

# **Inovace materiálového složení sportovního náčiní**

Bc. Kristina Eliášová

---

Diplomová práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Kristina Eliášová**  
Osobní číslo: **T11046**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Řízení jakosti**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Inovace materiálového složení sportovního náčiní**

Zásady pro vypracování:

### I. Teoretická část

1. Polymerní kompozitní systémy, rozdělení, vlastnosti a definice.
2. Význam a možnosti využití polymerních kompozitních materiálů ve sportovním průmyslu (vlastnosti, konkrétní aplikace, porovnání s tradičními materiály i s ohledem na zpracovatelské technologie).
3. Přehled zpracovatelských technologií výroby kompozitních materiálů, popis možnosti spojení a možnosti přechodu s jinými typy konstrukčních materiálů.

### II. Experimentální část

4. Návrh materiálového složení u konkrétní aplikace s ohledem zvýšení mechanických vlastností (při dodržení hmotnostních požadavků daných od výrobce).
5. Výroba zkušebních vzorků zvolenou technologií (princip, technologické podmínky, časy, pomocné materiály, technologické výpočty, fotodokumentace atd.)
6. Experimentální studium navržených kompozitních systémů dle zvolených testovacích metod (v případě potřeby studium vlivu okolních podmínek v závislosti od konkrétní aplikace).
7. Porovnání dosažených výsledků, vyhodnocení a doporučení pro konkrétní aplikaci.
8. Formulace závěru.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Ehrenstein, Gottfried W, **Polymerní kompozitní materiály**. Vyd. Praha, Scientia, 2009.351 s ISBN 978-80-86960-29-6.
2. Jančář, J.: **Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů**. Vyd. 1 Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003.193 s.
3. Bareš, R.A.: **Kompozitní materiály**. SNTL Praha, 325 s, 1988.
4. Daďourek, K. **Kompozitní materiály–druhy a jejich užití**. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007.114s ISBN 978-80-7372-279-1.
5. Elektronické zdroje dle doporučení vedoucího diplomové práce.

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

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **8. února 2013**

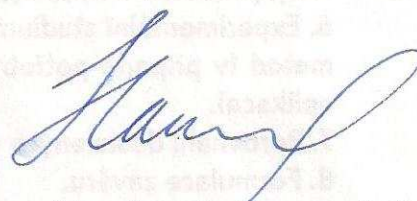
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

*děkan*



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: .....<sup>10</sup> ELIASOVÁ KRISTINA.....

Obor: ..... ZEMĚPIS.....

## 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 1. 5. 2013

.....  
*Elevaf*

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

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

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

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

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

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

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

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). 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**

Cílem této diplomové práce je inovace materiálového složení sportovního náčiní, porovnání mechanických vlastností. První část této práce se zabývá obecnými vlastnostmi kompozitních materiálů a technologií zpracování.

Praktická část je zaměřena na možnosti inovace materiálu a jeho testování. Mechanické vlastnosti jsou uvedeny v grafech a následně porovnány.

Klíčová slova: Kompozitní materiál, technologie zpracování, mechanické vlastnosti

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is innovation of composition materials in sport equipment and compare the mechanical properties. The first part of this work deals with general characteristics of composite materials and technological processed.

The practical part focuses on the possibilities of the material innovation and its testing. The mechanical properties are reported in graphs and then compared.

Keywords: Composite materials, processing technology, mechanical properties

Především bych chtěla velice poděkovat firmě HAVEL COMPOSITES CZ s.r.o. za ochotu, rady a výrobu vzorků. Chtěla bych poděkovat doc. Ing. Soni Rusnákové, Ph.D. za odborné vedení, doporučení a připomínky k této práci. A dále rodině – té, která má přijít na svět, za trpělivost při psaní této diplomové práce a té nejbližší za trpělivost po celou dobu 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 ZÁKLADNÍ POJMY</b> .....	<b>12</b>
1.1 VLÁKNA .....	13
1.1.1 Skelná vlákna .....	13
1.1.2 Uhlíková vlákna .....	14
1.1.3 Přírodní vlákna .....	15
1.1.4 Vazby vláken.....	16
1.1.5 Ostatní typy vláken, výztuže .....	17
1.2 POJIVO.....	17
1.2.1 Reaktivní pryskyřice.....	18
1.2.2 Polyesterové pryskyřice.....	18
1.2.3 Epoxidové pryskyřice.....	19
1.2.4 Fenolické pryskyřice .....	19
<b>2 VYUŽITÍ POLYMERŇÍCH KOMPOZITŇÍCH MATERIÁLŮ VE SPORTOVŇÍM PRŮMYSLU</b> .....	<b>21</b>
2.1 VLASTNOSTI KOMPOZITŇÍHO MATERIÁLU VS. TRADIČŇÍ MATERIÁLY .....	21
2.2 ZIMŇÍ SPORTY .....	22
2.3 LETŇÍ SPORTY.....	23
<b>3 PŘEHLED ZPRACOVATELSKÝCH TECHNOLOGIÍ</b> .....	<b>25</b>
3.1 RUČŇÍ KLADENÍ.....	26
3.2 LISOVÁNÍ POMOCÍ VAKUOVÉHO A TLAKOVÉHO VAKU.....	27
3.3 VIP (VACUUM INFUSION PROCESS) .....	28
3.3.1 Vakuové prosyncování s pružnou vrchní částí formy .....	28
3.3.2 Metoda SCRIMP .....	28
3.3.3 Vakuové prosyncování pod pružnou folií .....	28
3.4 STRĚKÁNÍ.....	30
3.5 TECHNOLOGIE RTM (RESIN TRANSFER MOULDING), RIM (REACTION INJECTION-MOULDING) .....	31
3.6 LISOVÁNÍ V AUTOKLÁVU .....	32
3.7 NAVĚJENÍ, OPLĚTÁNÍ.....	33
3.8 LISOVÁNÍ VE FORMĚ .....	34
3.8.1 Lisování za studena .....	34
3.8.2 Lisování za tepla.....	34
3.9 SPOJOVÁNÍ KOMPOZITŮ .....	34
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>35</b>
<b>4 CĚLE DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>36</b>
<b>5 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY KAJAKU VAKUOVOU</b>	



<b>METODOU POD PRUŽNOU FOLIÍ TZV. VACUUM BAGGING.....</b>	<b>37</b>
5.1 VÝROBA FORMY A MODELU.....	37
5.2 POŘADÍ TECHNOLOGICKÝCH VRSTEV KOMPOZITU.....	37
5.3 VACUUM BAGGING KAJAKU.....	40
5.3.1 Pomocné prostředky k vakuové technologii .....	41
<b>6 NÁVRH MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ A VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ.....</b>	<b>44</b>
6.1 STÁVAJÍCÍ MATERIÁLOVÉ SLOŽENÍ .....	44
6.2 DRUHÉ MATERIÁLOVÉ SLOŽENÍ .....	45
6.3 TŘETÍ MATERIÁLOVÉ SLOŽENÍ .....	45
6.4 ČTVRTÉ MATERIÁLOVÉ SLOŽENÍ.....	46
<b>7 MECHANICKÉ ZKOUŠKY.....</b>	<b>47</b>
7.1 ZKOUŠKA OHYBEM .....	47
7.2 STANOVENÍ RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI METODOU CHARPY .....	53
7.3 ZKOUŠKA RÁZOVÝM NAMÁHÁNÍM.....	59
<b>8 DISKUSE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>64</b>
8.1 POROVNÁNÍ PO ZKOUŠCE OHYBEM .....	64
8.2 POROVNÁNÍ RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI METODOU CHARPY .....	66
8.3 POROVNÁNÍ RÁZOVÉHO NAMÁHÁNÍ .....	67
<b>9 ZÁVĚR.....</b>	<b>69</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>70</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>71</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>72</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>75</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>77</b>

## ÚVOD

U materiálů z přírody, například dřeva, nalezneme uspořádání jednotlivých struktur, které jsou vlastně předpokladem historie kompozitního materiálu. Toto uspořádání můžeme nalézt u materiálu který je vystavován mechanickému namáhání.

Již v době 800 let před n.l. shledáváme využití kompozit, kdy Židé v Izraeli používali na stavění domů cihly z hlíny a slámy. Průběh křížáckých válek zase ovlivnil modernější kompozitní materiál – damascenská ocel. Využívala se hlavně při výrobě čepelí nožů [1]. S touto ocelí se hodně obchodovalo v Damašku v době křížáckých výprav, proto název damascenská. Tento kompozit byl složen se střídajícími se plátků středně uhlíkové a vysokouhlíkové oceli.

Vědomě se začalo využívat kompozitních materiálů až v našem století. A protože se vyznačují nízkou hustotou, vysokou pevností a tuhostí, odolností proti velkému množství chemikálií, mají nízkou tepelnou vodivost, elektroizolační vlastnosti a tlumí zvukové vlny je jejich spektrum využití velice vysoké [2]. Aplikace z kompozitů nacházíme například v leteckém průmyslu, ve stavebnictví, v konstrukci vlaků, v automobilovém průmyslu, v medicíně, informatice a i při výrobě sportovního náčiní. Tam preferujeme hlavně pevnost, nízkou hmotnost, tlumení nárazů, možnost výroby v jednom kroku a v neposlední řadě design.



*Obr. 1. Aplikace využití kompozitního materiálu ve sportu*

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ZÁKLADNÍ POJMY

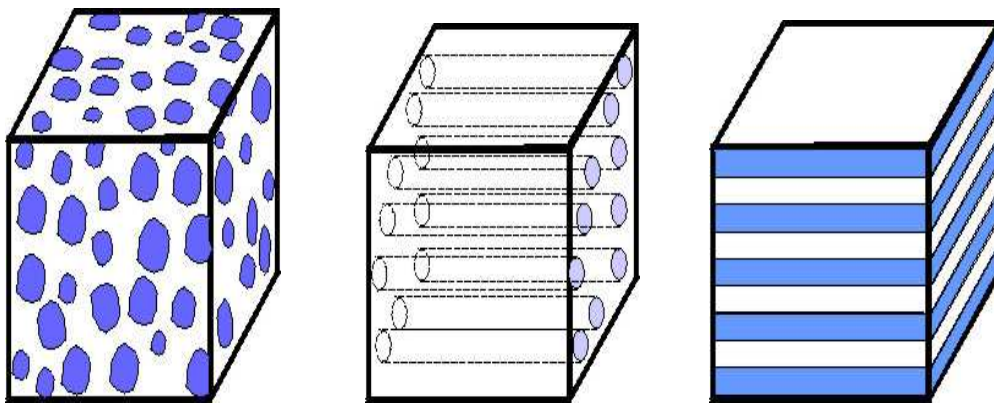
Kompozity jsou heterogenní systémy, struktura, která vznikne spojením dvou materiálů rozdílného chemického složení, které se od sebe liší svými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi [3].

Pojivo + výztuž (zpevňující vlákno) = kompozit.

Pojivem nazýváme tedy spojitou (kontinuální) fázi v níž je uložena nespojitá, vyztužující fáze (diskontinuální), kterou tvoří vlákna nebo částice.

Největší pevnosti a tuhosti dosahují kompozity s kontinuálními vlákny. Matrice (pojivo) může být polymerní (reaktoplastická nebo termoplastická), kovová, skleněná, keramická, sklokeramická nebo uhlíková. Kontinuální vlákna pak uhlíková, skleněná, borová či keramická.

Pevnost vláken je vždy větší než pevnost materiálu v kompaktní formě neboť v tenkých vlákních jsou minimalizovány rozměry vad materiálu a také nebezpečnost povrchových vad je při malých příčných rozměrech přirozeně menší.



Obr.2. Složení kompozitů (zrnitý, vláknový, vrstvený) [4]

Zpevňující neboli vyztužující vlákna jsou konstrukčními prvky kompozitních materiálů. Musí být dostatečně pevná a tuhá.

## 1.1 Vlákná

### 1.1.1 Skelná vlákna

Skelná vlákna se ve světě vyrábějí především ze skloviny označované jako sklo typu E. Základem E je soustava oxidů  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

K nejnovějším technologiím výroby skelného vlákna se řadí technologie kontinuální kdy se na jednom konci pece sází sklářský kmen a na druhém se z platinových vaniček vytahuje vlákno. Výsledný pramenec se pak navíjí na buben. Před tím je ovšem vlákno opatřeno lubrikační a apretou. Apretační vrstva zlepšuje vazbu mezi vláknem a pryskyřicí [5]. Zabráníme tak tedy abrazi a lámavosti vlákna.

K dalším typům patří skleněné vlákno typu S a jeho verze S2 a R. Tyto vlákna mají vyšší pevnost v tahu než sklo typu E a vyšší modul pružnosti.

Sklo typu D má horší mechanické vlastnosti než E, ale má nízkou dielektrickou konstantu, proto nachází využití v elektrotechnice, energetice a elektronice.

Typ C je chemicky odolné sklo které vykazuje odolnost proti kyselinám. Oproti sklu typu E má však horší mechanické vlastnosti.

Vysokým obsahem olova se vyznačuje sklo typu L. Olovo zvyšuje nepropustnost proti rentgenovému záření a proto je jeho uplatnění zřetelné v lékařství a vědě.

Vlákno	E	S	D	C	L
Hustota [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	2540	2490	2160	2490	4300
Pevnost v tahu [GPa]	3,5	4,65	2,45	2,8	1,68
Modul pružnosti [GPa]	73,5	86,8	52,5	70,0	51,1
Poměrné prodloužení [%]	4,8	5,4	4,7		
Dielektrická konstanta 20 °C, 10 <sup>6</sup> Hz	5,8	4,53	3,56	6,24	9,49

Tab.1. Vlastnosti druhů skel [2]

Tepelné vlastnosti skleněných vláken překonávají tepelné vlastnosti jiných materiálů. Jsou nehořlavá. Nabídka skelných vláken je velice široká a proto výběr závisí i na druhu, orientace skleněných vláken.

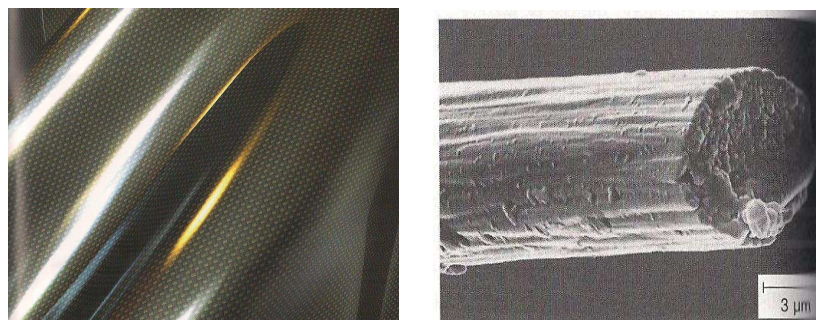
### 1.1.2 Uhlíková vlákna

Skládají se více než z 90 % z uhlíku a mají průměr 5 – 10  $\mu\text{m}$ .

Výchozí surovinou pro výrobu uhlíkových vláken jsou tři materiály:

- Celulóza – vlákna s méně dokonalou strukturou. Používají se převážně jako izolační materiály pro vysoké teploty
- PAN (polyakrylonitril) – více využívaný po roce 1980. Je běžně užívaný jako standardní materiál.
- Smola – zbytek po destilaci černého uhlí a ropy. Vlákna mají dobré tepelné a elektrické vlastnosti. Pevnost v tlaku ale mají v porovnání s předchozími nižší, proto jsou používána na trhu méně [3]. Přesto je zajímavostí, že vlákna z anizotropní smoly zvlákněvaná v tavenině se dnes používají k výrobě nejtužších vláken.

V uhlíkových vláknech se pojí vysoká pevnost, modul pružnosti a tepelná odolnost. Dnešní uhlíková vlákna mají až 60x vyšší pevnost v tahu než ocel [5].



Obr.3. Uhlíkový prepreg, řez vláknem [5,3]

Výroba uhlíkových vláken je prováděna dvěma způsoby. PAN je dlužen ve směru vlákna osy. Vlákna jsou zahřívána na 200 – 300 °C a tím stabilizována. PAN se dehydruje a přemění na žebříčkovitý polymer. Tato struktura se přemění karbonizací v inertní atmosféře při teplotě do 1600 °C na strukturu grafickou. Takto vytvořená mikrostruktura dosahuje vysokých hodnot pevnosti – více než 5000  $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ .

Druhý postup využívá smoly bohaté na uhlík. Tepelně se zpracuje nad 350 °C a vznikají vlákna s vysokým stupněm orientace. Následuje stabilizace a karbonizace při 2000 °C kdy dochází k přeměně na uhlík. Vlákna mohou dosahovat hodnot  $E$  až  $700000 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ . Tato vlákna mají ale podstatně nižší pevnost. Dále probíhá žíhání až do 3000° C. Vysoké teploty však mají za následek vysoké ceny vláken [3].

Vlákno	Uhlíkové
Průměr [ $\mu\text{m}$ ]	7-10
Hustota [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	1,6
Pevnost v tahu [GPa]	2,5-3,5
Modul pružnosti [GPa]	250-300
Měr. pevnost [ $\text{m}^2\text{s}^{-2}\cdot 10^9$ ]	1,55-2,2
Měr. modul [ $\text{m}^2\text{s}^{-2}\cdot 10^8$ ]	156-188
Teplota tání [°C]	3650
Tep. odolnost vzduch[°C]	350

Tab. 2. Vlastnosti uhlíkových vláken [2]

### 1.1.3 Přírodní vlákna

Pro vyztužování plastů můžeme dále použít vlákna přírodní se základem z celulózy. Vhodný je len, konopí, bavlna, juta, sisal. Jsou nezávadná a odolná proti stárnutí, vhodná pro lehké konstrukce z důvodu malé hmotnosti.

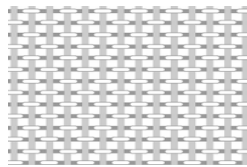
Vlákno	Konopí	Len	Juta	Sisal
Hustota [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]	1,45	1,48	1,4	1,45
Mez pevnosti v tahu [ $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ ]	600	750	550	600
E-modul [ $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ ]	70 000	30 000	55 000	20 000
Tažnost [%]	1,6	2,0	2,0	2,0

Tab. 3. Vlastnosti přírodních vláken [3]

### 1.1.4 Vazby vláken

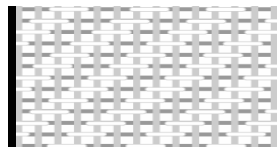
Obecně vzniká tkanina provázáním nejméně dvou soustav nití. Podélná se nazývá osnova, příčná útek. Konstrukce tkanin pak vytváří požadovaný tvar, vlastnosti materiálu. Má vliv na pevnost, tuhost, pružnost. Ovlivní vzhled, tepelnou vodivost, prodyšnost a další důležité vlastnosti.

Plátňová vazba – nejpevnější, zároveň však při tvarování nejméně poddajná když jsou prameny v osnově stejně silné a stejnosměrnou vzdáleností. Je oboulícni. Rub má stejný vzhled jako líc. Osnovní nit tedy vytváří pravidelné provázání s nití útkovou vždy přes jednu nit tak, že provázání osnovní nití je pravidelně střídáno pod a nad útkovou nití. Každá vedlejší nit se váže ve stejném pořadí, ale je posunuta o jeden útek [6].



