

# Kompozitní materiály na bázi ovčí vlny

Tomáš Sokola

---

Bakalářská práce  
2016

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Sokola**  
Osobní číslo: **T14891**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Kompozitní materiály na bázi ovčí vlny**

Zásady pro vypracování:

1. I. Literární rešerše
2. Problematika kompozitních materiálů, rozdělení, základní složky, synergický účinek,
3. Přírodní vlákna, rozdělení a vlastnosti,
4. Zpracovatelské technologie polymerních kompozitních materiálů.
5. II. Experimentální část
6. Návrh materiálového složení kompozitních systému s přírodními vlákny,
7. Výroba zkušebních těles pomocí technologie ruční laminování pod vakuovací fólií, resp. vakuovou infuzí,
8. Experimentální testování zkušebních těles dle zvolených norem,
9. Vyhodnocení experimentálních výsledku, diskuze,
10. Závěr.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího DP**

Vedoucí bakalářské práce:

**doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**8. ledna 2016**

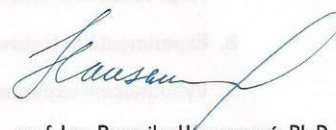
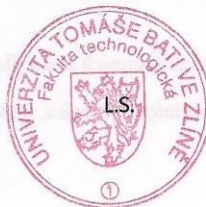
Termín odevzdání bakalářské práce:

**20. května 2016**

Ve Zlíně dne 3. února 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



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

Příjmení a jméno: ...*ŠOKOLA*...*TOMÁŠ*.....

Obor: *TECHNOL. LOGICKÁ ZABŮŽENÍ*

## 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 *27.4.2016*

.....*ŠOKOLA*.....

<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 nevdělečně 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>21</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>22</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

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

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

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

## **ABSTRAKT**

První část bakalářské práce je obecné seznámení o kompozitních materiálech, jejich rozdělení podle výztuže a matrice. Druhá část práce se podrobněji zabývá kompozitními materiály na bázi ovčí vlny. Zabývá se popisem materiálového složení, výrobou vzorků a jejich testováním.

Klíčová slova:

Kompozit, vlákno, výztuž, matrice, vlna

## **ABSTRACT**

In the first part of Bachelor's thesis there is a general introduction with composite materials. These materials are separated on the basis of matrix kind. The second part is focused on the sheep wool composite materials in more detail. It describe material composition, production and testing of sample.

Keywords:

Composite, fiber, reinforcement, matrix, wool

Na tomto místě bych rád poděkoval paní doc. Ing. Soně Rusnákové Ph. D. za vstřícný přístup, ochotu, suroviny a připomínky pro zdárné vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat svým nejbližším a rodině za podporu při studiu a zkouškách.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>12</b>
1.1 PROBLEMATIKA KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ, ROZDĚLENÍ, ZÁKLADNÍ SLOŽKY .....	13
ZÁKLADNÍ SLOŽKY .....	14
SYNERGICKÝ EFEKT.....	17
1.2 PŘÍRODNÍ VLÁKNA, ROZDĚLENÍ A VLASTNOSTI.....	18
Přírodní vlákna z rostlin .....	20
1.3 ZPRACOVATELSKÉ TECHNOLOGIE POLYMERNÍCH KOMPOZITNÍCH MATERIÁLU .....	21
1.3.1 Ruční kladení .....	22
1.3.2 Lisování pomocí vakua .....	23
1.3.3 Vakuové prosycování .....	25
1.3.4 Vysokotlaké vstřikování RTM .....	26
1.3.5 Vakuo-injektážní technologie .....	28
1.3.6 Tažení (pultruze) .....	29
1.4 OVČÍ VLNA .....	30
1.4.1 Struktura vlny .....	30
1.4.2 Produkce.....	31
1.4.3 Plemena ovcí .....	31
1.5 VYUŽITÍ OVČÍ VLNY.....	36
1.5.1 Izolace staveb ovčí vlnou .....	36
1.5.2 Ovčí vlna jako plnivo pro vstřikování polymeru.....	39
1.5.3 Další využití ovčí vlny .....	40
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>41</b>
<b>2 CÍLE BAKALÁŠKÉ PRÁCE</b> .....	<b>42</b>
2.1 NÁVRH MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ KOMPOZITNÍCH SYSTÉMŮ S PŘÍRODNÍMI VLÁKNY.....	43
2.1 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES POMOCÍ TECHNOLOGIE – RUČNÍ LAMINOVÁNÍ POD VAKUOVACÍ FÓLII A ODLÉVÁNÍ VZORKŮ DO FORMY .....	43
2.3 EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES DLE ZVOLENÝCH NOREM.....	56
2.4 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH VÝSLEDKŮ, DISKUZE .....	59
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>69</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>70</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>72</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>73</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>75</b>



