimpregnovaná výztuž – PREPREG .....	13
Obr. 3. Rozdíl mezi rohoží (nahore) a tkaninou (dole) .....	14
Obr. 4. Základní rozdělení kompozitních materiálů .....	15
Obr. 5. Kompozitní Trimble pro mapování terénu [6] .....	18
Obr. 6. Vrtulník Northrop Grumman MQ-8B [6] .....	18
Obr. 7. Kovová forma určená pro výrobu pláště motocyklového výfuku [8] .....	20
Obr. 8. Forma vyrobená ze skelných vláken [8] .....	21
Obr. 9. Dřevěná forma určená pro výrobu součástí ze skelných vláken [8] .....	22
Obr. 10. Skelná vlákna – rohož .....	24
Obr. 11. Uhlíková vlákna – tkanina .....	25
Obr. 12. Separční fólie .....	27
Obr. 13. Odsávací rohož .....	27
Obr. 14. Vakuová fólie s nalepenou těsnící páskou .....	28
Obr. 15. Ruční laminování [5] .....	29
Obr. 16. Technologie RTM [11] .....	30
Obr. 17. Karoserie McLaren MP4-12C [12] .....	31
Obr. 18. Schéma vakuové infuze [11] .....	32
Obr. 19. Schéma technologie vakuového lisování prepregů .....	33
Obr. 20. Podmotorový klín Carbon Kawasaki Z750 [13] .....	34
Obr. 21. Klín pod motor Honda CBF600 [14] .....	35
Obr. 22. Klín pod motor terénního motocyklu [15] .....	35
Obr. 23. Sklolaminátová kapotáž okruhového motocyklu [16] .....	36
Obr. 24. Výfuková koncovka s nerezovými svody Akrapovič [17] .....	37
Obr. 25. Karbonová objímka výfuku [18] .....	38
Obr. 26. Ochranný kryt motoru [19] .....	39
Obr. 27. Motocyklová helma LS2 FF 323 Arrow C Carbon [20] .....	40
Obr. 28. Tvorba šablony pomocí Laseru .....	43
Obr. 29. Šablona připevněná na motocykl Kawasaki ZRX 1100 .....	44
Obr. 30. Rozvinutý CAD model pro MRB Sazovice .....	45
Obr. 31. Detail vytvořeného obrysu pro ořezání výrobku .....	46
Obr. 32. Rozvinutý tvar formy s vytvořeným obrysem modelu .....	47

Obr. 33. Rozvinutý tvar nezvětšeného modelu .....	47
Obr. 34. Plechový model výrobku .....	48
Obr. 35. Vyztužení plechového těla formy pomocí žebra .....	49
Obr. 36. Poškozená pohledová plocha .....	50
Obr. 37. Nástřihový plán využitý u ověřovací součásti.....	51
Obr. 38. Materiál vložený do formy.....	52
Obr. 39. Separáční fólie.....	53
Obr. 40. Část ventilu na odsávací tkanině .....	53
Obr. 41. Připravený a zavakuovaný materiál ve formě .....	54
Obr. 42. Forma ve vyhřívané peci připravená na připojení hadice .....	55
Obr. 43. Prototyp připevněný na motocykl .....	56
Obr. 44. Vyznačení otvorů na prototypu .....	56
Obr. 45. Aramidová pohledová plocha.....	58
Obr. 46. Uhlíková a skelná tkanina .....	59
Obr. 47. Připravený materiál pro výrobu destiček .....	60
Obr. 48. Vylisované destičky.....	61
Obr. 49. Nařezané vzorky .....	61
Obr. 50. Tepelná komora zkušebního zařízení .....	62
Obr. 51. Vzorky materiálů po provedení zkoušky .....	62
Obr. 52. Zkušební stroj CEAST .....	70
Obr. 53. Zkušební tělíska po přeražení.....	70
Obr. 54. Řezání materiálu ve firmě Form s.r.o. ....	78
Obr. 55. Rozložení jednotlivých vrstev v nástřihovém plánu .....	79
Obr. 56. Kladení jednotlivých vrstev do formy - 1 .....	80
Obr. 57. Kladení jednotlivých vrstev do formy - 2.....	81
Obr. 58. Vyznačení pohledových stran .....	81
Obr. 59. Hliníkový plech vložený do formy .....	82
Obr. 60. Odsávací tkanina .....	83
Obr. 61. Forma připravená k zavakuování .....	83
Obr. 62. Forma připravená do pece.....	84
Obr. 63. Díl vyjmutý z formy .....	85
Obr. 64. Detail vytvořené pohledové plochy .....	85
Obr. 65. Vytvořený, neořezaný model .....	86