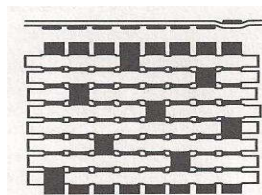
Obr.4. Plátňová vazba [6]

Keprová vazba – je vytvářena soustavou šikmých a souběžných řádků. Útek je překřížený minimálně dvěma prameny osnovy a na tkanině je tedy patrný diagonální vzor. Při měkké povrchové úpravě je tkanina ohebnější.



Obr.5. Keprová vazba [6]

Atlasová vazba – jeden pramen osnovy je překryt čtyřmi nebo více prameny útku z vrchu a jedním ze strany spodní. Povrch tkaniny je hladký, lesklý s dlouhými ploškami, má „hedvábný omak“.



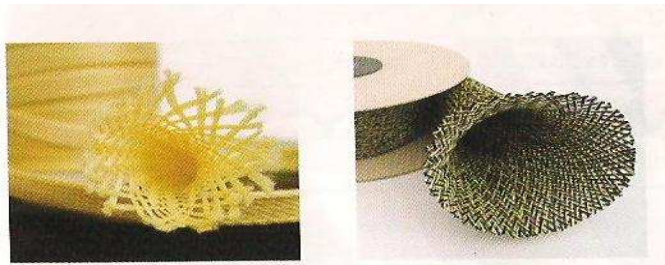
Obr.6. Atlasová vazba [3]



Vazby skelných ale i jiných tkanin jsou vyráběny běžnými tkacími postupy na jehlových nebo vzduchových tkacích strojích.

### 1.1.5 Ostatní typy vláken, výztuže

Mezi vyztužující vlákna patří i hybridní výztuže. Jedná se o tkaniny kde jsou zastoupena vlákna více než jednoho typu. Díky různým kombinacím je můžeme využívat dle potřeby – například odolnost proti nárazu aramidových vláken s tuhostí uhlíkových nebo s takovou pevností vláken skelných. Mezi hybridní výztuže se tedy řadí různé tkaniny, punčochy, pásy atd.



*Obr. 7. Aramidová, uhlík-aramidová punčocha pro výrobu profilů [5]*

## 1.2 Pojivo

Pojivem rozumíme materiál pro „ukládání“ vyztužujících vláken. Při výrobě sportovního náčiní a kompozitů nejčastěji plast (termoset, termoplast). Obecně pak dále existují matrice kovové, keramické, skleněné. Úkolem pojiva je zaručení geometrického tvaru, přenos sil a ochrana vláken a soudržnost matrice s materiálem fáze vyztužující [3]. Spojuje tedy jednotlivé fáze výztuže, brání porušení.

Existují dva základní typy polymerních pojiv – reaktoplasty a termoplasty.

Mezi termoplasty se řadí například:

- Polystyren (PS)
- Polypropylen (PP)
- Polyetylen (PE)

- Polykarbonát (PC)
- Polyetylén tereftalát (PET)

Termoplasty jsou tuhé látky, které při zvýšené teplotě měknou. Po ochlazení přechází opět do pevného stavu. Makromolekuly těchto látek nejsou vázány chemickými vazbami. Jsou většinou chemicky odolnější a houževnatější. Modul pružnosti v tahu  $E = 1,5\sim 3$  GPa.

Naproti tomu u termosetů při vytvrzování dochází ke vzniku chemických vazeb mezi jednotlivými molekulami. Vzniká tak místo dlouhých liniárních molekul – polymerní síť s různou hustotou. Termoset zůstává v tuhé fázi i po zahřátí. Modul pružnosti v tahu  $E = 2,5\sim 4,5$  GPa.

Mezi termosety řadíme:

- Epoxidy (EP)
- Nenasycené polyestery (UP)
- Fenol formaldehydové pryskyřice (PF)

### 1.2.1 Reaktivní pryskyřice

Jsou nejčastěji používaným materiálem při výrobě kompozitů. Jsou to pryskyřice kapalné nebo tavitelné které se vytvrzují polyadací nebo polymerací bez odštěpení těkavých složek a to buď samostatně, nebo za pomoci jiných složek – tvrdidel, katalyzátorů, urychlovačů atd. [3]. Mezi reaktivní pryskyřice řadíme velké množství druhů např.: nenasycené polyesterové pryskyřice, vinylesterové, izokyanátové, epoxidové atd.

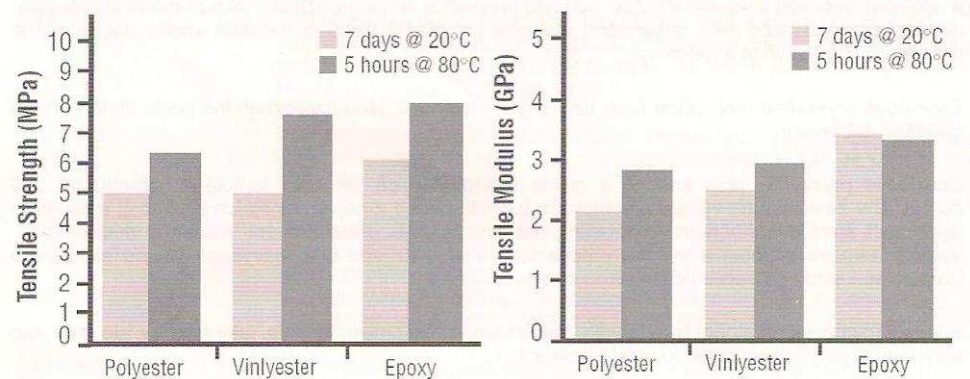
### 1.2.2 Polyesterové pryskyřice

Polyesterové pryskyřice je možno vytvrzovat za normální nebo zvýšené teploty bez vedlejšího produktu – těkavé složky. Mají velké smrštění při vytvrzování. Jsou velmi křehké, a proto je tvorba mikrotrhlin běžnou nevýhodou. Zato dobře smáčejí skelná vlákna ale pevnost vazby je menší. Mají dobré elektrické vlastnosti a jsou odolné proti UV záření. Pro výrobu polyesterové pryskyřice je nutné aby obsahovala ještě další látky jako katalyzátor,

aditiva, pigment, barvivo, ohnivzdorné látky atd. Jsou bezbarvé až nažloutlé. Jejich cena je relativně nízká a proto jsou nejčastěji používaným materiálem v kompozitní výrobě.

### 1.2.3 Epoxidové pryskyřice

Epoxidové pryskyřice jsou za normálních teplot kapalné až pevné. Někdy obsahují přídavné pomocné látky – rozpouštědla. V molekule obsahují jednu, častěji dvě epoxidové skupiny. Tvrdidlo přidáváme v kapalné nebo pevné formě a obsahuje v molekule aktivní vodíkové ionty, které reagují s epoxidovými skupinami pryskyřice. Překonávají většinu dalších typů pryskyřic především svými mechanickými vlastnostmi a v odolnosti vůči vnější degradaci a proto nacházejí široké uplatnění v leteckém průmyslu. Jsou rychle vytvrditelné při jakékoliv teplotě od 5 °C do 150 °C v závislosti na typu urychlovače. Výhodou je malé smršťování během vytvrzování, vysoké elektrické a izolační schopnosti a dobrá chemická odolnost [7]. Dále můžeme vyzdvihnout vysokou odolnost proti vodě a tudíž předpoklad pro široký rozsah při výrobě lodí, pro pláště trupů atd.



Obr. 8. Srovnání mechanických vlastností pryskyřic [5]

### 1.2.4 Fenolické pryskyřice

Vznikají jako varianty z různých druhů fenolických surovin molárních poměrů fenol/formaldehyd a v různých modifikacích [3]. Ve srovnání s UP je možno říci, že fenolické pryskyřice můžeme skladovat bez ztráty vlastností a se schopností síťovat po relativně dlouhou dobu.

---

Používají se jako základ lepidel pro laminování dřeva. Při využití kompozitních profilů vede k materiálům s výrazně sníženou hořlavostí.

## 2 VYUŽITÍ POLYMERNÍCH KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ VE SPORTOVNÍM PRŮMYSLU

Tak jak ve všech odvětvích i ve sportovním průmyslu konstruktéři, projektanti a designéři hledají stále nové materiály. Patrně nejdynamičtěji se rozvíjející skupinou jsou právě polymery a jejich modifikace tzn. jejich směsi a kompozity [7]. Kompozity zaručují vysokou tuhost, poměr mezi odolností a váhou. Jsou odolné proti únavě, korozi a nárazu – což je při sportu důležité a proto jejich modifikace můžeme vidět při výrobě rámu kol, raket, lyží, násad golfových holí a v další široké škále možného použití.

### 2.1 Vlastnosti kompozitního materiálu vs. tradiční materiály

Kompozity zaujmou především obrovskou flexibilitou relativně jednoduše tvořených materiálových struktur a odpovídajícím rozsáhlým spektrem užitných vlastností. Ve většině případů je kompozitní materiál vyráběn v jednom kroku ke konečnému produktu (laminace sportovních lodí, navíjení rybářských prutů) a je tak velmi obtížné oddělit od sebe vlastnosti materiálu od užitných vlastností daného výrobku, což je naopak u konstrukční oceli nebo hliníku snadné a zjednodušuje optimalizaci a spolehlivost konstrukčních postupů.

Nevýhody:

- může dojít k nesprávnému uložení výztuží tzn. k méně reprodukovatelným vlastnostem,
- neizotropie vlastností
- heterogenita struktury








Výhody:

- nízká hustota (obvykle 1600-2000 kg/m<sup>3</sup>) vs. ocel (7800 kg/m<sup>3</sup>), hliník (2700 kg/m<sup>3</sup>)
- široký interval pevností (200 - 4000 MPa)
- odolnost proti chemikáliím
- nízká tepelná vodivost (300x nižší než u hliníku)
- elektroizolační vlastnosti

- vysoký útlum zvukových vln
- efektivnější montáž a údržba [7]

## 2.2 Zimní sporty

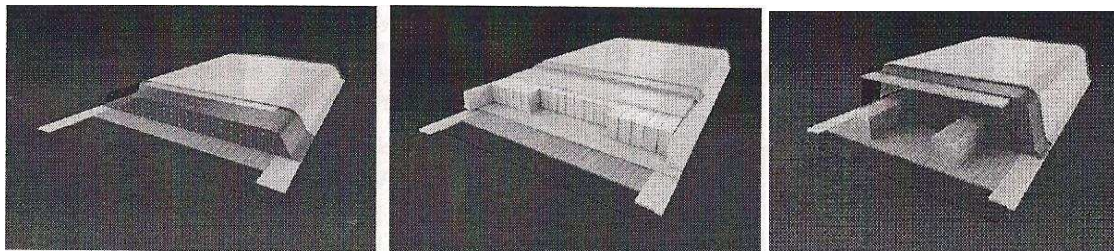
Výroba snowboardů a lyží je velice podobná. Prakticky se liší jen tvarem a vlastnostmi prkna nebo lyže.

Pořadí	Popis úkonu	Obrázek
1.	seskládání materiálu do kazety	
2.	nanesení lepidla	
3.	slisování kazety na hydraulickém lisu	
4.	ořezáním dostaneme hrubý tvar	
5.	broušení hran a ploch	
6.	polepování prkna, termosublimační folie	
7.	vytvrzování v UV pecích	

Tab.4. Zjednodušený technologický postup výroby snowboardu [8]

V historii se používalo na výrobu lyží jasanové, později světlé ořechové dřevo. I dnes se do jádra nejčastěji používá dřevo. Zachovává si své vlastnosti za jakékoli teploty. U levnějších lyží jsou pak jádra z kompozitních materiálů, pěn, které jsou vstříkovaním napuštěny dovnitř. U lyží středních tříd jsou to potom kombinace dřeva a pěn.

Výztuhy musí zajistit dostatečnou tuhost a pružnost. Lyže musí být dostatečně podélně pružná tak, aby kopírovala povrch sjezdovky. Používají se materiály typu carbon, sklola-minát, titanál atd. [9]



*Obr. 9. Kompozitní jádro, dřevěné jádro, kompozit a dřevěný hranol [9]*

### 2.3 Letní sporty

V tzv. letních sportech se setkáváme s kompozitním náčiním na každém kroku. Kompozity slouží k výrobě sportovních lodí (kanoje, kajaky), surfů, windsurfingů, lyží na vodní lyžování, skateboardy, tenisových raket atd.

Výroba surfů, vodních lyží je prakticky stejná jako výroba lyží. Výroba tenisové rakety se v průběhu let vyvíjela. Od roku 1870 kdy se vyráběly především ze dřeva dospěla výroba v dnešní době směrem ke kompozitním materiálům.

Experimentování v materiálech vedlo výrobce časem ke skelným vláknům a nově vyvinutému karbonovému vláknu. Karbon byl mnohem dražší avšak pro svojí tuhost a pevnost nabízel možnosti pro další vývoj rámců tenisových raket. V roce 1969 firma HEAD vyrobila první kompozitní tenisovou raketu – kombinace kov a plast. Raketa dostala název Arthur Ashe Competition [10].

Dnešní materiály:

Grafit – silný materiál, relativně lehká váha. Lepší vlastnosti s jinými kompozicemi materiálů.

Bór a kevlar – lehčí, tužší než grafit. Jeho tuhost přenáší otřesy a vibrace do ruky. Nevhodný pro začátečníky.

Hliník – dnes jen zřídka. Levnější typ raket. Přenos nárazy míčků do kloubů. Ne pro časté hraní.

Titan – silný, extrémně lehký.

Uhlík – tenký pramen materiálu  $\text{Ø } 5 - 8 \text{ }\mu\text{m}$ . Krystalové uspořádání způsobí velkou pevnost. Vyskytuje se v různých modifikacích.

Kevlar – trvanlivost.

Skelná vlákna – v kombinaci s grafitem, pohlcuje výše zmíněné vibrace.



### 3 PŘEHLED ZPRACOVATELSKÝCH TECHNOLOGIÍ

V diplomové práci se zabývám výrobou a zkouškami vzorků vyrobených vakuovou metodou.

Pracovní postupy k výrobě výrobků z kompozitů jsou velice rozmanité a můžeme je rozdělit na postupy manuální, částečně automatizované a automatizované:

Postupy	Technologie
Manuální	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruční kladení (3.1.)</li> <li>• Lisování pomocí vakuového a tlakového vaku (3.2.)</li> </ul>
Částečně automatizované	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vakuové technologie (3.3.)</li> <li>• Stříkání (3.4.)</li> <li>• Technologie RTM (3.5.)</li> </ul>
Automatizované	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lisování v autoklávu (3.6.)</li> <li>• Navíjení, oplétání (3.7.)</li> <li>• Lisování ve formě (3.8.)</li> <li>• Lisování za studena, za tepla (3.9.)</li> </ul>

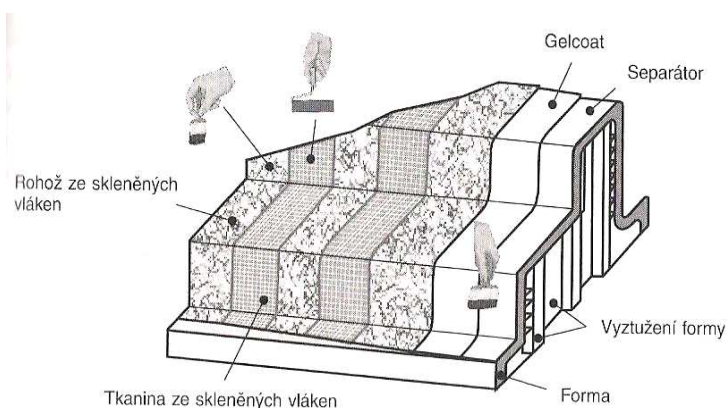
*Tab. 5. Rozdělení zpracovatelských technologií*

Výběr vhodné technologie je daný především:

- charakterem výrobku,
- velikostí a členitostí výrobku,
- tuhostí a pevností,
- počtem vyráběných kusů (sériovostí),
- kvalitou povrchu,
- náklady na výrobu.

### 3.1 Ruční kladení

Nanášení pryskyřice a výztuže je prováděno ručně na povrch formy. Na povrch formy se nanese separátor, poté pryskyřice (0,3-0,6 mm) tzv. gelcoat. Pak klademe rohože ze skleněných, syntetických vláken které se prosycují pryskyřicí. Po nanesení výztuže a pojiva pomocí např. válečku je kompozit ponechán k vytvrzení.



Obr. 10. Postup ručního kladení [3]

**Výhody:** Jednoduchost technologie,  
minimální náklady na nástroj,  
variabilita tvarů, velikostí

**Nevýhody:** Nereprodukovatelnost odpadu a jeho velký objem,  
náročnost na práci lidí,  
kvalita závislá na zkušenostech lidí [11],  
nelze ručně úplně odvzdušnit laminát.

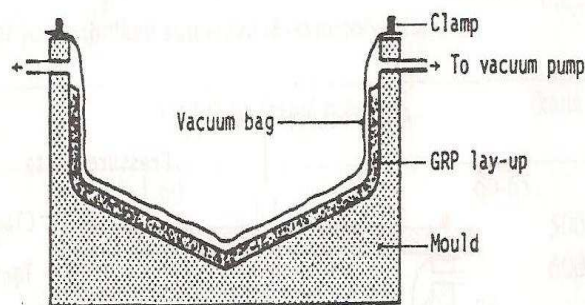
Vlastnost/parametr	Výztuž ve formě rohože	Tkaná výztuž
Obsah skla (%)	20-40	45-55
Pevnost v tahu (MPa)	70-140	210-350
Pevnost v ohybu (MPa)	140-280	360-520
Modul pružnosti v tahu (MPa)	6-13	10-31

Tab. 6. Vlastnosti FRC vyrobených ručním kladením [2]

### 3.2 Lisování pomocí vakuového a tlakového vaku

Při této technologii jde o jakési vylepšení metody ručního kladení. Kompozit se ručně naklade a na volný povrch je přidána porézní separační folie, na kterou se položí hrubá odsávací tkanina, forma se utěsní a tlakem filmu dojde k vytlačení přebytečných bublin.

Zlepšením metody pomocí vakuového vaku je přidání vaku tlakového. Nепropouštěcí film je položen opět na volný povrch a forma je navíc vakuována tlakem při čemž dojde k vytlačení bublin. Přetlak nad formou cca 0,3 Mpa. Po vytvrzení je film stažen z laminátu.



Obr. 11. Metoda tlakového vaku [2]

**Výhody:** minimální obsah vzduchových bublin,  
plus všechny další výhody ručního kladení,  
vhodné pro sendvičové struktury,

**Nevýhody:** velký obsah odpadu,  
zručná pracovní síla,  
okraje není možno zarovnat před vytvrzením – prodloužení procesu.