## ÚVOD

Kompozitními materiály se označují ty materiály, které jsou složeny ze dvou nebo více složek (matricí a výztuží) s odlišnými fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Jejich spojením vznikne kompozitní materiál, vykazující jiné, unikátní, vlastnosti. Velký podíl kompozitních materiálů zahrnují vyztužené plasty a stavební hmoty. Poptávka po kompozitních materiálech roste každým rokem, stejně jako možnosti jejich využití. Jde zejména o dopravu, stavitelství, sport, speciální aplikace v kosmonautice a vojenství. Velkou výhodou kompozitních materiálů je nízká hmotnost kompozitů, velká pevnost, jejich tuhost a především možnost navrhnout materiál přímo pro konkrétní aplikaci s ohledem na pevnost materiálu, odolnost proti chemikáliím, ohnivzdornosti, tepelnou vodivost. Použití kompozitních materiálů zásadně snižuje hmotnost částí případně i celého výrobku. Ve stavebnictví se kompozitní materiály používají dlouhá staletí, typickým příkladem může být dřevo nebo neplené cihly. Z moderních materiálů jde o železobeton, nejružnější vrstvené desky a profily, například profily oken z vrstveného dřeva, nábytek, OSB desky a podlahoviny. V dopravě se použití kompozitních materiálů zaměřuje na interiér a karoserii a projevuje se snížením spotřeby paliva a nákladů na provoz, umožňuje použít slabších pohonných jednotek a mají také estetické uplatnění. Ve sportu kompozitní materiály umožňují dosáhnout lepších výsledků a ve velké míře nahradily, nebo nahrazují dříve používané dřevo. Například kompozitní rám jízdního kola dnes váží okolo 700 gramů. Velké uplatnění nacházejí kompozity v letectví, kde se používají prakticky od počátku vývoje leteckých konstrukcí až po dnešní moderní stroje, dále umožnily vznik ultralehkých letadel. Ve vojenství se používá kompozitních materiálů jako moderních pancéřů bojové techniky. Velkou výhodou je v tomto případě možnost výměny jednotlivých částí zasaženého pancíře a možnost volby stupně ochrany v závislosti na tloušťce zvoleného pancíře. Kromě pancířů techniky se kompozity používají pro výrobu neprůstřelných vest. Již v antickém Řecku se používal vrstvený len, pro výrobu brnění odolávající střelám z luku lépe než plech, dalším historickým příkladem použití kompozitu je damascénská ocel a mongolský vrstvený luk s dostřelem okolo 300 metrů. Dá se předpokládat, že poptávka po kompozitních materiálech bude neustále růst, ať už ve stavebnictví tak i v technice, zejména v letectví, kosmonautice a jiných specializovaných odvětvích,

budou se objevovat nové výztuže, jak už syntetické, tak i v menší míře přírodní, stejně tak se bude zvyšovat životnost kompozitů, odolnost vůči vodě, chemikáliím a UV záření.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 LITERÁRNÍ REŠERŠE

### Obecné charakteristiky

Pevnost a tuhost kompozitního materiálu závisí v rozhodující míře na pevnosti a tuhosti vláken. Vlákna a jejich orientace výrazným způsobem ovlivňují také další mechanické vlastnosti kompozitu. V důsledku velmi odlišných mechanických vlastností vlákna a matrice vznikají ve struktuře kompozitu místní složité stavy napjatosti. Jejich analýzou se zabývá mikromechanika. Výzkum v této oblasti se zabývá zejména otázkami vazby mezi vláknem a matricí a chováním nejjednoduššího uspořádání vláken, tj. jednosměrně vyztuženého základního prvku při definovaném namáhání.

Z inženýrského hlediska jsou ale zajímavější souhrnné vlastnosti takového základního prvku, který je tak posuzován jako model pro analýzu chování jednotlivé jednosměrně vyztužené vrstvy. Při výpočtu konstrukčních prvků se nehomogenity mezi jednotlivými složkami - vlákny a matricí - neposuzují odděleně, ale pracuje se s určitými reprezentativními vlastnostmi, charakteristickými pro vrstvu jako celek. Jednotlivá vrstva slouží jako základní prvek laminátu, a tím také jako nejmenší výpočetní jednotka při výpočtu konstrukčních prvků.