---

Obr. 66. Detail obtisknuté kontury.....	86
Obr. 67. Detail vyvrtaného otvoru .....	87
Obr. 68. Vady lakování - 1 .....	87
Obr. 69. Vady lakování - 2 .....	88
Obr. 70. Gumové průchodky .....	88
Obr. 71. Detail připevněného dílu.....	89
Obr. 72. Finální výrobek připevněný na motocykl .....	89
Obr. 73. Detail obtisku poškození pohledové plochy .....	90
Obr. 74. Podmotorový díl připevněný na motocykl Kawasaki ZRX 1100 .....	92

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Srovnání kompozitních materiálů s konvenčními materiály (HS - Vysokopevnostní materiál, HM – materiál s vysokou tuhostí) [5] .....	16
Tab. 2. Porovnání vlastností vybraných přírodních vláken s vlákny skelnými [4].....	26
Tab. 3. Naměřené hodnoty pro 4 vrstvy, 23 °C .....	63
Tab. 4. Naměřené hodnoty pro 6 vrstev, 23 °C .....	63
Tab. 5. Naměřené hodnoty pro 8 vrstev, 23 °C .....	63
Tab. 6. Naměřené hodnoty pro 12 vrstev, 23 °C .....	64
Tab. 7. Naměřené hodnoty pro 4 vrstvy, 100 °C .....	66
Tab. 8. Naměřené hodnoty pro 6 vrstev, 100 °C .....	67
Tab. 9. Naměřené hodnoty pro 8 vrstev, 100 °C .....	67
Tab. 10. Naměřené hodnoty pro 12 vrstev, 100 °C.....	67
Tab. 11. Naměřené hodnoty pro 4 vrstvy, 23 °C .....	71
Tab. 12. Naměřené hodnoty pro 6 vrstev, 23 °C .....	71
Tab. 13. Naměřené hodnoty pro 8 vrstev, 23 °C .....	71
Tab. 14. Naměřené hodnoty pro 12 vrstev, 23 °C.....	72
Tab. 15. Naměřené hodnoty pro 4 vrstvy, 100 °C .....	74
Tab. 16. Naměřené hodnoty pro 6 vrstev, 100 °C.....	74
Tab. 17. Naměřené hodnoty pro 8 vrstev, 100 °C.....	74
Tab. 18. Naměřené hodnoty pro 12 vrstev, 100 °C.....	74
Tab. 19. Tloušťky jednotlivých vzorků .....	76

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf. 1. Graf zatěžování – 4 vrstvy, 23 °C .....	64
Graf. 2. Graf zatěžování – 6 vrstev, 23 °C .....	65
Graf. 3. Graf zatěžování – 8 vrstev, 23 °C .....	65
Graf. 4. Graf zatěžování – 12 vrstev, 23 °C.....	66
Graf. 5. Graf zatěžování – 4 vrstvy, 100 °C .....	68
Graf. 6. Graf zatěžování – 6 vrstev, 100 °C.....	68
Graf. 7. Graf zatěžování – 8 vrstev, 100 °C.....	69
Graf. 8. Graf zatěžování – 12 vrstev, 100 °C.....	69
Graf. 9. Průběh rázové zkoušky – 4 vrstvy, 23 °C.....	72
Graf. 10. Průběh rázové zkoušky – 6 vrstev, 23 °C .....	72
Graf. 11. Průběh rázové zkoušky – 8 vrstev, 23 °C .....	73
Graf. 12. Průběh rázové zkoušky – 12 vrstev, 23 °C .....	73
Graf. 13. Průběh rázové zkoušky – 4 vrstvy, 100 °C.....	75
Graf. 14. Průběh rázové zkoušky – 6 vrstev, 100 °C .....	75
Graf. 15. Průběh rázové zkoušky – 8 vrstev, 100 °C .....	75
Graf. 16. Průběh rázové zkoušky – 12 vrstev, 100 °C .....	76



## SEZNAM PŘÍLOH

Diplomová práce obsahuje několik důležitých příloh, nezbytných pro vytvoření jednotlivých šablon, nástřihových plánů a také samostatné formy a finálního kompozitního výrobku. Přílohy obsahují také materiálové listy jednotlivých materiálů využitých při výrobě formy a jednotlivých výrobků. Tytéž soubory byly využity při vypracování diplomové práce. Přílohy se nacházejí na přiloženém CD-ROM.

PI:	Diplomová práce ve formátu PDF
PII:	Šablona vytvářené součásti
PIII:	Kontury vytvořené pro MRB Sazovice
PIV:	Nástřihový plán
PV:	Materiálový list použité uhlíkové tkaniny
PVI:	Otvory upevnění k motocyklu
PVII:	Hodnoty pro vyhodnocení ohybové zkoušky
PVIII:	Hodnoty pro vyhodnocení rázové zkoušky