Parametr	Výztuž ve formě rohože	Tkaná výztuž
Obsah skla (%)	40	55-60
Pevnost v tahu (MPa)	140-160	350-400
Pevnost v ohybu (MPa)	280	400-620
Modul pružnosti v tahu (Mpa)	13-17	25-36

Tab. 7. Vlastnosti FRC vyrobených ručním kladením a vakuového vaku [2]

### 3.3 VIP (vacuum infusion process)

Vakuové technologie (VIP – vacuum infusion process) se řadí mezi nízkotlaké technologie a jsou dány třemi základními modifikacemi:

- Vakuové prosyčování s pružnou vrchní částí formy
- Metoda SCRIMP
- Vakuové prosyčování pod pružnou folií

Vakuové technologie (VIP – vacuum infusion process) se řadí mezi nízkotlaké technologie.

Typ technologie rozhoduje o odpařování reaktivního druhu ředidla.

#### 3.3.1 Vakuové prosyčování s pružnou vrchní částí formy

Spodní část formy je tuhá s kanálky na odsávání. Vrchní část bývá často kompozitní. Má tedy určitou pružnost. Vakuum zajišťuje uzavírací sílu a prosyčování. Bývá v hodnotách 0,6-0,8 bar. Pojivo se může před uzavřením těsnícími pásky zhruba rozprostřít ručně. Dále ho přivádíme ze zásobníku. Do dílů mohou být kladeny i voštiny nebo pěny pro vytvoření sendvičové struktury. Lze vyrábět výrobky s oboustranně hladkým povrchem [12].

#### 3.3.2 Metoda SCRIMP

Metoda SCRIMP (Secman Composite Resin Infusion Moulding Process). Rozvod pryskyřice zajišťuje síťka, která je kladena na celý povrch suché výztuže. Na poslední vrstvu uložíme pružnou folii.

#### 3.3.3 Vakuové prosyčování pod pružnou folií

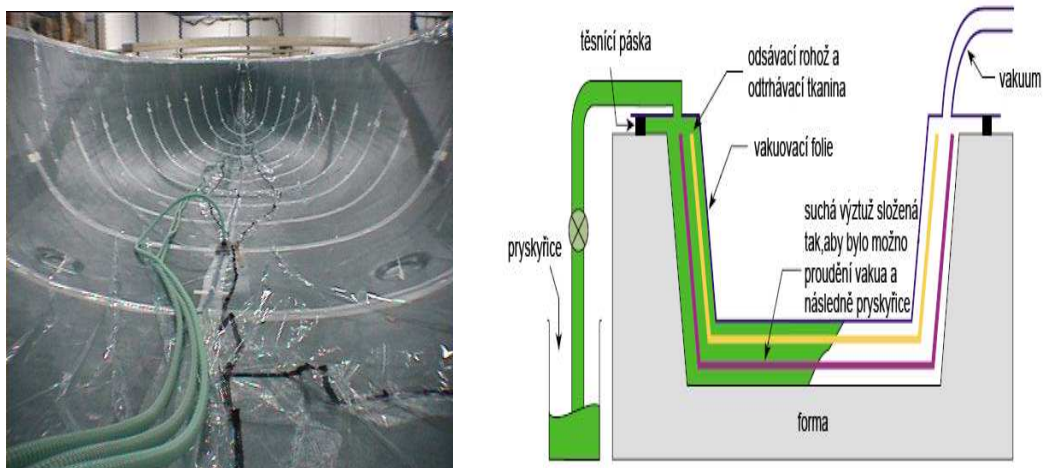
Při této technologii používáme jednodílnou, tzv. otevřenou formu. Formy mohou být pozitivní nebo negativní. Pozitivní mají lícovou vnější hladkou část shodnou s vnitřním tvarem lodi a skořepina z nich vyrobená je hladká uvnitř. Formy negativní jsou hladké uvnitř a vyrobená skořepina má hladký vnější povrch. Formy pozitivní jinak také kopyta se užívají velmi zřídka a jsou používány jen pro výrobu lodí otevřených. Povrch takovýchto lodí musíme po sejmutí skořepiny povrchově upravovat. Na naseparovanou formu klademe suché výztuže. Postupně nanášíme rozváděcí tkaniny, vakuovací tkaniny a jiné potřebné materiá-

ly. Na ně se nanáší stejnoměrné vrstvy pryskyřice, která se po naklazení všech vrstev ještě dodatečně přivede ze zásobníku do všech míst prostřednictvím systémů hadiček.

Namísto druhé části formy se používá pružná folie, která je k okrajům formy řádně připevněna těsnícími páskami. Vakuum je odváděno pomocí kanálků z obvodu formy. Pryskyřice je vytvrzována při běžných atmosferických podmínkách.

Vhodným poměrem matice a výztuže můžeme snížit váhu výrobku snížením obsahu dutin v kompozitním materiálu. Díky uzavření folií se jedná o technologii při níž neunikají po dobu procesu škodlivé emise do ovzduší a je tak hygieničtější i pro obsluhu.

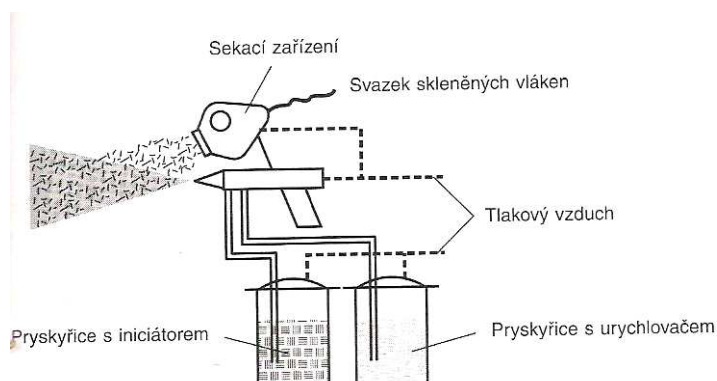
Skleněné výztuže skladujeme na suchém místě a v teple. Jakákoli vlhkost může znehodnotit její vlastnosti, především ztrátou schopností prosytit pryskyřicí a i po vysušení zůstávají tvrdé, nepoddajné a špatně tvarovatelné. Před samotným laminováním ostříháme okraje skleněné tkaniny, útky, které by mohly vytvářet vzduchové bubliny a kritická místa [13].



Obr. 12. Vakuová infuze [14]

### 3.4 Stříkání

Do formy se nastříká směs krátkých skleněných vláken a matrice která je následně slisována a vytvrzena. Zařízení má dvě nádrže – jedna na směs pryskyřice a iniciátoru, druhá na pryskyřici s urychlovačem. Svazek pramenců se rozseká na zařízení na délku 20-50 mm. Nastříkaná směs je poté ručně zaválečkována.



Obr. 13. Schéma stříkacího zařízení [3]

**Výhody:** přenosnost zařízení,  
cena zařízení,  
jakákoli velikost výrobku,

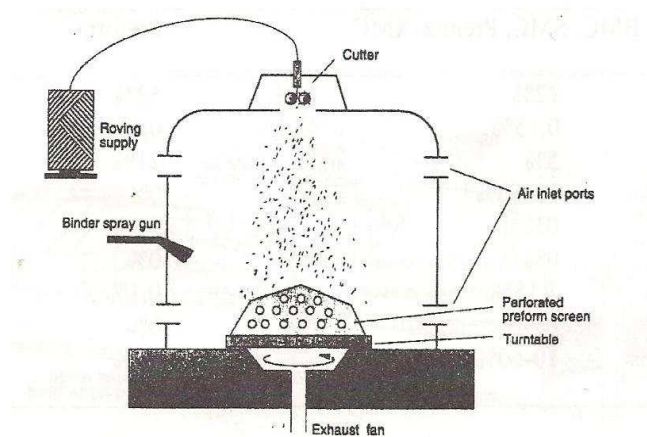
**Nevýhody:** nesnadno dosahuje přesnosti tolerancí.

Vlastnost/parametr	hodnota
Obsah skla (%)	25-40
Pevnost v tahu (MPa)	62-124
Pevnost v ohybu (MPa)	160-190
Modul pružnosti v tahu (GPa)	6-8

Tab. 8. Vlastnosti FRC vyrobených metodou stříkání [2]

### 3.5 Technologie RTM (resin transfer moulding), RIM (reaction injection-moulding)

Jde o vysokotlaké vstřikování. S auto injektážní technologií pracujeme v uzavřené formě. Jsou zde spojeny schopnosti lisování a vstřikování. Forma je naseparovaná a je na ni nanesen gelcoat. Pak do formy vložíme suché výztuže (skleněné tkaniny, pěnová jádra). Forma se uzavře a pod tlakem (0,2 - 0,35 MP) je vstříknuta katalyzovaná pryskyřice, která začne vytékat odtokovými otvory. Tyto jsou potom uzavřeny. Vytvrzuje se obvykle při pokojové teplotě a následně je forma otevřena, výrobek hotov.



Obr. 14. Technologie RTM [2]

**Výhody:** výrobky kvalitní povrch po obou stranách,  
snadné vlamínování dalších složek,  
možnost výroby i velice plošných výrobků,

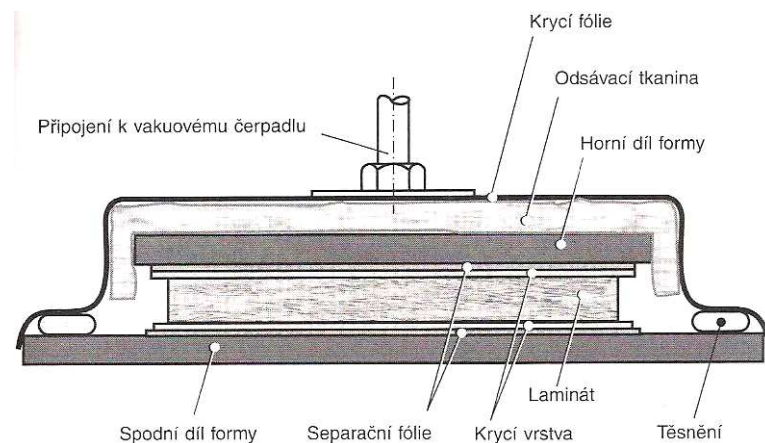
**Nevýhody:** drahé formy.

Pro zkrácení tohoto výrobního cyklu se používá metoda RIM. U metody RTM se složky nejprve smísí a pak vstříkují do formy, u metody RIM se jednotlivé složky skladují odděleně a mísí se přímo ve formě

**Výhody:** dlouhodobá skladovatelnost jednotlivých složek,  
zkrácení výrobního cyklu [3].

### 3.6 Lisování v autoklávu

Jde o spojení lisování pomocí vakuovaného a tlakového vaku. Autokláv je tlaková nádoba, která je vyhřívána [3]. Řízení teplot, tlaků a vakuovacích cyklů umožní stabilizaci a vytvrzení kompozitních materiálů.



Obr. 15. Lisování v autoklávu [3]

**Výhody:** zvýšení obsahu výztuží,  
může být vytvrzeno více částí v autoklávu,  
kvalitní výlisky,

**Nevýhody:** pracnost,  
cena autoklávu,  
pouze maloseriová výroba.

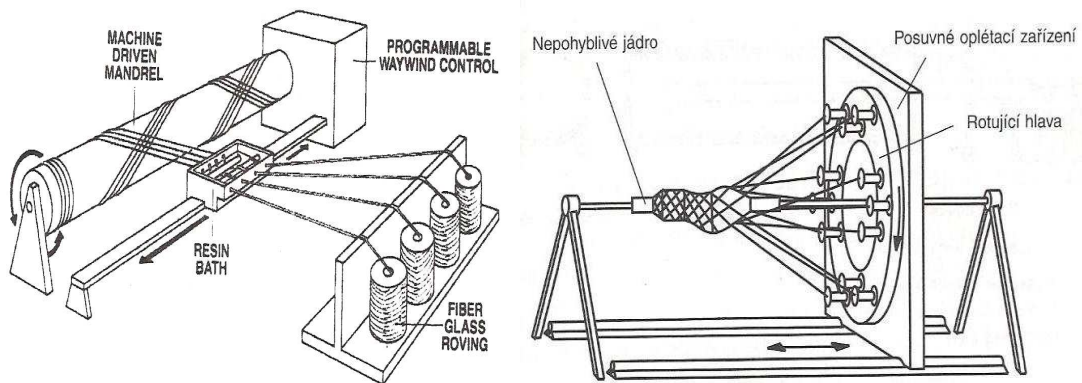
Vlastnost/parametr	Výztuž ve formě rohože	Tkaná výztuž
Obsah skla (%)	60	60-65
Pevnost v tahu (MPa)	300	500
Pevnost v ohybu (MPa)	340	600
Modul pružnosti v tahu (Mpa)	17	36

Tab. 9. Vlastnosti FRC vyrobených technikou autoklávu (E-sklo/polyester) [2]



### 3.7 Navíjení, oplétání

Navíjením a oplétáním se vyrábí dutá tělesa navíjením svazku vláken či výztuží na kruhovou formu. Touto metodou se dají vyrábět roury, nádrže, tlakové zásobníky, listová pera atd. Vlákná která jsou navíjena jsou buď již prosycena pryskyřicí nebo se provlhčují až po navinutí. Vytvrzení se provádí na jádře, které je posléze z výrobku vyňato. Vytvrzuje se kompozit i s jádrem, a to v peci při neustálé rotaci [2].



Obr. 16. Navíjecí a oplétací zařízení [2, 3]

- Výhody:** vysoká přesnost, reprodukovatelnost,  
dobrá produktivita,  
plná automatizace,
- Nevýhody:** oplétání: náročnost,  
vysoké náklady,  
nesnadné odstranění vnitřních forem.

Vlastnost/parametr	hodnota
Obsah skla (%)	50-85
Pevnost v tahu (MPa)	550-1800
Pevnost v ohybu (MPa)	700-1400
Modul pružnosti v tahu (MPa)	34-50

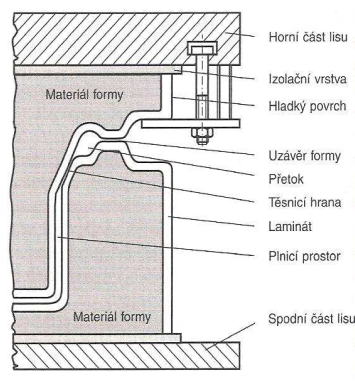
Tab. 10. Vlastnosti FRC vyrobených technikou navíjení [2]

### 3.8 Lisování ve formě

Užívá se pro masovou výrobu dílů. Všechny složky (pryskyřice, výztuže, plniva, barviva, separační činidla..) jsou uzavřeny ve formě jejíž dutina má tvar konečného výrobku, tlakem se zalisuje a poté je kompozit vytvrzen. Rozlišujeme lisování za tepla, nebo tzv. mokré lisování. Lisování za studena – teplota cca 30-60 °C, lisování za tepla – teplota cca 80-150 °C.

#### 3.8.1 Lisování za studena

Do formy se vloží se jednotlivé vrstvy výztuže a nalije pryskyřice, nástroj se uzavře. Může se provádět lisování za studena, nebo za tepla – vytápěná forma. Lisovací tlak 0,5-2 MPa. Lisovací nástroje jsou obvykle vyrobeny z plněných pryskyřic.



Obr. 17. Lisovací forma pro mokré lisování [3]

#### 3.8.2 Lisování za tepla

Používají se ocelové formy a hydraulické lisy. Vytvrzování probíhá přívodem tepla zvenčí. Formy jsou proto vyhřívány elektricky, olejem, párou. U polyesterových pryskyřic je lisovací teplota v rozmezí 130-160 °C, u epoxidových 125-200 °C.

### 3.9 Spojování kompozitů

V potřebné konstrukční celky, s vysokou pevností a tuhostí, spojíme jednotlivé komponenty pomocí lepených nebo mechanických spojů. U lepených spojů je hlavní funkcí přenášení zatížení z jedné vrstvy na druhou prostřednictvím smyku na rozhraní spoje, tzv. adhezí. Mechanicky pak dva nebo více kompozitů spojujeme kovovým materiálem např. nýty, kolíky, šrouby [15].

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

V praktické části se bude diplomová část zabývat experimentálním testováním a volbou samotného materiálového složení pro výrobu sportovního náčiní. Cíle lze shrnout:

### I. Teoretická část

1. Pojivo, vlákna
2. Využití kompozitů ve sportovním průmyslu
3. Přehled zpracovatelských technologií

### II. Praktická část

1. Návrh technologického postupu pro výrobu sportovního náčiní
2. Návrh materiálové skladby (tkaniny tkané, multiaxiální), pěnových jader s různou tloušťkou
3. Experimentální výroba zkušebních vzorků dle navržných skladeb – sendvičkové konstrukce
4. Příprava zkušebních tělísek pro experimentální testování dle norem:  
Stanovení ohybových vlastností dle normy: DIN EN ISO 178  
Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy dle normy: DIN EN 179  
Stanovení chování tuhých plastů při víceosém rázovém namáhání dle normy:  
DIN EN 6603
5. Diskuze dosažených výsledků
6. Závěr

## 5 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY KAJAKU VAKUOVOU METODOU POD PRUŽNOU FOLIÍ TZV. VACUUM BAGGING

Společnost Havel composites se zabývá dodávkou a výrobou v oblasti polymerních kompozitních materiálů po celé Evropě. Funguje od roku 2000 a jedním z úspěchů je výroba ultralehkého mini-kajaku o délce 4,2 m a váze 1,9 kg. V diplomové práci je popsán obecný postup výroby kajaku K1 o délce 5,2 m a váze 11 kg.

### 5.1 Výroba formy a modelu

Před vlastní výrobou kajaku, jeho formy je třeba vyrobit model, který je kopií výrobku. Modely se vyrábí podle výkresové dokumentace, předlohy. K výrobě modelu je často používáno dřevo, překližka nebo také tuhé pěny a tmely. Cena modelu bývá vysoká neboť je potřeba velké zručnosti a s tím spojené časové náročnosti. Vysoký důraz je taky kladen na kvalitu povrchu. Po zpracování povrchu modelu je nutno model tepelně stabilizovat a povrchově upravit například polyuretanovými laky a tmely vytvořit dělicí roviny.

Na takto vyrobeném modelu můžeme začít vyrábět formu. V této diplomové práci se setkáme s formou vlastní výroby fi Havel Composites. Jedná se o formu s vodorovnou dělicí rovinou. Jedna polovina formy je určena jako spodek (dno) lodi, druhá pro palubu. Dělicí roviny jsou tvořeny přírubami šíře cca 40-50 mm na obou polovinách formy. Příruby na sebe budou těsně přiléhat v dělicí ploše, ale i v návaznosti hladkých vnitřních ploch. Jedná se o formu laminátovou vyrobenou z formovací polyesterové pryskyřice.

### 5.2 Pořadí technologických vrstev kompozitu

#### Gelcoat

Předlaminační vrstva, tzv. gelcoat je první vrstva při výrobě kajaku. V praxi nejpoužívanější gelcoaty jsou založeny na epoxidové nebo nenasycené polyesterové bázi. Zajišťují kvalitní povrch vlákniny zesíleného kompozitu. Zabraňují prorážení struktury výztuže na povrchu výrobku. Gelcoat tak chrání celkový povrch, je odolný proti UV degradaci. Pro zlepšení estetického vzhledu může být různě barevně upravován pigmenty. Pigment musí dostatečně krýt, být odolný proti povětrnostním vlivům. Musí zaručovat stálost probarvení. Používají se proto častěji anorganické pigmenty, kysličníky kovů. V dnešní době se ale apeluje na ochranu životního prostředí, proto se pomalu přechází k pigmentům na organic-

ké bázi. Pro výrobu kajaku byl použit pigment ve formě polyesterové pasty. Různých barevných motivů nejen na přídí kajaku dosáhneme pomocí stříkácí pistole a lepicí pásky k Airbrush technologii. Páska je polokeprová a dá se jednoduše odstranit bez zanechání zbytků lepidla.