Lamináty se skládají z vrstevnatě uložených plochých vrstev výztuže a pojiva, které je vzájemně spojuje. Tyto spojovací mezivrstvy jsou posuzovány jako nekonečně tenké a odolné proti smyku, tj. schopné přenášet zcela deformace jednotlivých vrstev na vrstvu sousední. Tím je při namáhání v rovině laminátu zaručena stejná deformace všech vrstev. Laminát se tak chová jako vrstva určitého kompozitu. [1]

### **Kompozitní materiál musí splňovat několik následujících podmínek:**

- Výsledný materiál musí být vytvořen z několika složek
- Výztuž musí tvořit minimálně 5% výsledného kompozitu
- Mechanické vlastnosti matrice a výztuže se musí lišit; výztuž je významně pevnější v tahu

**Hlavními výhodami kompozitů jsou:**

- Odolnost proti korozi
- Dobrá rázová pevnost
- Nízká měrná hmotnost
- Pozvolný postup poruchy

Kompozitní materiály mají také oproti kovovým konstrukcím výhodu, která spočívá ve výrobním procesu. Umožňují jednodušší výrobu složitých tvarových dílů, s menším množstvím odpadu. Snadno lze měnit tloušťku podle různého vrstvení a u složitých tvarů se zjednodušuje výroba. Tato vlastnost je také jedním z hlavních argumentů pro jejich použití u rozměrných a složitých dílů vyráběných v malých sériích.

Mezi nevýhody lze jmenovat vysokou citlivost na dodržování přesného technologického postupu. Musí být dodržen přesný poměr matrice a výztuže, stejně tak její orientace. Za další nevýhodu se dá považovat nutnost dodržování vytvrzovacích podmínek, jako je teplota, tlak, vlhkost, dále pak delaminace při dokončovacích pracích na dílci.

## **1.1 Problematika kompozitních materiálů, rozdělení, základní složky**

Kompozity se nejčastěji rozdělují podle použitého druhu matrice a výztuže.

### **Rozdělení podle matrice**

- Kompozity s kovovou maticí
- Kompozity s polymerní maticí
- Kompozity s keramickou maticí

### **Rozdělení podle výztuže**

- Kompozity vyztužené částicemi

- Kompozity vyztužené vlákny
- Kompozity vrstvené

## Základní složky

### Matrice

Pod pojmem matrice se rozumí materiál, kterým je prosycen systém vláken a partiikulárních komponent tak, že po zpracování vznikne tvarově stálý výrobek. Vzniklá surovina se označuje jako kompozit. Úkolem matrice je zaručení geometrického tvaru, zavedení a přenos sil, ochrana vláken před chemikáliemi a vlivy prostředí. Matrice musí mít vyšší tažnost než vlákna, jinak by došlo k její destrukci. [1]

### Výztuže

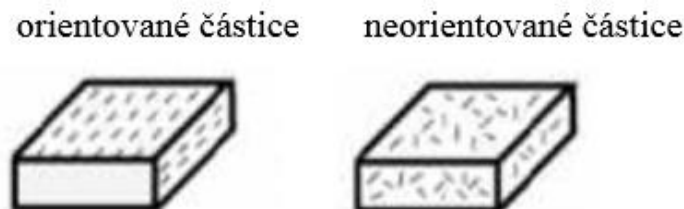
- Vlákenné výztuže - jeden rozměr výztuže je výrazně větší, než dva zbývající. Vlákenné výztuže dělíme na kompozity s krátkými vlákny a s dlouhými vlákny. Orientace vláken může být nahodilá či uspořádaná. Krátká vlákna jsou mnohem menší ve srovnání s daným výrobkem, dlouhá vlákna jsou svou velikostí srovnatelná. [1]



Obr. 1. Dělení vláknové výztuže [16]

Materiály ve formě vláken se cíleně jako konstrukční prvky používají zřídka. Zajímavou skupinou materiálů se stávají teprve v kompaktní formě, jako je tomu v kompozitních materiálech. Kompozitní - vlákny vyztužené - plasty se skládají jednak z vláken s vysokou měrnou pevností, příp. tuhostí, jednak z rozmanitě přizpůsobivého úložného materiálu - matrice. [1]

- **Částicové výztuže** – využívají se zejména kvůli zvýšení tvrdosti, ořezuvzdornosti a odolnosti při zvýšených teplotách. Mají větší modul pružnosti v tahu, tvarovou stálost při zvýšených teplotách a menší polymerační smrštění. Výhoda částicových kompozitů ve srovnání s vláknovými kompozity je ta, že většinou



Obr. 2. Dělení částicové výztuže [1]

vlákny vyztužený materiál je vyroben v jednom kroku s konečným produktem a je složité oddělit od sebe užitečné vlastnosti materiálu od vlastnosti výrobku. Částicové výztuže jsou rozdílné v tom, že mají vlastnosti nezávislé na směru.