*Obr. 18. Možné probarvení gelcoatem, Interní foto fi Havel*

Tato vnější vrstva gelcoatu je typicky 0,5 mm – 0,8 mm široká. Výhodou je, že praskliny, škrábance či jiné vady vzniklé malým porušením výrobku můžeme poměrně snadno opravit brusným papírem. Gelcoat necháme zgelovatět asi 4 hodiny a nanášíme pryskyřici, do které se již klade výztuž.

### **Epoxidová pryskyřice**

Na gelcoat je nanesena první vrstva – epoxidová pryskyřice 289. Naneseme ručně stejnoměrnou tenkou vrstvu pryskyřice. Tato pryskyřice vytváří hladký a lesklý povrch a je nanesena štětcem. V tomto případě se jedná o natuženou pryskyřici tužidlem 501 M6S. Doba zpracovatelnosti je od přibližně 15 min. do 5 hodin.

### **Skelná výztuž , karbon**

Na řadu přichází první vrstva skla. Typ Aeroglass 280. Jedná se o skelnou tkaninu s hustotou 279 g/m<sup>2</sup>. V našem případě se jedná o probarvený Aeroglass. Tento typ tkaniny má dobrou tvarovatelnost a snadné prosycování. Je dodáváný v plátňové nebo keprové vazbě a také s modrým identifikačním proužkem v osnově tkaniny. Tvrдне při asi 30 °C. Skelná výztuž je použita na trub kajaku. Do špiček výrobku byl použit karbon, neboli uhlíková výztuž z důvodů lepších pevnostních vlastností.

### **Pěny**

Jako pátá vrstva je použit nejdříve Soric. Je těžší než následující Airex a dává se pod pěnu Airex z důvodů větší ohebnosti. Je kompatibilní se všemi druhy pryskyřic. Airex – PVC pěna je pěna s uzavřenými póry pro sendvičové konstrukce. Díky ní získáme vyšší tuhost,

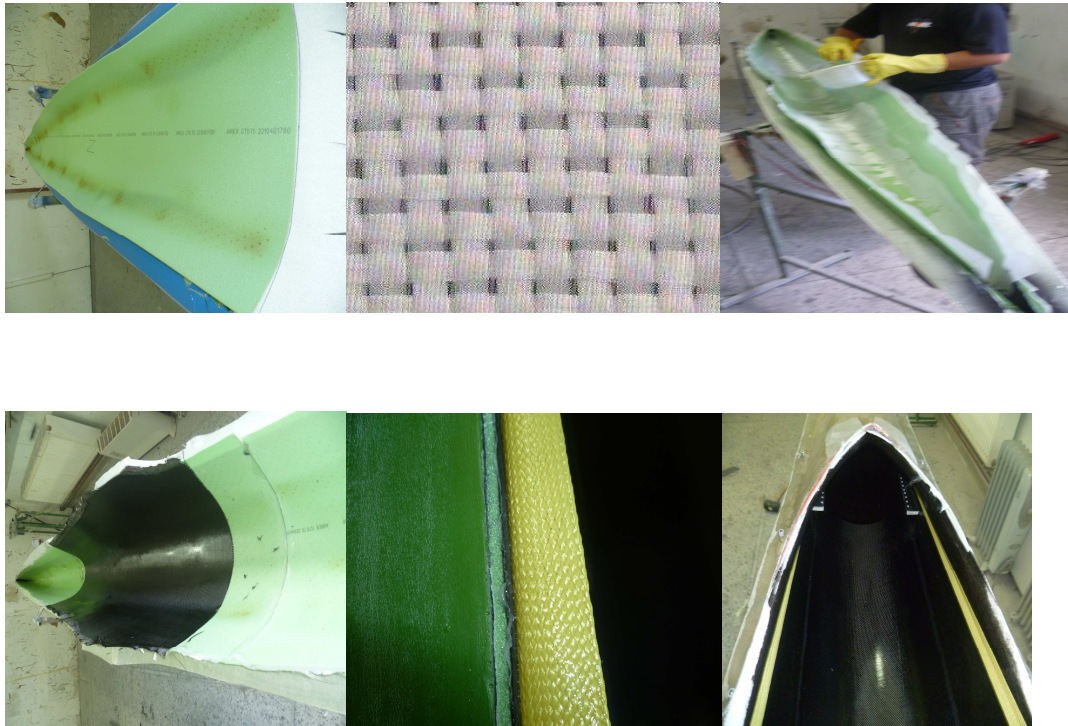
lepší izolační vlastnosti a nižší hmotnost výrobku. Zachycuje statické a dynamické vlastnosti. Dobře absorbuje vodu a je odolná vůči chemikáliím.

### **Aeroglass, pryskyřice**

Aeroglass 163 v plátně. Dodávaný v keprové nebo v našem případě plátňové vazbě. Vhodný jako první i poslední vrstva ale i jako konstrukční tkanina vnitřních vrstev laminátu. Rychle se prosycuje. Do špiček kajaku je z důvodu vizuálního (místo k sezení) použito probarveného Aeroglasu 200 g/m<sup>2</sup>. K zahuštění prozatímních vrstev použijeme pryskyřici LH 160 s tvrdidlem H146. Její vlastností je nízká viskozita a odolnost proti krystalizaci.

Na závěr se dá do výztuh kevlar který se původně používal jako náhrada za ocel při výztuže pneumatik. V dnešní době se používá všude tam, kde je potřeba vysoké pevnosti. Je tedy vhodný pro plastické zpevnění trupů lodí. Pokud se kevlar stočí, výsledné vlákno má pak vysokou pevnost v tahu – až 3000 MPa a relativní hustotu 1,44 g/cm<sup>3</sup>. Kevlar se nalakuje lakem a vakuuje se.





*Obr. 19. Technologický postup výroby kajaku fi Havel, typ K1*

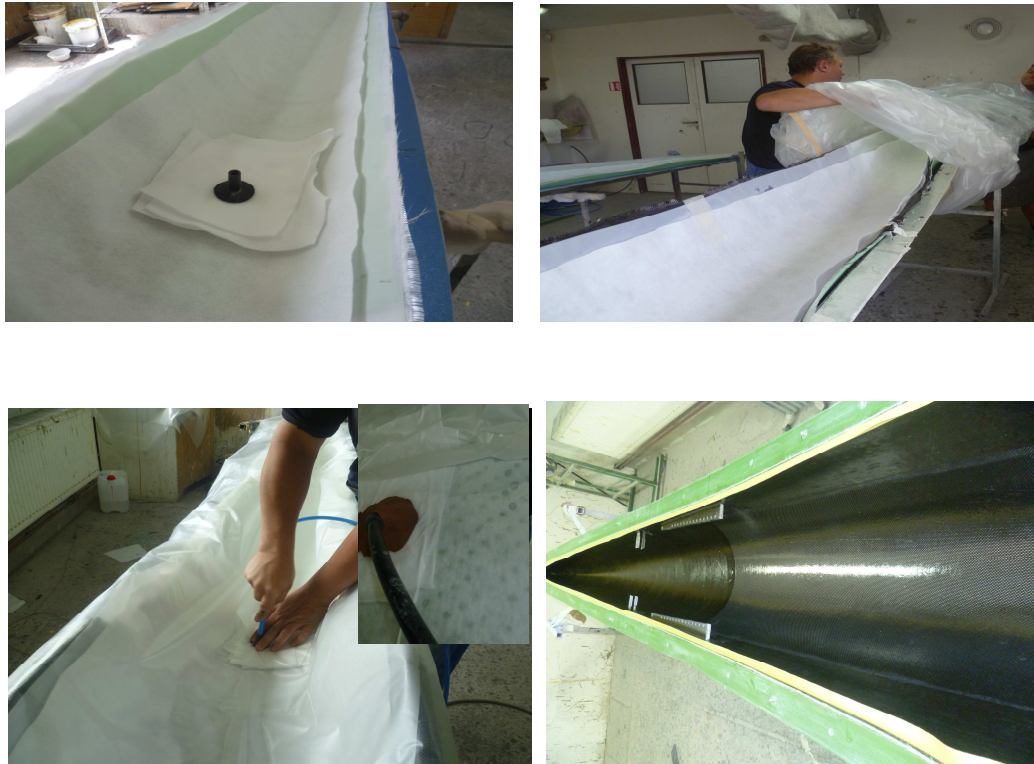
- a) Nanesený gelcoat, b) Skelná výztuž, karbon ve špičkách, c) Aeroglass, pryskyřice  
d) Spodní vrstva Sorica, vrchní – Airex, e) Aeroglass 163 (5), f) Pryskyřice, Aeroglass,  
g) Uhlíkové vlákno ve špičkách kajaku, h) Kevlar*

### **5.3 Vacuum bagging kajaku**

Na navrstvený materiál položíme o málo velikostně větší strhávací tkaninu. Pro dokonalé celoplošné odsání vzduchu a přebytečné pryskyřice uložíme na strhávací tkaninu odsávací rohož pro vakuování. Následně celou formu „vložíme“ do folie pro vakuování. Havel flex je velice pružná, čirá folie s velkým protažením. Je odolná epoxidovým i polyesterovým pryskyřicím. Tloušťka je 0,05 mm (šíře 160 cm) nebo 0,1 mm (šíře 138 cm).

K řádnému přidržení vakuových hadic se používá vakuum butylkaučuková lepicí a těsnicí hmota. Dodávána bývá ve formě pásku 10x2 mm nebo ve formě plastelíny.





Obr. 20. Vakuovací materiál, folie pro vakuování, Interní foto Jiří Havel

Kevlarovou páskou se spojí dvě části v dělicí rovině k sobě a zašroubují se.

### 5.3.1 Pomocné prostředky k vakuové technologii

Pro dobře provedenou vakuovou technologii je potřeba kvalitních a spolehlivých prostředků. Jedná se především o:

#### Separátory forem

Jedná se především o separátory na bázi vosku, které jsou vhodné pro epoxidové, polyesterové pryskyřice a gelcoaty. Nanáší se až ve třech vrstvách a jednotlivé vrstvy se nechají cca 15 minut zaschnout a poté se leští. Na závěr je nutné je dokonale, například flanelem, vyleštíme a necháme zaschnout 1-2 hodiny.

#### Těsnící pásy, na „AirBrush“

Pásy se dají používat na vytváření vzorů při nanášení gelcoatu.

#### Nože, nůžky

Užívají se pro stříhání skelných tkanin, rohoží. Měly by odolávat rozpouštědlům, např. acetonu.

K ořezávání gelu používáme nože nebo ostře nabroušené stěrky. Řezací nástroj vedeme tak, že je k podélné ose řezu skloněn v ostrém úhlu, ale současně musí přitlačovat laminát k formě [13].

### Válečky

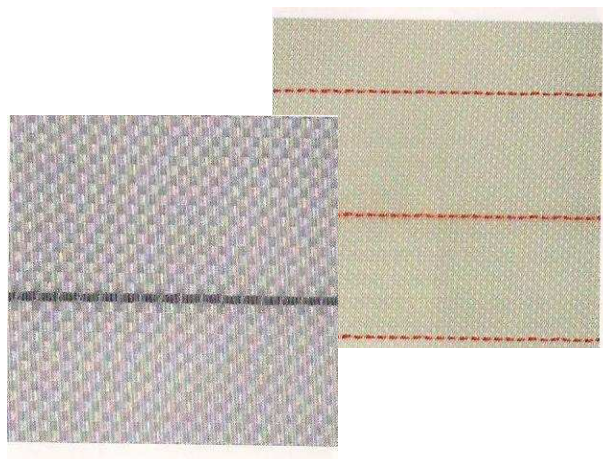
Pro vytlačování přebytečné pryskyřice a vzduchových bublin jsou pro technologii nutné válečky. Nejčastěji se používají válečky kovové. Vyrábí se např. s podélným nebo příčným rýhováním. Váleček s příčným rýhováním je vhodný všude tam, kde jiné válečky rozstříkují přebytečnou pryskyřici. Váleček soudkovitého tvaru je vhodný pro vyduté tvary, do kterých se nevejdou ostatní typy válečků. Váleček vyrobený s tuhých štětin propichuje tkaninu v místech, kde se vytváří malé vzduchové bubliny a při jeho použití je větší šance na perfektní design.



Obr. 21. Válečky na prosycování

### Strhávací tkanina

Tkanina oddělující výrobek od pomocných materiálů (odsávacích rohoží). Strhávací tkanina zároveň propouští pryskyřici a po vytvrzení zanechává ucelený, matný povrch výrobku. Tyto tkaniny jsou dodávány v různých gramážích (83 g/m<sup>2</sup>, 64 g/m<sup>2</sup>, 50 g/m<sup>2</sup>) a s rozdílným probarvením vodících čar [5].



Obr. 22. Strhávací tkanina [5]

**Separální folie**

Mezi laminát a strhávací tkaninu se přidá tato folie pro vakuování. Snadněji potom strháme pomocný odsávací materiál. Vyráběny jsou v různých barvách, tloušťkách a šířkách. Jsou odolné pryskyřicím, pevné a musí udržet vakuum.

## 6 NÁVRH MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ A VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

Cílem diplomové práce je inovace, zlepšení mechanických vlastností stávajícího materiálového složení sportovního náčiní. Byly vyrobeny čtyři desky o rozměrech 50x50 cm, z nich vyříznuty vzorky čtyř materiálových složení.

### 6.1 Stávající materiálové složení

Jako první materiálové a tedy testované složení je stávající složení pro výrobu sportovního náčiní firmy HAVEL COMPOSITES CZ s.r.o.

Poř. Č.	Materiál	Časy
1.	UP Gelcoat	10 min.
2.	Epoxidová pryskyřice LH 289	20 –30 min.
3.	Skelná tkanina Aeroglass 280 g/m <sup>2</sup>	20 min.
4.	Lantor Soric	20 min.
<b>5.</b>	<b>Airex C70.55, tl. 3 mm</b>	15 min.
6.	Skelná tkanina Aeroglass 163 g/m <sup>2</sup>	20 min.
6.a.	Skelná tkanina Aeroglass 200 g/m <sup>2</sup>	20 min.
7.	Epoxidová pryskyřice LH 160 s tvrdidlem H146	20 –30 min.
8.	Kevlar	20 min.

*Tab. 11. Skladba prvního (stávajícího) materiálové složení*

Airex C70 je strukturní pěna na PVC bázi. Airex má uzavřené póry a nabízí vyrovnanost statických a dynamických vlastností. Dobře absorbuje vodu. Mají velký rozsah provozních teplot od -240 °C do +80 °C a jsou odolné vůči velkému množství chemikálií.

Zpracování: laminací (ruční, spray)

RTM

Vakuová infuze

## 6.2 Druhé materiálové složení

Poř. Č.	Materiál	Časy
1.	UP Gelcoat	10 min.
2.	Epoxidová pryskyřice LH 289	20 –30 min.
3.	Skelná tkanina Aeroglass 280 g/m <sup>2</sup>	20 min.
4.	Lantor Soric	20 min.
<b>5.</b>	<b>Airex C70.55, tl. 10 mm</b>	15 min.
6.	Skelná tkanina Aeroglass 163 g/m <sup>2</sup>	20 min.
6.a.	Skelná tkanina Aeroglass 200 g/m <sup>2</sup>	20 min.
7.	Epoxidová pryskyřice LH 160 s tvrdidlem H146	20 –30 min.
8.	Kevlar	20 min.

Tab. 12. Skladba třetího materiálového složení

## 6.3 Třetí materiálové složení

Poř. Č.	Materiál	Časy
1.	UP Gelcoat	10 min.
2.	Epoxidová pryskyřice LH 289	20 –30 min.
3.	Skelná tkanina Aeroglass 280 g/m <sup>2</sup>	20 min.
4.	Lantor Soric	20 min.
<b>5.</b>	<b>PET pěna tl. 3mm</b>	15 min.
6.	Skelná tkanina Aeroglass 163 g/m <sup>2</sup>	20 min.
6.a.	Skelná tkanina Aeroglass 200 g/m <sup>2</sup>	20 min.
7.	Epoxidová pryskyřice LH 160 s tvrdidlem H146	20 –30 min.
8.	Kevlar	20 min.

Tab. 13. Skladba třetího materiálového složení

## 6.4 Čtvrté materiálové složení

Ve třetím materiálovém složení byla při výrobě vyměněna pěna. U čtvrtého složení proběhla navíc změna skelné tkaniny Aeroglass 163 g/m<sup>2</sup> za tkaninu biaxiální v gramáži 300 g/m<sup>2</sup>, ± 45°.

Poř. Č.	Materiál	Časy
1.	UP Gelcoat	10 min.
2.	Epoxidová pryskyřice LH 289	20 –30 min.
3.	Skelná tkanina Aeroglass 280 g/m <sup>2</sup>	20 min.
4.	Lantor Soric	20 min.
<b>5.</b>	<b>PET pěna tl. 3mm</b>	15 min.
6.	<b>Biaxiální tkanina 300 g/m<sup>2</sup></b>	20 min.
6.a.	Skelná tkanina Aeroglass 200 g/m <sup>2</sup>	20 min.
7.	Epoxidová pryskyřice LH 160 s tvrdidlem H146	20 –30 min.
8.	Kevlar	20 min.

Tab. 14. Skladba čtvrtého materiálového složení

Bližší určení časů a dob vytvrzování závisí od materiálových listů (viz. přílohy), od zručnosti a schopnosti pracovníků a od ručního nanášení či nástřiku.

Z každé kompozitní desky byla vyříznuta zkušební tělíska:

Pro zkoušku ohybem:

rozměry 150 x 20 mm

Pro zkoušku rázové houževnatosti Charpyho kladivem:

rozměry 75 x 20 mm

Pro stanovení rázového namáhání:

rozměry 100 x 100 mm

## 7 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Mechanické zkoušky ukazují schopnost materiálu odolávat mechanickému namáhání. Vnější namáháním dochází k deformaci, pokud zatížení roste nad určitou mez, dojde k jejich porušení. Zkouškami můžeme simulovat chování materiálu v praxi při namáhání a předejít možným problémům. Nejčastějšími testy pro zkoušení kompozitních profilů pevnost v tahu, ohybové vlastnosti, pevnost v tlaku, rázová houževnatost, tvrdost.

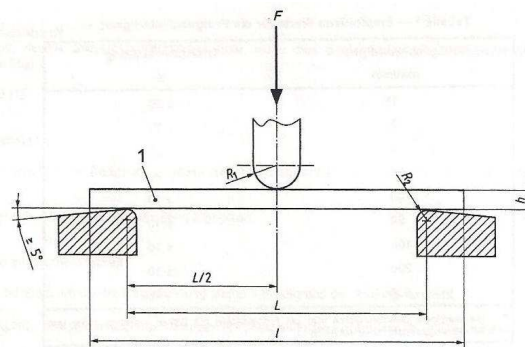
### 7.1 Zkouška ohybem

Jedná se o statickou zkoušku mechanických vlastností. U statických zkoušek se síla zvyšuje rovnoměrně, bez rázů. Při zkoušce ohybem je zkušební těleso položeno na podpěry a konstantní rychlostí deformováno zátěží kolmo na rovinu tělesa. Naměřené hodnoty jsou vyhodnocovány dle vztahů:

Maximální napětí v ohybu materiálu  $\sigma_o = M_o/W_o$  [Mpa]

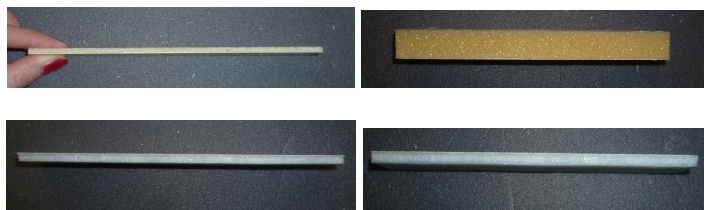
Maximální ohybový moment  $M_o = (F*L_p)/4$  [N.mm]

Modul průřezu v ohybu zkoušeného tělesa  $W_o = (b_0*a_0)/6$  [mm<sup>3</sup>]



Obr. 23. Zkouška ohybem dle DIN EN ISO 178

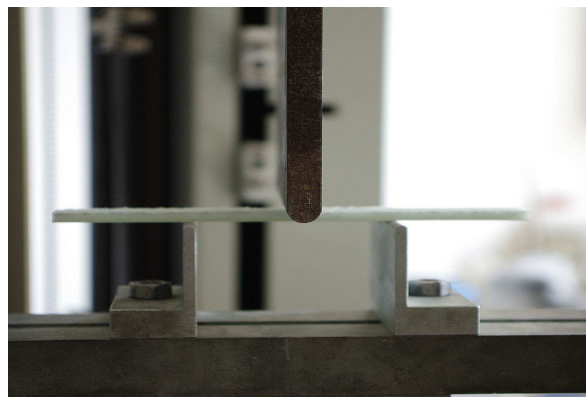
**Testovací tělíska:**



Obr. 24. Vzorky čtyř materiálových složení

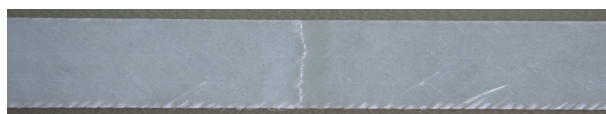
- Počet ks:** Minimálně 10 vzorků každého složení
- Testovací požadavky:** Změřit a následně porovnat mez pevnosti a modul pružnosti u zkušebních tělísek všech materiálových složení o průměrných rozměrech:
1. mat. složení: tloušťka  $a = 3,6$  mm šířka  $b = 20,8$  mm
  2. mat. složení: tloušťka  $a = 10,7$  mm šířka  $b = 21,0$  mm
  3. mat. složení: tloušťka  $a = 3,9$  mm šířka  $b = 19,6$  mm
  4. mat. složení: tloušťka  $a = 3,9$  mm šířka  $b = 19,6$  mm
- Zkouška provedena dle DIN EN ISO 178
- Měřicí a testovací zařízení:** Univerzální testovací stroj pro statické a dynamické zkoušky Zwick 1456
- Teplotní rozsah zkoušek:  $-70^{\circ}\text{C}$  až  $+290^{\circ}\text{C}$
- Maximální posuv příčnicku: 800 mm/min
- Senzory síly: 2,5 a 20 kN

**Test foto:**



*Obr. 25. Zkouška ohybem*

**Foto po zkoušce:**



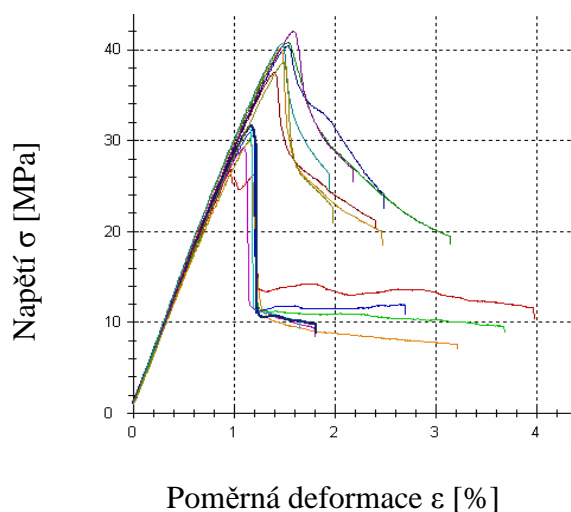
*Obr. 26. Vzorek po zkoušce ohybem*



## Výsledky: 1. materiálové složení

Vzorek	Mez pevnosti $\sigma_{mo}$ (MPa)	Modul pružnosti E (MPa)
1.	26,9	2790
2.	30,5	2800
3.	31,2	2850
4.	29,9	2760
5.	29,1	2920
6.	31,3	2990
7.	31,7	2890
8.	37,5	2880
9.	40,7	3010
10.	40,4	2910
11.	40	2980
12.	42	2860
13.	40,6	2990
14.	38,6	2730
<b>x</b>	<b>35</b>	<b>2880</b>
<b>s</b>	<b>5,35</b>	<b>90</b>
<b><math>v_k</math></b>	<b>15,27</b>	<b>3,12</b>

Tab. 15. Naměřené hodnoty 1. složení



Obr. 27. Grafické vyhodnocení série 1.

## Poznámky, přílohy

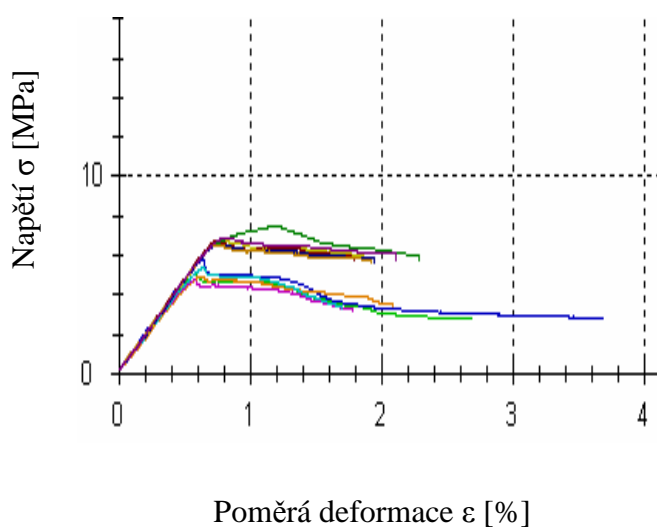
Gelcoat dole	Mez pevnosti $\sigma_{mo}$ (MPa)	Modul pružnosti E (MPa)	Gelcoat nahoře	Mez pevnosti $\sigma_{mo}$ (MPa)	Modul pružnosti E (MPa)
x	30,09	2857,14	x	39,97	2908,57
s	1,67	81,59	s	1,48	97,54
$v_k$	5,55	2,86	$v_k$	3,70	3,35

Tab. 16. Výsledky měření, porovnání gelcoat dole (vzorek 1. – 7.) vs nahoře (8. – 14.)

## Výsledky: 2. materiálové složení

Vzorek	Mez pevnosti $\sigma_{mo}$ (MPa)	Modul pružnosti E (MPa)
1.	5,01	900
2.	5,79	930
3.	4,94	837
4.	4,74	866
5.	5,37	866
6.	6,80	897
7.	6,79	924
8.	7,44	900
9.	6,56	911
10.	6,53	912
11.	6,93	914
<b>x</b>	<b>6,08</b>	<b>896</b>
<b>s</b>	<b>0,941</b>	<b>28,60</b>
<b><math>v_k</math></b>	<b>15,48</b>	<b>3,19</b>

Tab. 17. Naměřené hodnoty 2. složení



Obr. 28. Grafické vyhodnocení série 2.

### Poznámky, přílohy

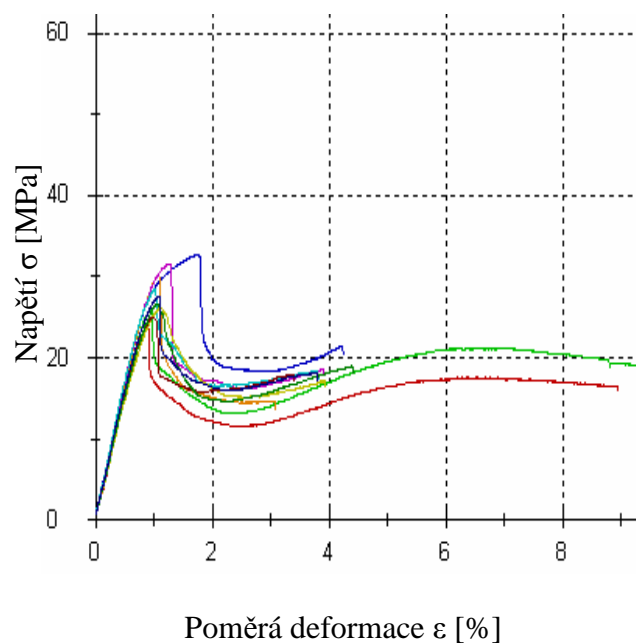
Gelcoat dole	Mez pevnosti $\sigma_{mo}$ (MPa)	Modul pružnosti E (MPa)	Gelcoat nahoře	Mez pevnosti $\sigma_{mo}$ (MPa)	Modul pružnosti E (MPa)
x	5,17	879,80	x	6,84	909,67
s	0,41	35,85	s	0,33	9,85
$v_k$	7,93	4,07	$v_k$	4,82	1,08

Tab. 18. Výsledky měření, porovnání gelcoat dole (vzorek 1. – 5.) vs nahoře (6. – 11.)

### Výsledky: 3. materiálové složení

Vzorek	Mez pevnosti $\sigma_{mo}$ (MPa)	Modul pružnosti E (MPa)
1.	23,9	3010
2.	26,0	3210
3.	32,6	3370
4.	30,2	3100
5.	31,5	3340
6.	28,4	3400
7.	26,2	2870
8.	24,9	3070
9.	26,6	3000
10.	27,6	3170
<b>x</b>	<b>27,8</b>	<b>3150</b>
<b>s</b>	<b>2,87</b>	<b>176</b>
<b>v<sub>k</sub></b>	<b>10,33</b>	<b>5,59</b>

Tab. 19. Naměřené hodnoty 3. složení



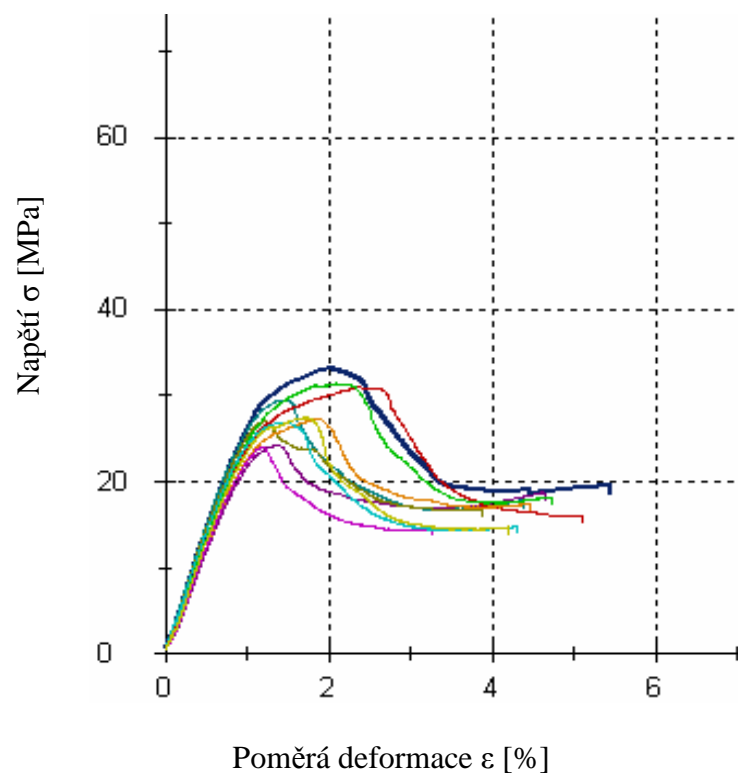
Obr. 29. Grafické vyhodnocení série 3.

Výsledky:

## 4. materiálové složení

Vzorek	Mez pevnosti $\sigma_{m0}$ (MPa)	Modul pružnosti E (MPa)
1.	33,1	2790
2.	24,3	2200
3.	29,5	2930
4.	27,0	2840
5.	31,0	2510
6.	31,3	2520
7.	27,2	2220
8.	24,0	2410
9.	26,9	2740
10.	27,4	2380
<b>x</b>	<b>28,17</b>	<b>2554</b>
<b>s</b>	<b>3,00</b>	<b>259,15</b>
<b>v<sub>k</sub></b>	<b>10,65</b>	<b>10,15</b>

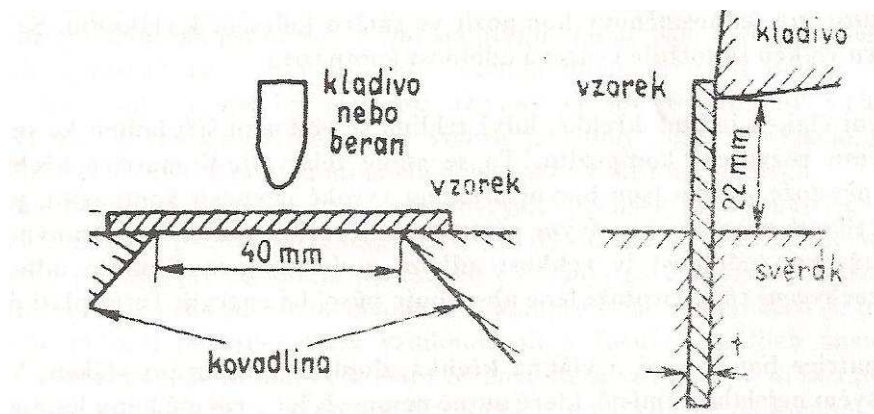
Tab. 20. Naměřené hodnoty 4. složení



Obr. 30. Grafické vyhodnocení série 4.

## 7.2 Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy

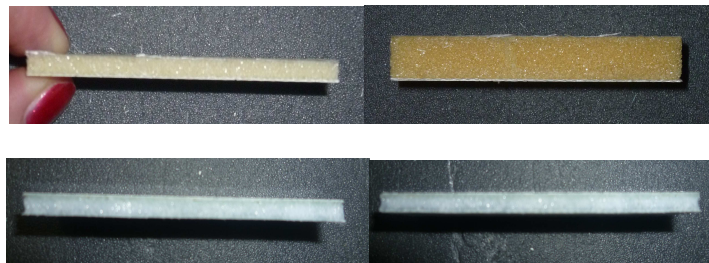
Rázová odolnost je schopnost absorbovat mechanickou energii při zatížení velikými rychlostmi. Pro zkoušení odolnosti kompozitního materiálu proti rázům používáme rázové zkoušky podle Charpyho nebo Izoda [10.] Jedná se tedy o zkoušku dynamickou, zatížení materiálu rázem v krátkém časovém intervalu. Účelem dynamických zkoušek je stanovení vlastností materiálu za působení dynamických sil.



Obr. 31. Schéma měření rázové houževnatosti [16]

Kompozitní zkušební tělíčko je volně upevněno do držáku a je uprostřed preraženo kyvadlem s definovanou energií úderníku a určenou rychlostí. Měříme energii potřebnou k přeražení tělesa [2].

### Testovací tělíška:



Obr. 32. Vzorky čtyř materiálů složení

<b>Počet ks:</b>	Minimálně 10 ks od každého složení
<b>Testovací požadavky:</b>	Změřit maximální energii potřebnou k přeražení zkušebního u čtyř materiálových složení kompozitních vzorků. Zkouška provedena dle DIN EN ISO 179
<b>Měřicí a testovací zařízení:</b>	CEAST Resil Impactor Junior, lze provádět měření dle Charpy a Izod
Hmotnost kladiva:	2,192 kg
Délka kladiva:	0,5 m
Počáteční úhel kladiva:	40°
Nárazová energie:	2,51 J
Energie kladiva:	7,5 J – 3,7 m/s

**Test foto:**



*Obr. 33. Charpyho kladivo*

**Foto po zkoušce:**

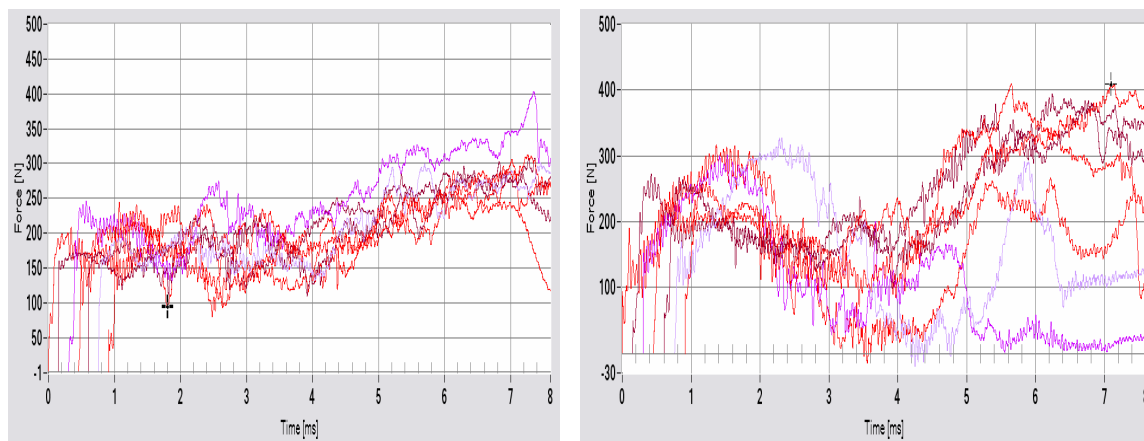


*Obr. 34. Vzorek po zkoušce rázové houževnatosti*

## Výsledky: 1. materiálové složení

Vzorek	$F_m$ [N]	$A_m$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
1.	267.20	4.59	5.61
2.	294.93	4.64	5.98
3.	403.32	6.57	7.18
4.	305.01	4.78	5.76
5.	323.92	6.22	6.23
6.	307.53	5.86	6.24
7.	312.57	4.95	6.18
8.	316.36	1.13	2.54
9.	393.24	5.26	7.11
10.	301.23	1.12	3.01
11.	355.43	3.44	6.13
12.	378.11	5.20	6.59
13.	326.44	1.44	2.70
14.	409.62	5.76	7.50
<b>x</b>	<b>335,35</b>	<b>4,35</b>	<b>5,63</b>
<b>s</b>	<b>44,67</b>	<b>1,86</b>	<b>1,65</b>

Tab. 21. Naměřené hodnoty 1. složení



Obr. 35. Grafické vyhodnocení série 1.

## Poznámky, přílohy:

Vzorek	$F_m$ [N]	$A_m$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
x	316,36	5,37	6,17
s	42,26	0,82	0,51

Tab. 22. Naměřené hodnoty gelcoat dole (vzorek 1. – 7.)