- **Příze** - vyrábí se spřádáním z vláken a zpracovává se dále na tkaniny, pásy a pletené výrobky.
- **Nitě** - skládají se z jedné nebo více přízí, které jsou společně spředeny. Zpracovávají se dále podobně jako příze.
- **Roving (pramenec)** - skládá se z 20 až 60 konců, sdružených z rovnoběžně uložených nestočených vláken tažených přímo z taveniny (6 až 12 000 elementárních vláken). Zpracovává se buď sekáním nebo tkaním, navíjením nebo tažením nekonečného pramence.
- **Spředený roving** - vyrábí se z vláken stočených kolem podélné osy.
- **Rohože ze sekaných pramenců** - netkané plošné výrobky o hmotnosti 300 až 900 g/m<sup>2</sup>. Vyrábějí se z 25 nebo 50 mm dlouhých sekaných vláken nepravidelně

plošně uložených. Vlákna jsou uložena do vrstev, postříkána pojivem a po vysušení v pásové sušárně spojena tak, že je možno vzniklou rohož, podobnou plstí, navíjet do rolí, které jsou připraveny pro okamžité použití.

- **Rohože z kontinuálních vláken** - skládají se z nekonečných skleněných vláken, která jsou uložena nepravidelně bez jakékoli orientace ve smyčkách v několika vrstvách a jsou vzájemně spojena pojivem. Tvarují se lépe než rohože ze sekaných pramenců.
- **Krátká vlákna** - mletá a na jednotlivá elementární vlákna rozptýlená vlákna o různé délce (0,1 až 5 mm), používaná pro vyztužení termoplastů.
- **Tkaniny** - plošné výrobky z vláken nebo pramenců uložených pravouhle v útku a osnově, které působí výztužně ve dvou směrech. Zvýšením počtu vláken v osnově vznikají rozdílné typy křížení vláken, které se nazývají vazby. Hmotnost vláken lze měnit v obou směrech až v poměru 1:20, čímž vznikají kvazi-jednosměrné tkaniny. Tkaniny jsou v porovnání s jednosměrně orientovanou výztuží snáze zpracovatelné. Tkaním zvlněné uložení vláken je však příčinou ztráty mechanických vlastností. [1]

### Druhy vazeb (obr. 3.)

- **Plátňová vazba** - jednoduchá základní vazba, jednoduché zpracování tkaniny vzhledem k dobré rozměrové stálosti a malému otřepu při řezání
- **Keprová vazba** - vyšší pevnost a tuhost laminátu způsobená menším zvlněním vláken. Tkaniny jsou ohebnější, a jsou proto vhodnější pro tvarované prvky než tkaniny s plátňovou vazbou
- **Atlasová (saténová) vazba** - má menší vychýlení vláken než keprová vazba, velmi dobrou řasitelnost a z toho vyplývající vhodnost pro prostorově složité prvky. Atlasové tkaniny umožňují dosáhnout velmi hladký povrch. [1]

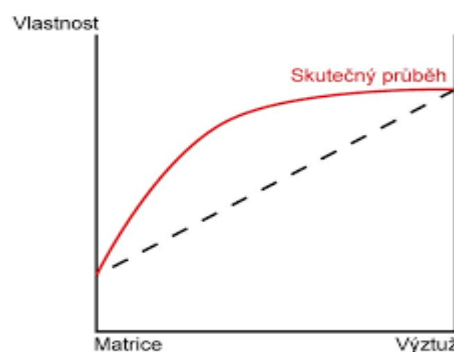




Obr. 3. Druhy vazeb vyztužujících tkanin [1]

### Synergický efekt

Synergický efekt vzniká vzájemnou spoluprací jednotlivých složek kompozitu. To znamená, že alespoň jedna vlastnost kompozitu je lepší než průměr vlastností jednotlivých složek kompozitu. Tento efekt lze vysvětlit jako situaci, kdy výsledný celek vlastností je vyšší než pouhý součet vlastností jednotlivých složek. Tedy platí, že  $1+1=3$ . Kompozitní materiály se vyrábějí tak, aby byl synergický efekt co nejsilnější. Samozřejmě není reálné dosáhnout zlepšení všech výše uvedených vlastností současně u jediného materiálu. Při navrhování kompozitního materiálu pro konkrétní aplikaci je podstatné předem definovat meze vybraných vlastností, které by měly být dodrženy a dle tohoto kritéria zvolit vhodnou výztuž a matici. V ideálním případě dosáhneme jejich kombinací lepších výsledků než při použití každé fáze zvlášť, ale může také nastat situace, že zvolené materiály nekooperují dle předpokladů a sledované vlastnosti jsou naopak horší. Řešením může být nahrazení jedné složky jinou s obdobnými vlastnostmi, zvýšení nebo snížení podílu výztuže, změna geometrických vlastností výztuže. [4]



Obr. 4. Synergický efekt [17]

## 1.2 Přírodní vlákna, rozdělení a vlastnosti

Přírodní vlákna můžeme rozdělit na vlákna rostlinná a živočišná. Rostlinná na vlákna z listů (sisal, abaka), ze semen (bavlna, kokosová vlákna), z lýka (juta, len, konopí). Jsou to vlákna z obnovitelných zdrojů, zejména na bázi celulózy, nalézají uplatnění jako levnější alternativa skelných vláken. V poslední době jsou stále více využívána při výrobě pevnostně méně náročných a zároveň lehkých dílců v interiérech automobilů a jiných dopravních prostředků. Používají se ve formě pramenců a nití, netkaných materiálů – rohoží nebo tkanin. Živočišná vlákna pak na sekrety hmyzu (hedvábí) a vlákna ze srsti (ovčí vlna, lama, kašmír). [3]

### Proteinová vlákna (Pavoučí vlákna)

Vlákna pavouků vynikají velkou houževnatostí (mají velké poměrné prodloužení při přetržení, až o řád větší než vlákna Kevlaru® 49), ale nejsou v potřebném množství dostupná bez genetického inženýrství. Pavouci se nedají hromadně chovat jako bourec morušový, protože jsou agresivní a potřebují ovládat své teritorium. Transplantací žlázových genů pavouků do mléčných žláz koz bylo dosaženo, že v mléku byly přítomny potřebné proteiny. Vlákenný produkt společnosti Nexia Biotechnology směl obchodní značku BioSteel®. V roce 2009 společnost udělala úpadek. Na universitě Utah State University vyvinutou technologii i nadále používají. Ve výběhu university za tím účelem chovají stádo 30 transgenních koz. Také transgenní formy larev bource morušového dávají hedvábná vlákna s vlastnostmi pavoučích vláken. Výzkum se provádí na University of Notre Dame a University of Wyoming. Společnost Kraig Biocraft Laboratories, Inc. Vlákna komerčně vyrábí. Umělá proteinová vlákna se dají také vyrábět pomocí metabolicky upravených bakterií Escherichia Coli, které fungují jako hostitelé produkce potřebných aminokyselin. Proteinová pavoučí vlákna jsou biodegradabilní a jsou proto vhodná pro rybářské vlasce a pro chirurgii jako šicí vlákna. Při použití na protibalistickou výzbroj je výhodou jak nižší cena vláken, než mají vhodná syntetická vlákna, tak malá hustota ( $1320 \text{ kg/m}^3$ ). [3]

Tab. 1. Srovnání proteinových vláken a polymerních vláken

Druh	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Modul pružnosti [GPa]	Pevnost v tahu [GPa]	Prodloužení při přetržení [%]	Práce potřebná pro přetržení [MJ/m <sup>3</sup> ]
Madagarský pavouk Careostris darwini	1,32	13	1,85	13	400
Pavouk Argiope trifasciata	1,32	10	1,2	30	180
Pavouk Nephila clavipes	1,32	13	0,7-1,2	18-27	130
Hedvábí bource morušového	1,3	5	0,6	18,5	50
Pa 66 (Nylon)	1,14	2-4	0,9	37	80
UHMWPE Dyneema SK-75	0,97	110	3,4	3,3	-
UHMWPE Dyneema SK-90	0,97	130	4	-	-
PPTA Kevlar	1,44	130	3,4	3	5
PBO Zylon	1,6	270	5,8	3	7
PPID M5	1,7	350	8,5	1,4	-

Z tabulky je zřejmé, že pavoučí vlákno nemůže pevností ani modulem pružnosti konkurovat syntetickým vláknům UHMWPE, PPTA, PBO, PIPD. V porovnání s vláknem Nylon je pevnější, ale Nylon má větší poměrné prodloužení při přetržení. Pavoučí vlákno je převážně vytvořeno z aminokyselin alanin 25% a glycin 42%. [3]

**Přírodní vlákna z rostlin**

Organická přírodní vlákna jsou získávána z pěstovaných rostlin. Hodnoty hustoty, pevnosti, tuhosti a poměrného prodloužení při přetržení uvádí následující tabulka.

*Tab. 2. Vlastnosti rostlinných vláken*

<b>Vlákno</b>	<b>Hustota [g*cm<sup>3</sup>]</b>	<b>Pevnost v tahu [GPa]</b>	<b>Modul pružnosti E [GPa]</b>	<b>Mezní prodlou- žení při přetržení [%]</b>
Celulózová vlákna Greenlite™ Juta	1,5	0,675	35	6,2
Konopí Hemp Cannabis Sativa	1,4-1,5	0,58-1,10	30-90	1,3-4,7
Sisal Agave sisala- na	1,33	0,507-0,855	9,28	2-3
Len Linum usita- tissimum	1,53	0,8-1,795	40-85	1,1-1,5
Kokosové ořechy, vlákna plodů	0,7-1	0,106-0,27	37	30-40
Abaka vlákna listu banánovníku	1,32	0,187-0,773	72	10-12
Bavlna	1,5-1,6	0,287-0,597	5,5-12,8	3-10
Kopřiva dvoudomá	2,11	1,59	87	2,11
Bambusové vlákno	1,5	0,3-0,34	16,2	23,8