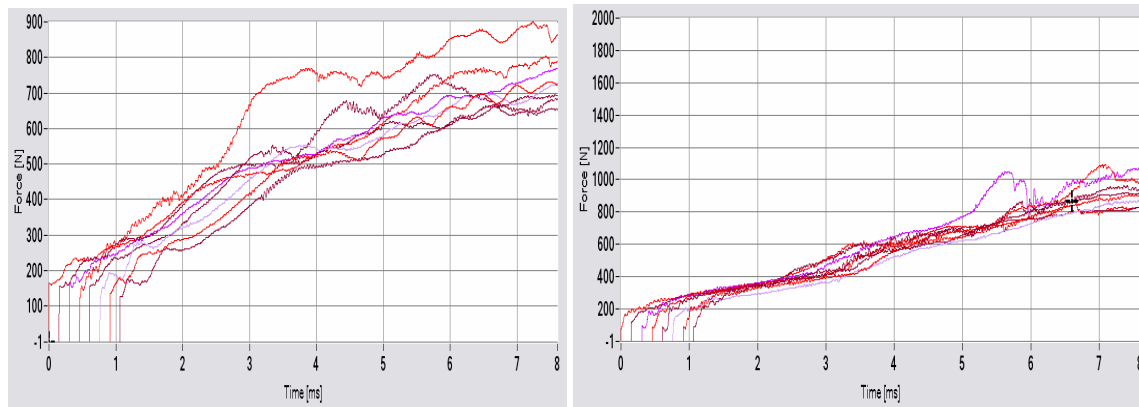
Vzorek	$F_m$ [N]	$A_m$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
x	354,35	3,34	5,08
s	41,19	2,10	2,23

Tab. 23. Naměřené hodnoty gelcoat nahoře (vzorek 8. – 14.)

## Výsledky: 2. materiálové složení

Vzorek	$F_m$ [N]	$A_m$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
1.	804,12	12,56	12,88
2.	695,73	12,50	12,53
3.	796,56	12,97	13,01
4.	899,91	13,75	15,20
5.	749,93	8,92	13,30
6.	777,66	13,10	13,11
7.	824,29	13,09	13,10
8.	733,54	12,37	12,55
9.	868,40	11,56	13,53
10.	838,15	13,35	13,52
11.	1124,26	14,81	15,01
12.	911,26	13,90	13,91
13.	985,62	14,45	14,50
14.	907,47	13,64	13,64
15.	1143,17	14,94	15,04
16.	942,77	14,86	14,87
<b>x</b>	<b>875,18</b>	<b>13,17</b>	<b>13,73</b>
<b>s</b>	<b>128,13</b>	<b>1,49</b>	<b>0,92</b>

Tab. 24. Naměřené hodnoty 2. složení



Obr. 36. Grafické vyhodnocení série 2.

## Poznámky, přílohy:

Vzorek	$F_m$ [N]	$A_m$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
x	785,22	12,41	13,21
s	62,27644	1,47	0,85

Tab. 25. Naměřené hodnoty gelcoat dole (vzorek 1. – 8.)

Vzorek	$F_m$ [N]	$A_m$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
x	965,14	13,94	14,25
s	113,17	1,13	0,68

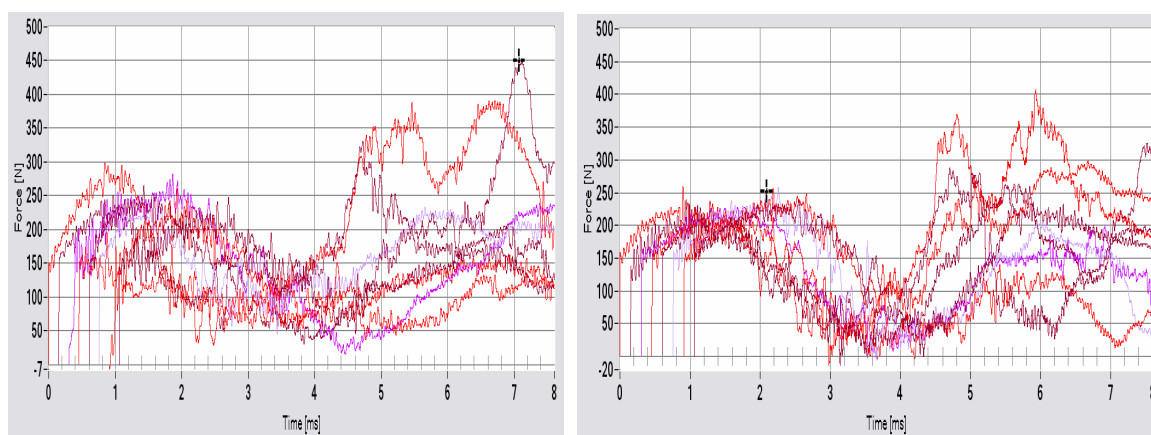
Tab. 26. Naměřené hodnoty gelcoat nahoře (vzorek 9. – 16.)



## Výsledky: 3. materiálové složení

Vzorek	$F_m$ [N]	$A_m$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
1.	298,71	0,77	4,02
2.	243,25	0,56	3,80
3.	281,07	1,32	4,50
4.	390,72	4,54	5,82
5.	330,22	2,97	5,26
6.	233,17	0,77	4,85
7.	262,16	0,72	3,66
8.	451,22	4,21	6,13
9.	369,29	2,90	5,53
10.	325,18	4,16	4,42
11.	228,13	1,18	3,86
12.	407,10	3,46	5,24
13.	263,42	2,58	4,23
14.	257,12	1,23	2,04
15.	255,86	1,03	2,28
16.	253,34	0,82	2,16
<b>x</b>	<b>303,12</b>	<b>2,08</b>	<b>4,24</b>
<b>s</b>	<b>68,66</b>	<b>1,44</b>	<b>1,27</b>

Tab. 27. Naměřené hodnoty 3. složení



Obr. 37. Grafické vyhodnocení série 3.

## Poznámky, přílohy:

Vzorek	$F_m$ [N]	$A_m$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
x	311,31	1,98	4,76
s	76,03	1,67	0,93

Tab. 28. Naměřené hodnoty gelcoat dole (vzorek 1. – 8.)

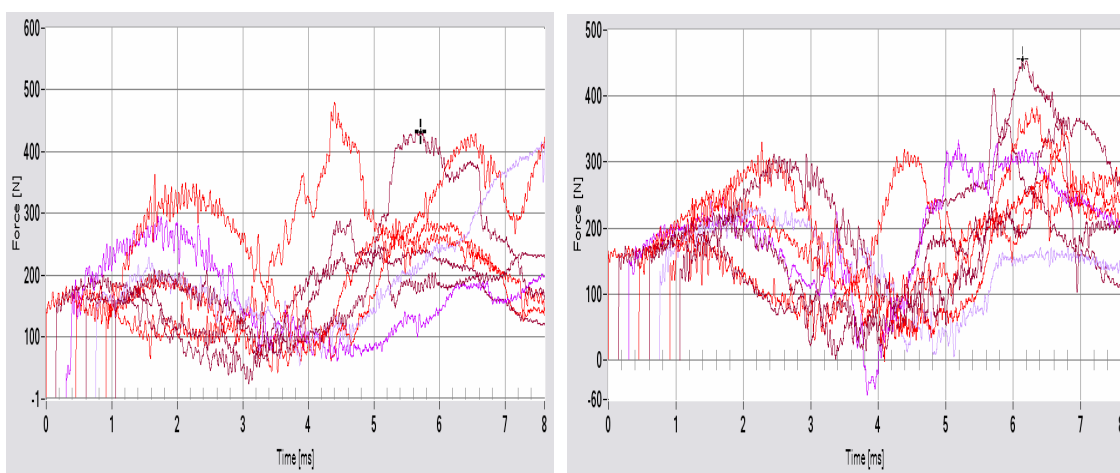
Vzorek	$F_m$ [N]	$A_m$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
x	294,93	2,17	3,72
s	64,55	1,27	1,40

Tab. 29. Naměřené hodnoty gelcoat nahoře (vzorek 9. – 16.)

## Výsledky: 3. materiálové složení

Vzorek	$F_m$ [N]	$A_m$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
1.	480,20	3.04	6.04
2.	289,89	2.66	4.92
3.	294,93	1.29	4.83
4.	291,14	2.90	5.02
5.	248,30	2.44	4.81
6.	478,95	6.32	6.35
7.	500,37	7.39	7.89
8.	433,57	3.26	6.09
9.	318,88	2.50	5.22
10.	410,88	3.10	4.65
11.	332,74	3.08	5.65
12.	359,21	4.35	5.60
13.	368,03	3.87	5.46
14.	234,43	0.91	4.34
15.	383,16	3.84	5.78
16.	456,26	3.94	6.36
<b>x</b>	<b>367,56</b>	<b>3,43</b>	<b>5,56</b>
<b>s</b>	<b>85,57</b>	<b>1,62</b>	<b>0,88</b>

Tab. 30. Naměřené hodnoty 4. složení



Obr. 38. Grafické vyhodnocení série 4.

## Poznámky, přílohy:

Vzorek	$F_m$ [N]	$A_m$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
x	377,17	3,66	5,75
s	105,37	2,08	1,07

Tab. 31. Naměřené hodnoty gelcoat dole (vzorek 1. – 8.)

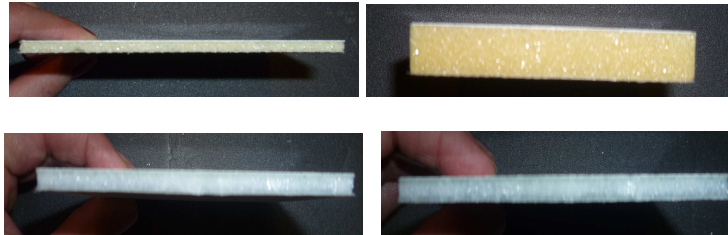
Vzorek	$F_m$ [N]	$A_m$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	$A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
x	357,95	3,20	5,38
s	66,14	1,10	0,64

Tab. 32. Naměřené hodnoty gelcoat nahoře (vzorek 9. – 16.)

### 7.3 Zkouška rázovým namáháním

Tzv. crash test udává rázovou houževnatost, čili odolnost zkušebního tělesa proti porušení pádem, rázem. Vyjadřuje se jako množství energie v kilojoulech potřebné k přeražení tělesa.

#### Testovací tělíska:



Obr. 39. Vzorky čtyř materiálových složení

**Počet ks:** Minimálně 10 vzorků každého složení

**Testovací požadavky:** Volně padající těleso je spuštěno volenou kinetickou energií. Těleso (tzv. tlouk z kalené oceli průměru  $10\pm 0,2$  mm) spustí se kolmo k rovině testovaného vzorku a měříme maximální rázovou sílu potřebnou k proražení.

**Měřicí a testovací zařízení:** Zwick Roell HIT 230F

**Test foto:**

**Foto po zkoušce:**



Obr. 40. Padostroj

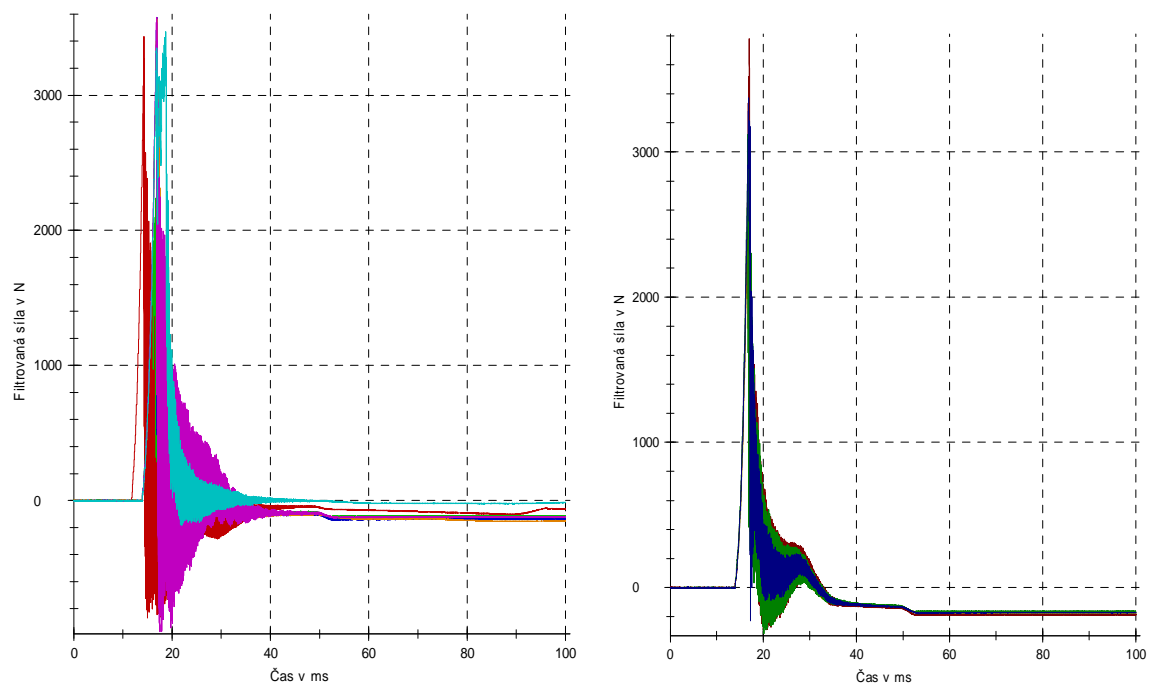


Obr. 41. Vzorek po zkoušce rázovým namáháním

## Výsledky: 1. materiálové složení

Vzorek	F max [N]	W [J]
1.	3433,10	9,01
2.	2237,83	7,56
3.	3573,37	11,10
4.	3564,33	11,39
5.	3575,52	10,92
6.	3470,87	25,18
7.	2995,37	9,87
8.	3778,92	9,90
9.	3119,90	8,65
10.	3370,93	9,67
<b>x.</b>	<b>3312,01</b>	<b>11,33</b>
<b>s</b>	<b>441,44</b>	<b>5,01</b>
<b>v<sub>k</sub></b>	<b>13,33</b>	<b>44,22</b>

Tab. 33. Naměřené hodnoty 1. složení



Obr. 42. Grafické vyhodnocení série 1.

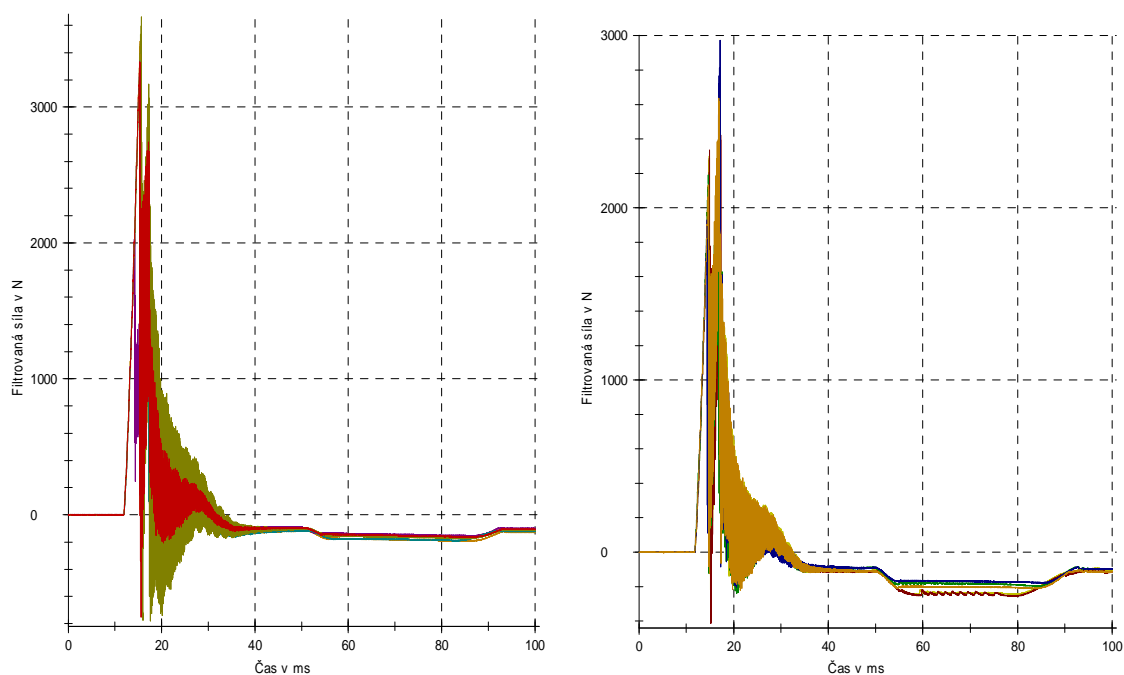
## Poznámky, přílohy:

Gelcoatem nahore	F max [N]	W [J]	Gelcoatem dole	F max [N]	W [J]
x	3309,17	12,53	x	3316,28	9,52
s	528,23	6,37	s	345,72	0,59
v <sub>k</sub>	15,96	50,87	v <sub>k</sub>	10,42	6,21

Tab. 34. Naměřené hodnoty gelcoat nahore (vzorek 1. – 6.) vs gelcoat dole (7. – 10.)