Len jako výztuž má obchodní značku Biotex. Firma Amber Composites vyrábí Multipreg 8020 s výztuží lnu Biotex. Kromě uvedených rostlin se používá cukrová třtina (*Saccharum officinarum*), ananas, Curauá (*Ananas erectifloius*), Isora (*Helicteres isora*), Sansevieria cylindrica (čeleď Agavaceae), Piassava (*Attalea funifera*), Bagasse (Sugercane) a další. Přírodní vlákna se používají jako výztuž dílů osobních automobilů. Pro zlepšení adheze vlákna a matrice jsou například vlákna lnu povrchově upravována estery nebo ethery. [3]

**Použití rostlinných vláken v termoplastech přináší tyto výhody:**

- Jedná se o levnou výztuž s malou hustotou
- Dochází k úspoře polymeru
- Použitím výztuže z přírodních vláken klesne cena výrobku
- Je možnost zkrátit výrobní cyklus (zvýšená tepelná vodivost)
- Odpad je recyklovatelný
- Výztuž je biodegradabilní
- Povrch výrobku má přírodní vzhled
- Vlákna nezpůsobují opotřebení zpracovatelských strojů

*Tab. 3. Vlastnosti PP kompozitu s přírodními vlákny*

<b>Přírodní vlákno</b>	<b>W<sub>f</sub> [%]</b>	<b>Pevnost v tahu [MPa]</b>	<b>Modul pružnosti v tahu [GPa]</b>
Juta	5	73	8,5
Sisal	5	60	6,0
Dřevo smrkové	5	39	5,5
Čistý PP	0	32	1,7

*Tab. 4. Vlastnosti PEHD kompozitu s přírodními vlákny*

<b>Přírodní vlákno</b>	<b>W<sub>f</sub> [%]</b>	<b>Pevnost v tahu [MPa]</b>	<b>Modul pružnosti v tahu [GPa]</b>
Juta	5	26	3,0
Sisal	5	21	2,1
Dřevo smrkové	5	14	2,0
Čistý PP	0	0,12	0,12

### **1.3 Zpracovatelské technologie polymerních kompozitních materiálu**

Technologický postup při výrobě vyztužených plastů můžeme považovat za zásadní, pro výsledné vlastnosti a ekonomické hledisko výroby. Proto je třeba věnovat

velkou pozornost volbě technologie. Ta je jednak ovlivněna možnostmi výrobce a také samotným výrobkem. Volbu technologie provádíme podle těchto kritérií a obvykle se hledá kompromisní řešení, které by se těmito vlastnostem přibližovalo a umožňovalo přijatelným způsobem výrobu. Těmito kritérii jsou: počet kusů, složitost dílce, velikost a hmotnost, výsledný povrch, pevnost a tuhost, cena.

Pro výrobu kompozitů s využitím ovčí vlny jsou vhodné tyto postupy:

### 1.3.1 Ruční kladení

Nejstarší, nejjednodušší a dosud nejrozšířenější tzv. otevřené technologie technologie. Forma (negativní – matrice nebo pozitivní-patrice) se po naseparování obvykle nejprve opatří gelcoatem. Po částečném vytvrzení gelcoatu se kladou jednotlivé vrstvy výztuže, které se prosycují iniciovanou pryskyřicí pomocí štětce nebo nanášecím válečkem a pak se přebytečná pryskyřice a vzduchové bubliny vytlačují rýhovanými válečky. Laminát se vytvrzuje za normální teploty většinou bez aplikace tlaku, pouze v případech, kdy se vytváří sendvičová konstrukce zabudováním lehkých materiálů (pěny, voštiny apod.) se užívá přítlaku vakuem pod separační folií. Ruční kladení je vhodné pro malé a velkorozměrové výrobky, od jednoduchých až po tvarově složitě dílce při nižší až střední sériovosti (do 1000 kusů) a pro výrobu prototypů. [2]

Gelcoat – speciální, většinou probarvená nevyztužená povrchová vrstva o tloušťce 0.3-1 mm se nanáší buď ručně, nebo stříkáním a zajišťuje estetickou stránku povrchu dílce a tvoří ochranu vůči okolnímu prostředí (povětrnostní podmínky a chemicky agresivní látky).

Používané materiály:

Výztuže: Na bázi skleněných, uhlíkových, aramidových či jiných syntetických nebo přírodních vláken v různých formách, nejčastěji různé tkaniny, orientace nebo rohože (konstrukční i povrchové) a různé sendvičové materiály.

Matrice: Nejčastěji polyesterové nebo epoxidové pryskyřice, podle času nutného na zpracování, požadavků na pevnost, teplotu, chemickou odolnost, sníženou hořlavost, vždy s ohledem na konečné použití výrobku.



Obr. 5. Ruční kladení [2]

### 1.3.2 Lisování pomocí vakua

Při nutnosti zvýšit obsah výztuže a odsát přebytečnou pryskyřici pro zvýšení mechanických vlastností nebo zakomponovat tuhé sendvičové materiály – pěny nebo voštiny, volí se přítlak vakuem. Při prosycování měkkých sendvičových materiálů je třeba snížit podtlak. Prosycená výztuž se aplikuje jako při ručním kladení. Na poslední konstrukční vrstvy se pokládá tzv. odtrhová (strhávací) tkanina ze syntetických vláken, která usnadňuje další operace (laminování, lepení, povrchové úpravy) tím, že jí lze kdykoli po vytvrzení lehce strhnout a na vzniklém povrchu pokračovat s dalšími operacemi aniž by bylo třeba povrch odmašťovat či brousit nebo zdršňovat. Následují perforovaná separační folie a odsávací rohož, která vstřebává přebytečné pojivo a zároveň umožňuje odsát vzduchových bublin vakuem. Nakonec se aplikuje pružná vakuovací folie nebo pryžová plachetka, která se při obvodu formy přilepí těsnícím tmelem ve formě pásku či hmoty nebo oboustranně lepicí páskou k zajištění funkce vakua.

Přítlak se vyvozuje relativně malým podtlakem cca 0.3-0.9 bar, formy mohou být relativně jednoduché a nákladově nenáročné jako u technologie ručního kladení.

Ve většině případů pak vytvrzování ve vakuované formě probíhá při normální teplotě, použijí-li se prepregy, je třeba dosáhnout předepsané vytvrzovací teploty umístěním formy do vyhřívaného tunelu nebo vytápěné komory.

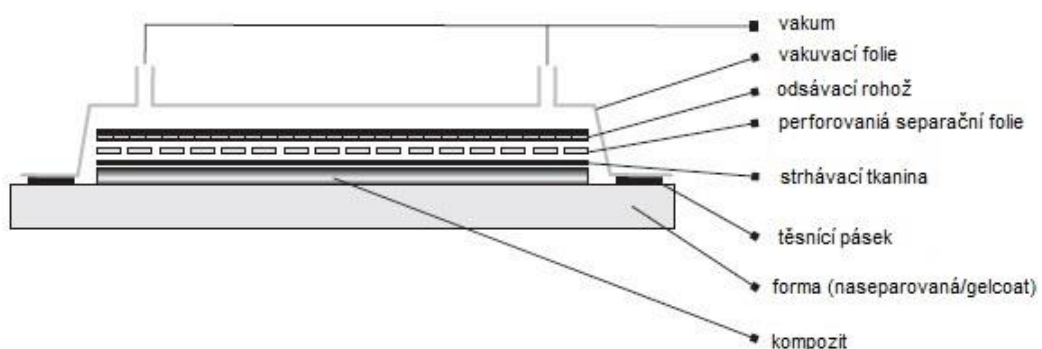
Používané materiály:

Výztuže: Tkaniny a pásy na bázi skleněných, uhlíkových nebo syntetických vláken všeho druhu, jejich kombinace, případně vlákna přírodní.

Matrice: Polyesterové nebo epoxidové pryskyřice

Pro náročné aplikace se užívá tzv. prepregů (předimpregnovaných výztuží), které vyžadují vytvrzování za zvýšených teplot. Prepregy mají vysoký obsah výztuže, omezenou skladovatelnost na několik dnů nebo týdnů v závislosti na typu pojivového systému a skladovací teplotě (při  $-18^{\circ}\text{C}$  až 12 měsíců).

Vakuové lisování se používá pro malé a střední série, technologie nevyžaduje vysoké náklady vyjma investice do vakuové pumpy. Výsledkem jsou oboustranně hladké výrobky včetně sendvičových struktur s vysokým obsahem výztuže a velmi dobrými mechanickými vlastnostmi. [2]



Obr. 6. Lisování pomocí vakua[2]



### 1.3.3 Vakuové prosyčování

(vacuum infusion, VIP- vacuum infusion process)

Technologie obdobná RTM light, odpadá zcela injekční zařízení. Užívají se 3 modifikace:

1) Vakuové prosyčování s pružnou vrchní částí formy. Spodní forma je tuhá, podobně jako u RTM light s odsávacími kanálky, vrchní část, nejčastěji kompozitní, má určitou pružnost, která reguluje přítlak, uzavírací sílu a prosyčování zajišťuje vakuum 0.6-0.8 bar.