**Výsledky: 2. materiálové složení**

Vzorek	F max [N]	W [J]
1.	3481,09	15,29
2.	2091,99	16,18
3.	3338,70	14,49
4.	3660,39	17,42
5.	3328,60	14,17
6.	2504,29	16,30
7.	2288,54	14,99
8.	2973,38	17,05
9.	2636,85	15,87
<b>x</b>	<b>2922,65</b>	<b>15,751</b>
<b>s</b>	<b>564,07</b>	<b>1,11</b>
<b>v<sub>k</sub></b>	<b>19,30</b>	<b>7,05</b>

*Tab. 35. Naměřené hodnoty 2. složení*

*Obr. 43. Grafické vyhodnocení série 2.*
**Poznámky, přílohy:**

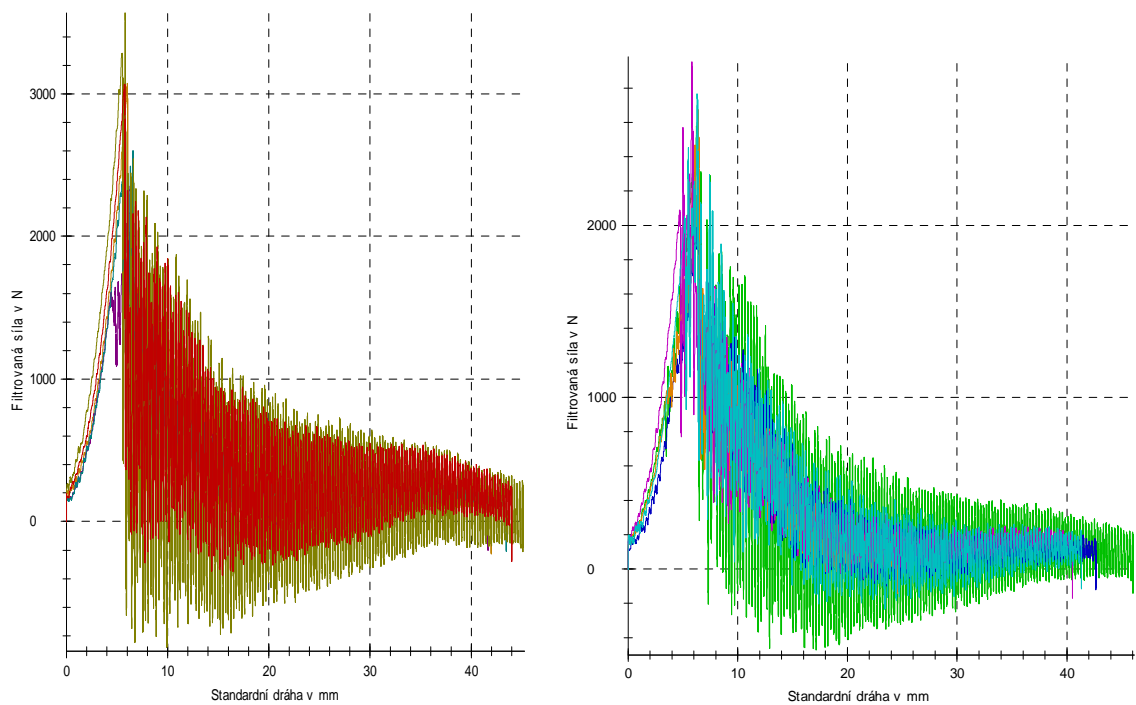
Gelcoatem nahore	F <sub>max</sub> [N]	W [J]	Gelcoatem dole	F <sub>max</sub> [N]	W [J]
x	3180,15	15,51	x	2540,51	14,61
s	622,99	1,32	s	282,65	3,3
v <sub>k</sub>	19,59	8,53	v <sub>k</sub>	11,13	22,58

*Tab. 36. Naměřené hodnoty gelcoat nahore (vzorek 1. – 5.) vs gelcoat dole (6. – 9.)*

### Výsledky: 3. materiálové složení

Vzorek	F max [N]	W [J]
1.	3073,31	6,85
2.	2354,17	5,88
3.	2601,03	6,84
4.	3565,27	7,85
5.	3066,34	6,79
6.	2614,59	6,40
7.	2162,25	5,12
8.	2674,86	6,03
9.	2953,17	6,04
10.	2766,13	6,09
<b>x</b>	<b>2783,11</b>	<b>6,39</b>
<b>s</b>	<b>401,13</b>	<b>0,74</b>
<b>v<sub>k</sub></b>	<b>14,41</b>	<b>11,58</b>

Tab. 37. Naměřené hodnoty 3. složení



Obr. 44. Grafické vyhodnocení série 3.

### Poznámky, přílohy:

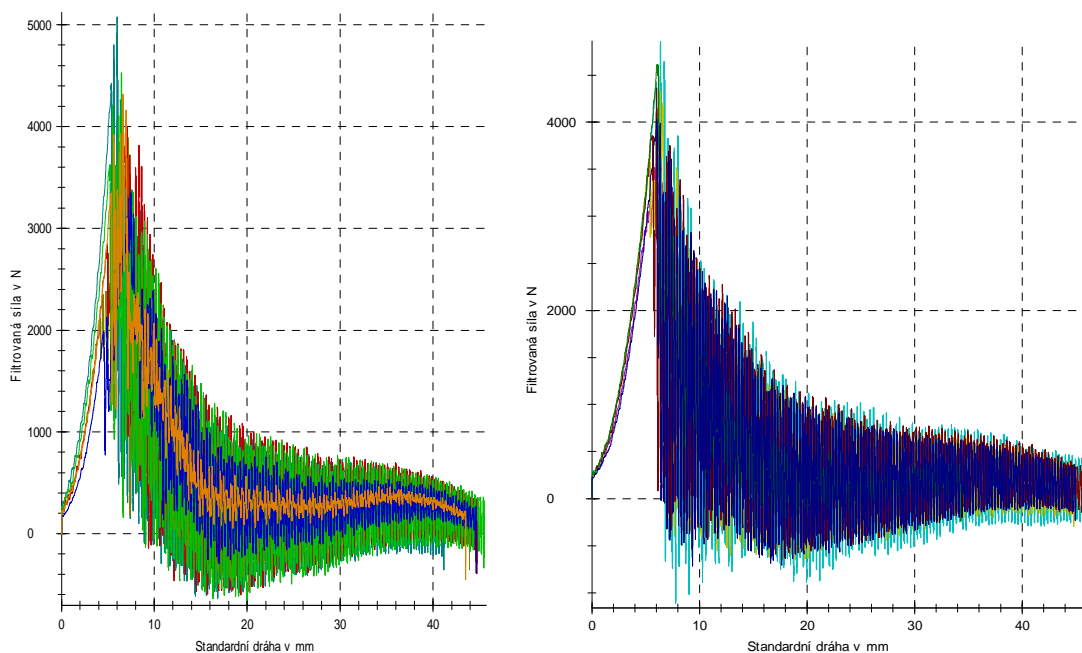
Gelcoatem nahore	F max [N]	W [J]	Gelcoatem dole	F max [N]	W [J]
x	2932,02	6,84	x	2634,2	5,93
s	469,70	0,70	s	293,23	0,48
v <sub>k</sub>	16,02	10,18	v <sub>k</sub>	11,13	8,14

Tab. 38. Naměřené hodnoty gelcoat nahore (vzorek 1. – 5.) vs gelcoat dole (6. – 10.)

### Výsledky: 3. materiálové složení

Vzorek	F max [N]	W [J]
1.	5078,14	11,15
2.	3894,23	11,61
3.	4004,96	11,89
4.	4527,01	11,08
5.	3350,08	10,15
6.	4319,12	10,46
7.	3929,82	10,62
8.	4859,61	11,54
9.	4328,08	11,24
10.	4361,98	9,92
11.	4609,55	10,89
12.	4028,74	9,27
<b>x</b>	<b>4274,28</b>	<b>10,82</b>
<b>s</b>	<b>469,79</b>	<b>0,77</b>
<b>v<sub>k</sub></b>	<b>10,99</b>	<b>7,12</b>

Tab. 39. Naměřené hodnoty 4. složení



Obr. 45. Grafické vyhodnocení série 4.

### Poznámky, přílohy:

Gelcoat nahoře	F max [N]	W [J]	Gelcoat dole	F max [N]	W [J]
x	4195,59	11,06	x	4352,96	10,58
s	590,94	0,66	s	348,54	0,85
v <sub>k</sub>	14,08	5,98	v <sub>k</sub>	8,01	8,03

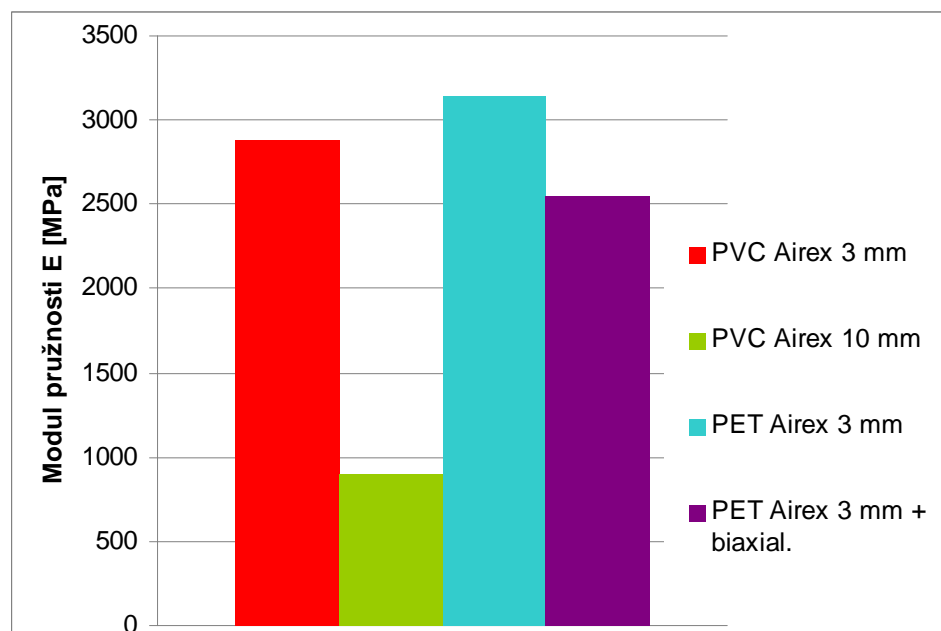
Tab. 40. Naměřené hodnoty gelcoat nahoře (vzorek 1. – 6.) vs gelcoat dole (7. – 12.)

## 8 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Diplomová práce se zabývá možností inovace kompozitního materiálu při výrobě kajaku. Pro měření byly použity čtyři materiálová složení a to složení shodné s materiálovou skladbou dosud při výrobě používanou, navýšením tloušťky pěny PVC Airex, záměnou PVC pěny za PET pěnu a PET pěna s přídavkem biaxiální tkaniny. Měření bylo prováděno vždy minimálně 10x při zkoušce ohybem, při zkoušce rázové houževnatosti metodou Charpy a při zkoušce rázovým namáháním. Naměřené hodnoty byly následně graficky zpracovány a vyhodnoceny.

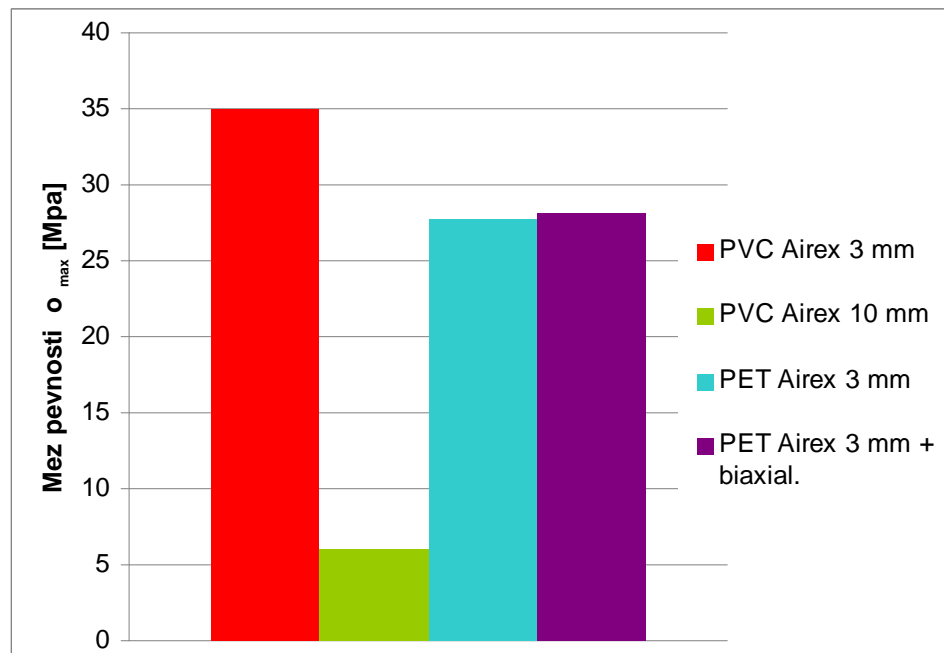
### 8.1 Porovnání po zkoušce ohybem

Po zkoušce ohybem byl porovnán modul pružnosti a mez pevnosti v ohybu. Nejvyššího modulu pružnosti dosahoval vzorek s PET pěnou a skelným vláknem Aeroglass. Druhá nejvyšší hodnota pružnosti byla naměřena u prvního materiálového složení, čili při použití PVC Airexu tloušťky 3 mm. U tohoto složení bylo dosaženo nejvyšší meze pevnosti  $\sigma_{\max} = 35$  MPa. Naopak nejnižší naměřené hodnoty byly naměřeny při použití PVC pěny Airex 10 mm. Výsledek je dán především velkou šířkou pěny.



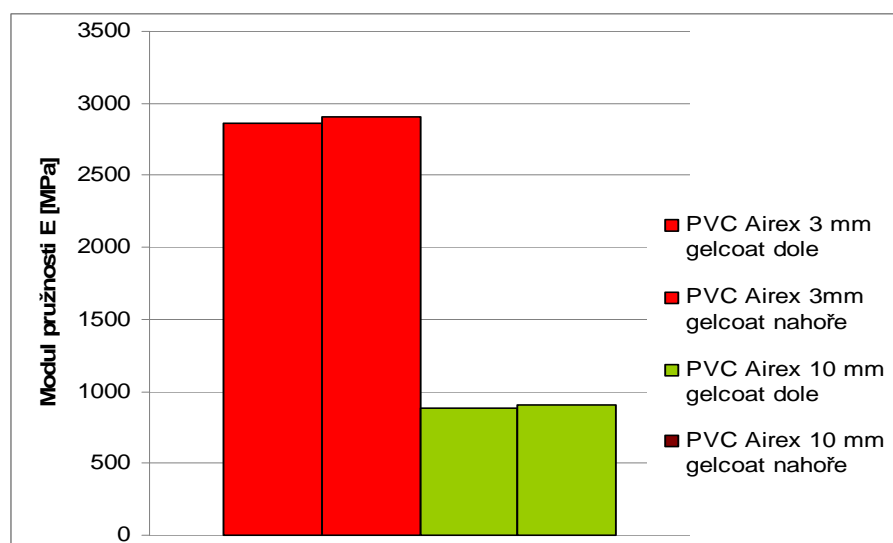
Obr. 46. Grafické porovnání modulu pružnosti



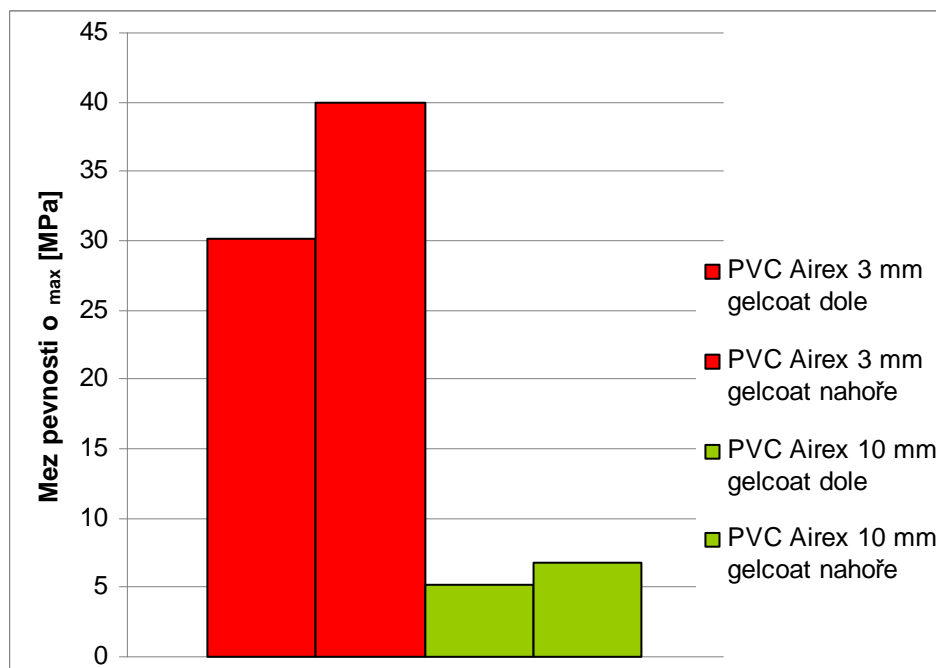


Obr. 47. Grafické porovnání meze pevnosti

Porovnávají dále byly mechanické vlastnosti při různém položení zkušební vzorku, a to gelcoatem nahoře a gelcoatem dole. U prvního a druhého materiálového složení kdy vzorek byl zkoušen gelcoatem dole bylo naměřeno nižší meze pevnosti a nižšího modulu pružnosti. Při ohybových zkouškách provedených gelcoatem nahoru bylo dosahováno vyšších hodnot. Je to dáno právě pevností gelcoatu.



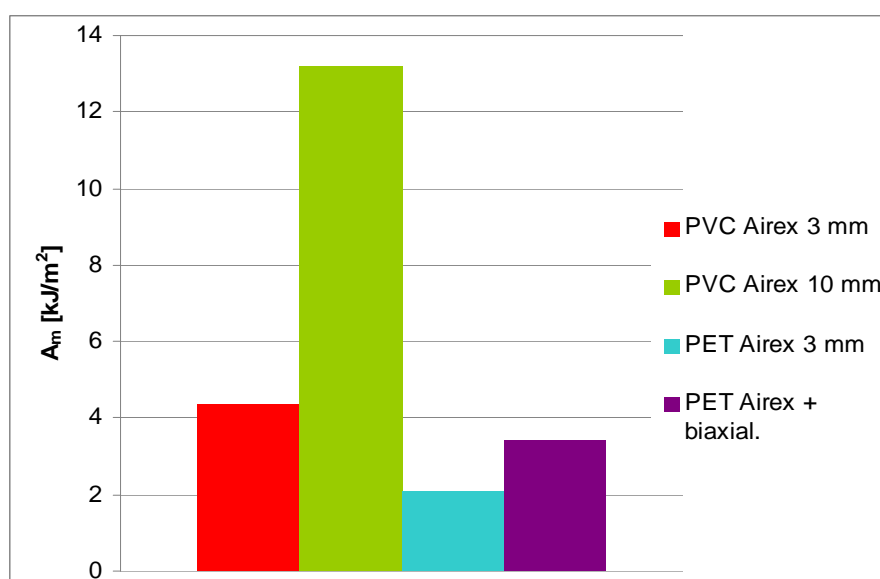
Obr. 48. Grafické porovnání modulu pružnosti gelcoat dole vs. nahoře



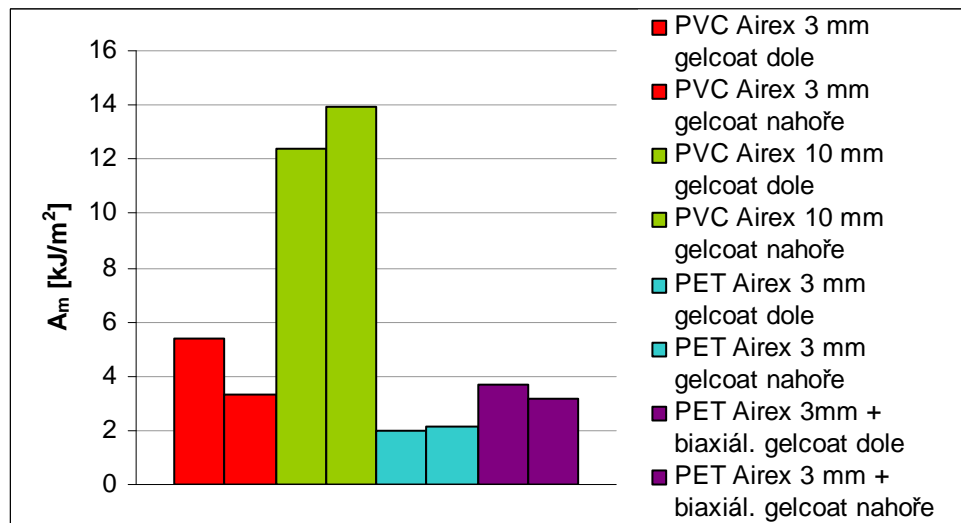
Obr. 49. Grafické porovnání meze pevnosti gelcoat dole vs. nahoře

## 8.2 Porovnání rázové houževnatosti metodou Charpy

Rázovou zkouškou houževnatosti zjišťujeme kolik práce, energie spotřebujeme na porušení zkušebního tělesa. Zde se choval nejlépe právě Airex 10 mm, kde šíře pěny ovlivnila výsledek a maximální energie potřebná k přerážení vzorku obsahující tuto pěnu dosahovala  $A_m = 13,17 \text{ kJ/m}^2$ .



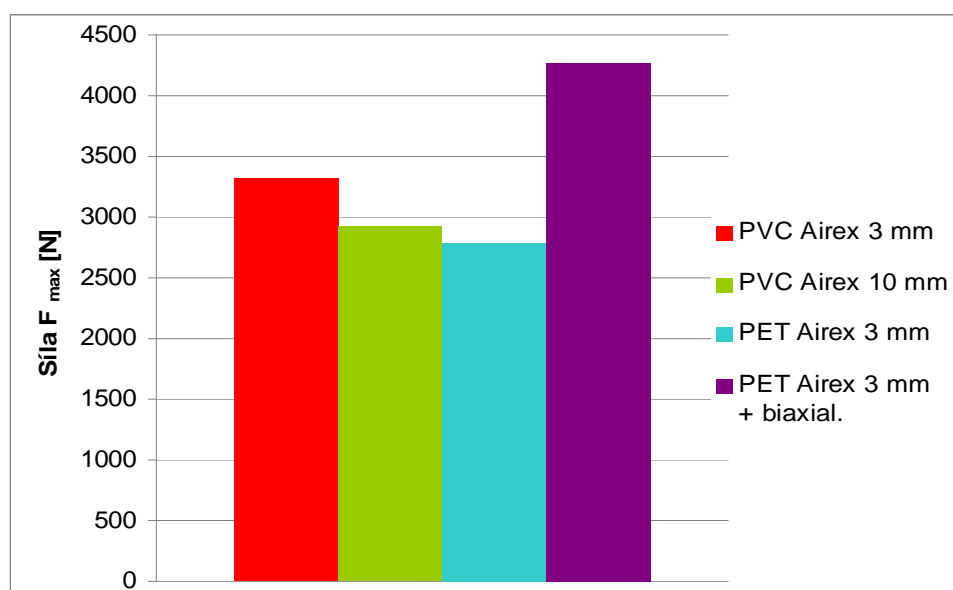
Obr. 50. Grafické porovnání energie při porušení



Obr. 51. Grafické porovnání energie při porušení gelcoat dole  
vs. nahoře

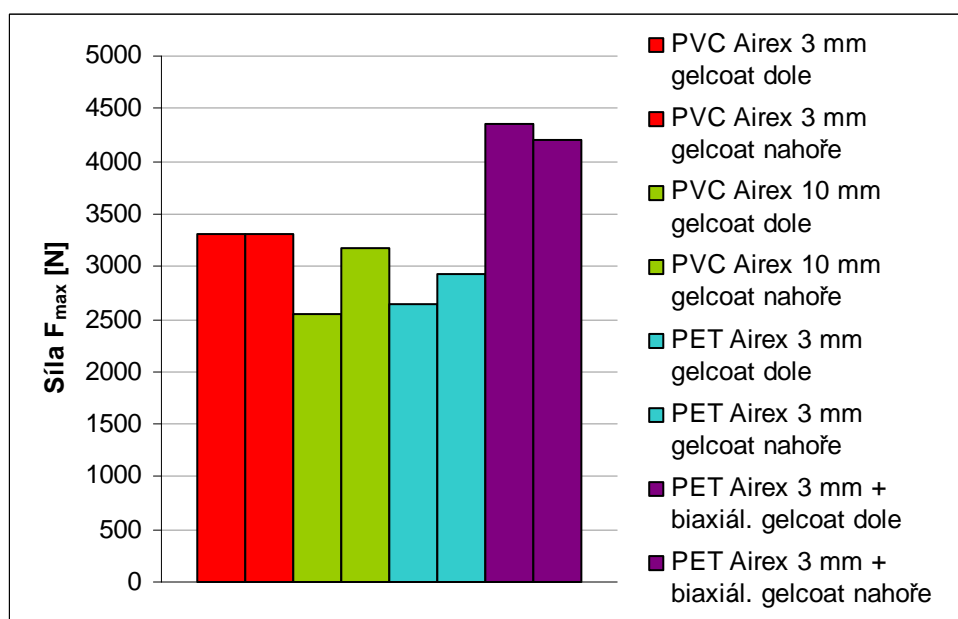
### 8.3 Porovnání rázového namáhání

Na grafu obr. 52. jsou znázorněny průměrné hodnoty pro čtyři sledovaná materiálová složení. Nejvyšší hodnota maximální rázové síly potřebné k proražení zkušebního tělíska byla naměřena u čtvrtého materiálového složení, čili u použití PET pěny a biaxiální tkaniny,  $F_{\max} = 4274,28 \text{ N}$ . Tato tkanina je odolná proti roztržení, účinky napětí se rozkládají do dvou směrů a tak výsledek crash testu je dán především použitím této tkaniny.



Obr. 52. Grafické porovnání maximální rázové síly

Dále byly porovnány vzorky naměřené gelcoatem dolů a gelcoatem směrem nahoru. U prvního materiálového složení byla  $F_{\max}$  téměř shodná, u druhého a třetího složení bylo naměřeno vyšších hodnot při gelcoatu nahore, zato u posledního materiálového složení dosáhly vyšší hodnoty vzorky měřené gelcoatem směrem dolů. Výsledek ovlivňuje právě pevnost biaxiální tkaniny.



Obr. 53. Grafické porovnání maximální rázové síly gelcoat dole vs. nahore

## 9 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byla inovace materiálového složení sportovního náčiní. Byly navrhnuty a odzkoušeny čtyři materiálové skladby. Původní skladba s PVC pěnou Airex s 3 mm tloušťkou a skelnou tkaninou, druhá skladba s PVC pěnou Airex tloušťky 10 mm a skelnou tkaninou, třetí materiálové složení s PET pěnou a skelnou tkaninou a poslední skladba s PET pěnou a biaxiální skelnou tkaninou.

Ve zkoušení mechanických vlastností se osvědčily pryskyřice i pěny. Pěna na bázi PET má výborné izolační vlastnosti, vykazuje požární odolnost, výborné smykové vlastnosti. PVC je zase dobře tvarovatelná, odolná vůči absorpci vody.

V experimentální části z naměřených výsledků vyplývá, že první a tedy původní složení testovaných vzorků dosahuje dobrých výsledků a osvědčilo se, avšak především u rázového namáhání, tzv. crash testu, dosáhlo lepších mechanických vlastností čtvrté materiálové složení. Jedná se o složení kde byla PVC pěna nahrazena pěnou PET a zároveň je přidána skelná biaxiální tkanina. Jedná se o skelnou biaxiální tkaninu o gramáži  $300 \text{ g/m}^2$  a vazbou do  $\pm 45^\circ$ . Tato tkanina je tvořena šikmě uloženými vlákny která jsou prošita polyesterovou nití. U plátňové vazby jsou vlákna, osnovní nitě, namáhány na oděr, zatímco při použití biaxiální tkaniny je právě díky tkaní do  $\pm 45^\circ$  rozkládáno napětí do dvou směrů a tím tkanina pevnější. Toto složení dosáhlo dobrých výsledků i při zkoušce ohybem a na Charpyho kladivu.

V diplomové práci byla uvedena a posuzována technologie vakuum bagging a ruční nanášení materiálu. Při inovaci pryskyřic by bylo možné použít vakuovou infuzi kdy by se dalo očekávat ještě vyšších hodnot mechanických vlastností a snížení hmotnosti výrobků z důvodu nižšího obsahu pryskyřice.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ROSICKÝ, Jiří [online]. [cit. 5.5.2013]. Dostupné na:  
<http://ortotikaprotetika.cz/oldweb/Wc4a791405f74c.htm>
- [2] JANČÁR, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vyd. 1. Brno: Vysokučení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003, 193 s.
- [3] EHRENSTEIN, GOTTFRIED W. *Pilymerní kompozitní materiály*, V ČR 1. Vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s.
- [4] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Přednáškové materiály*, 2012
- [5] Kolektiv autorů fi HAVEL composites. *produktový katalog*
- [6] Kolektiv autorů [online]. [cit. 5.5.2013]. Dostupné na:  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1tno\\_%28vazba%29](http://cs.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1tno_%28vazba%29)
- [7] DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály – druhy a jejich využití*, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, 114 s.
- [8] Conbipel s.r.o. [online]. [cit. 5.5.2013]. Dostupné na:  
<http://www.choc.cz/technologie/>
- [9] KOLEKTIV AUTORŮ, *Materiály ke školení*, EU Evropský sociální fond v ČR, Operační program lidské zdroje a zaměstnanost
- [10] Uni-sport. cz [online]. [cit. 5.5.2013]. Dostupné na: <http://www.uni-sport.cz/retro-tenisove-rakety.html>
- [11] MEISSNER, Bohumil. CSc. *Fyzika polymerů. Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*: Celostát. vysokošk. učeb. pro stud. vys. šk. chemickotechnol. stud. oboru 28-10-8 Technol. výroby a zprac. polymerů. Vyd. 1, Praha 1987
- [12] Kolektiv autorů. Havel composites [online]. [cit. 5.5.2013]. Dostupné na:  
<http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie.html>
- [13] MIK, Pavel. *Amatérská výroba laminátových kánoí a kajaků*. 1. vyd. Praha, 1980
- [14] Vacuum infussion [online]. [cit. 5.5.2013]. Dostupné na:  
<http://www.obrazky.cz/detail?>
- [15] MACHEK, Václav. *nauka o materiálu. 4. část*, Polymery a kompozity s polymerní maticí. Vyd 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008, 86 s.
- [16] ČERNÝ, Miroslav. *Vláknové kompozity: sborník anotací přednášek 2009*. Vyd. 1. V Praze: ČVUT, Kloknerův ústav, 2009, 32 1.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

x	Aritmetický průměr	
s	Směrodatná odchylka	
$v_k$	Variační koeficient	
$\sigma_{mo}$	Mez pevnosti v ohybu	[MPa]
E	Modul pružnosti	[MPa]
$\varepsilon$	Poměrná deformace	[%]
$F_{max}$	Síla maximální	[N]
$A_m$	Energie potřebná k přeražení tělesa	[kJ/m <sup>2</sup> ]
$A_b$	Celková energie	[kJ/m <sup>2</sup> ]
W	Rázová energie	[J]
FRC	Fiber composites	
UP	Unsaturated polyesters	
PVC	Polyvinylchlorid	
PET	Polyethylentereftalát	

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Aplikace využití kompozitního materiálu ve sportu</i>	10
<i>Obr. 2. Složení kompozitů (zrnitý, vláknový, vrstvený)[4]</i>	12
<i>Obr. 3. Uhlíkový prepreg, řez vláknem [5,3]</i>	14
<i>Obr. 4. Plátnová vazba [6]</i>	16
<i>Obr. 5. Keprová vazba [6]</i>	16
<i>Obr. 6. Atlasová vazba [3]</i>	16
<i>Obr. 7. Aramidová, uhlík-aramidová punčocha pro výrobu profilů [5]</i>	17
<i>Obr. 8. Srovnání mechanických vlastností pryskyřic [5]</i>	19
<i>Obr. 9. Kompozitní jádro, dřevěné jádro, kompozit a dřevěný hranol [9]</i>	23
<i>Obr. 10. Postup ručního kladení [3]</i>	26
<i>Obr. 11. Metoda tlakového vaku [2]</i>	27
<i>Obr. 12 Vakuová infuze [14]</i>	29
<i>Obr. 13. Schéma stříkacího zařízení [3]</i>	30
<i>Obr. 14. Technologie RTM [2]</i>	31
<i>Obr. 15. Lisování v autoklávu [3]</i>	32
<i>Obr. 16. Navíjecí a oplétací zařízení [2, 3]</i>	33
<i>Obr. 17. Lisovací forma pro mokré lisování [3]</i>	34
<i>Obr. 18. Možné probarvení gelcoatem, Interní foto fi Havel</i>	38
<i>Obr. 19. Technologický postup výroby kajaku fi Havel</i>	39
<i>Obr. 19. Technologický postup výroby kajaku fi Havel</i>	40
<i>Obr. 20. Vakuovací materiál, folie pro vakuování</i>	41
<i>Obr. 21. Válečky na prosycování</i>	42
<i>Obr. 22. Strhávací tkanina [5]</i>	42
<i>Obr. 23. Zkouška ohybem dle DIN EN ISO 178</i>	47



---

<i>Obr. 24. Vrozky čtyř materiálových složení</i>	47
<i>Obr. 25. Zkouška ohybem</i>	48
<i>Obr. 26. Vzorek po zkoušce ohybem</i>	48
<i>Obr. 27. Grafické vyhodnocení série 1.</i>	49
<i>Obr. 28. Grafické vyhodnocení série 2.</i>	50
<i>Obr. 29. Grafické vyhodnocení série 3.</i>	51
<i>Obr. 30. Grafické vyhodnocení série 4.</i>	52
<i>Obr. 31. Schéma měření rázové houževnatosti [16]</i>	53
<i>Obr. 32. Vzorky čtyř materiálových složení</i>	53
<i>Obr. 33. Charpyho kladivo</i>	54
<i>Obr. 34. Vzorek po zkoušce rázové houževnatosti</i>	54
<i>Obr. 35. Grafické vyhodnocení série 1.</i>	55
<i>Obr. 36. Grafické vyhodnocení série 2.</i>	56
<i>Obr. 37. Grafické vyhodnocení série 3.</i>	57
<i>Obr. 38. Grafické vyhodnocení série 4.</i>	58
<i>Obr. 39. Vzorky čtyř materiálových složení</i>	59
<i>Obr. 40. Padostroj</i>	59
<i>Obr. 41. Vzorek po zkoušce rázovým namáháním</i>	59
<i>Obr. 42. Grafické vyhodnocení série 1.</i>	60
<i>Obr. 43. Grafické vyhodnocení série 2.</i>	61
<i>Obr. 44. Grafické vyhodnocení série 3.</i>	62
<i>Obr. 45. Grafické vyhodnocení série 4.</i>	63
<i>Obr. 46. Grafické porovnání modulu pružnosti</i>	64
<i>Obr. 47. Grafické porovnání meze pevnosti</i>	65
<i>Obr. 48. Grafické porovnání modulu pružnosti gelcoat dole vs. nahoře</i>	65
<i>Obr. 49. Grafické porovnání meze pevnosti gelcoat dole vs. nahoře</i>	66

---

<i>Obr. 50. Grafické porovnání energie při porušení</i>	66
<i>Obr. 51. Grafické porovnání energie při porušení gelcoat dol vs. nahoře</i>	67
<i>Obr. 52. Grafické porovnání maximální rázové síly</i>	67
<i>Obr. 53. Grafické porovnání maximální rázové síly gelcoat dole vs. nahoře</i>	68

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Vlastnosti druhů skel [2]</i>	13
<i>Tab. 2. Vlastnosti uhlíkových vláken [2]</i>	15
<i>Tab. 3. Vlastnosti přírodních vláken [3]</i>	15
<i>Tab. 4. Zjednodušený technologický postup výroby snowboardu [8]</i>	22
<i>Tab. 5. Rozdělení zpracovatelských technologií</i>	25
<i>Tab. 6. Vlastnosti FRC vyrobených ručním kladením [2]</i>	26
<i>Tab. 7. Vlastnosti FRC vyrobených ručním kladením a vakuového vaku [2]</i>	27
<i>Tab. 8. Vlastnosti FRC vyrobených metodou stříkání [2]</i>	30
<i>Tab. 9. Vlastnosti FRC vyrobených technikou autoklávu (E-sklo/polyester) [2]</i>	32
<i>Tab. 10. Vlastnosti FRC vyrobených technikou navíjení [2]</i>	33
<i>Tab. 11. Skladba prvního (stávajícího) materiálové složení</i>	44
<i>Tab. 12. Skladba třetího materiálového složení</i>	45
<i>Tab. 13. Skladba třetího materiálového složení</i>	45
<i>Tab. 14. Skladba čtvrtého materiálového složení</i>	46
<i>Tab. 15. Naměřené hodnoty 1. složení</i>	49
<i>Tab. 16. Výsledky měření, porovnání gelcoat dole vs nahoře</i>	49
<i>Tab. 17. Naměřené hodnoty 2. složení</i>	50
<i>Tab. 18. Výsledky měření, porovnání gelcoat dole vs nahoře</i>	50
<i>Tab. 19. Naměřené hodnoty 3. složení</i>	51
<i>Tab. 20. Naměřené hodnoty 4. složení</i>	52
<i>Tab. 21. Naměřené hodnoty 1. složení</i>	55
<i>Tab. 22. Naměřené hodnoty gelcoat dole (vzorek 1. – 7.)</i>	55
<i>Tab. 23. Naměřené hodnoty gelcoat nahoře (vzorek 8. – 14.)</i>	55
<i>Tab. 24. Naměřené hodnoty 2. složení</i>	56
<i>Tab. 25. Naměřené hodnoty gelcoat dole (vzorek 1. – 8.)</i>	56

---

<i>Tab. 26. Naměřené hodnoty gelcoat nahoře (vzorek 9. – 16.)</i>	56
<i>Tab. 27. Naměřené hodnoty 3. složení</i>	57
<i>Tab. 28. Naměřené hodnoty gelcoat dole (vzorek 1. – 8.)</i>	57
<i>Tab. 29. Naměřené hodnoty gelcoat nahoře (vzorek 9. – 16.)</i>	57
<i>Tab. 30. Naměřené hodnoty 4. složení</i>	58
<i>Tab. 31. Naměřené hodnoty gelcoat dole (vzorek 1. – 8.)</i>	58
<i>Tab. 32. Naměřené hodnoty gelcoat nahoře (vzorek 9. – 16.)</i>	58
<i>Tab. 33. Naměřené hodnoty 1. složení</i>	60
<i>Tab. 34. Naměřené hodnoty gelcoat nahoře (vzorek 1. – 6.) vs gelcoat dole (7. – 10.)</i>	60
<i>Tab. 35. Naměřené hodnoty 2. složení</i>	61
<i>Tab. 36. Naměřené hodnoty gelcoat nahoře (vzorek 1. – 5.) vs gelcoat dole (6. – 9.)</i>	61
<i>Tab. 37. Naměřené hodnoty 3. složení</i>	62
<i>Tab. 38. Naměřené hodnoty gelcoat nahoře (vzorek 1. – 5.) vs gelcoat dole (6. – 10.)</i>	62
<i>Tab. 39. Naměřené hodnoty 4. složení</i>	63
<i>Tab. 40. Naměřené hodnoty gelcoat nahoře (vzorek 1. – 6.) vs gelcoat dole (7. – 12.)</i>	63

## SEZNAM PŘÍLOH

Technické listy 12.ti materiálů (celkem 22 listů)