Pojivo je buď přiváděno ze zásobníku, nebo se před uzavřením formy zhruba rozprostře na suchou výztuž. Metoda je vhodná pro oboustranně hladké dílce, do kterých mohou být zakomponovány jádrové materiály – pěny nebo voštiny- pro vytvoření sendvičové struktury.

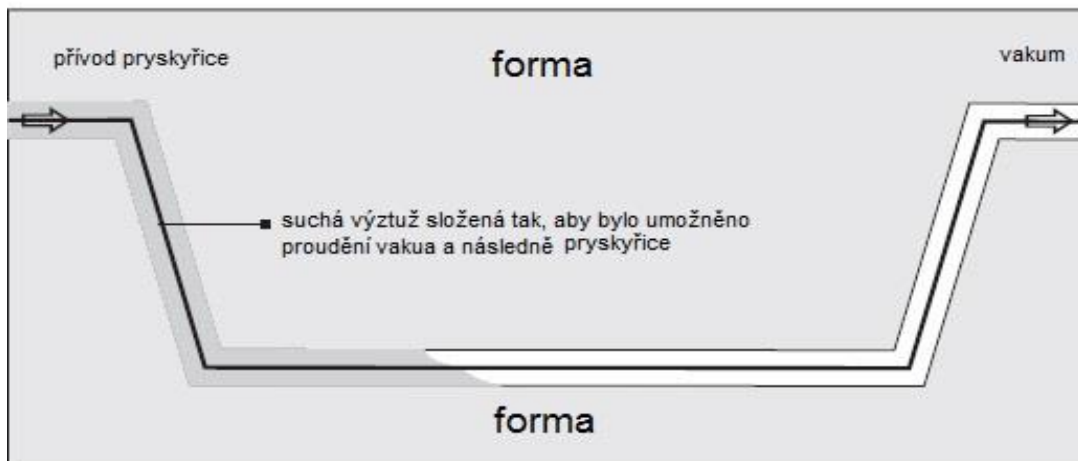
2) Vakuové prosyčování pod pružnou folií. Technologie má mnoho společného s lisováním pomocí vakua. Spodní forma je klasického typu jako pro ruční kladení. Místo druhé části formy se používá pružná folie, která je k okrajům formy připevněna těsníci pásky. Iniciované pojivo se přisává ze zásobníku, v případě velko rozměrných dílců se rozvádí perforovanými trubičkami až do vzdálenějších míst. Vakuum je aplikováno na obvodu formy pomocí kanálku, vytvořeného těsníci profily.

3) Metoda SCRIMP je velmi podobná metodě 2), pouze rozvod pryskyřice je zajišťován speciální sítkou, umístěnou na celý povrch suché výztuže. Závěr tvoří opět pružná folie. [2]

Použité materiály:

Výztuže: Vyztužující materiály všeho druhu, od tkanin na bázi skleněných, uhlíkových nebo aramidových vláken nebo jejich kombinací o různé gramáži a stylu tkaní, s různou orientací až po speciální prošívání nebo složené rohože. Je možno vkládat pěnové materiály pro tvorbu sendvičových struktur nebo semisendvičové materiály typu Coremat. Lze použít i strhávacích tkanin, pásek a povrchových rohoží.

Matrice: Polyesterové i epoxidové nízkoviskozní pryskyřice, pro velkorozměrové dílce vzhledem k dlouhým dobám prosycování je třeba volit vytvrzovací systémy s dlouhou dobou zpracovatelnosti. Metody vakuového prosycování jsou obzvlášť vhodné pro velkorozměrné díly jako trupy a paluby lodí, velké dílce pro kapotáž lokomotiv a vagonů, lopatky větrných elektráren apod., kde by jiné metody byly velmi pracné (ruční kladení) nebo neúnosně nákladné (RTM nebo klasické lisování). Pracovní cykly jsou ovšem delší, někdy až několik hodin. Infuzí prosycování je vhodné pro malé až střední série. [2]



Obr. 7. Vakuové prosycování [2]

- Dalšími technologiemi, které se používají pro výrobu kompozitů, jsou:

### 1.3.4 Vysokotlaké vstřikování RTM

(RTM – resin transfer moulding)

Formy jsou robustní konstrukce, kovové nebo polymerbetonové, aby snesly vysoké vnitřní tlaky. Do formy, opatřené gelcoatem, se vyskládá suchá výztuž tzv. předlisky z výztužného materiálu. Vyztužující materiál, ať už na bázi skleněných nebo jiných vláken, musí mít strukturu umožňující snadný tok pryskyřičného systému, aby se dosáhlo úplného prosycení v krátkém čase. Forma se poté uzavře vrchním dílem podobně tuhé konstrukce a zajistí rychloupínacím systémem. Do vstřikovacího otvoru se umístí in-

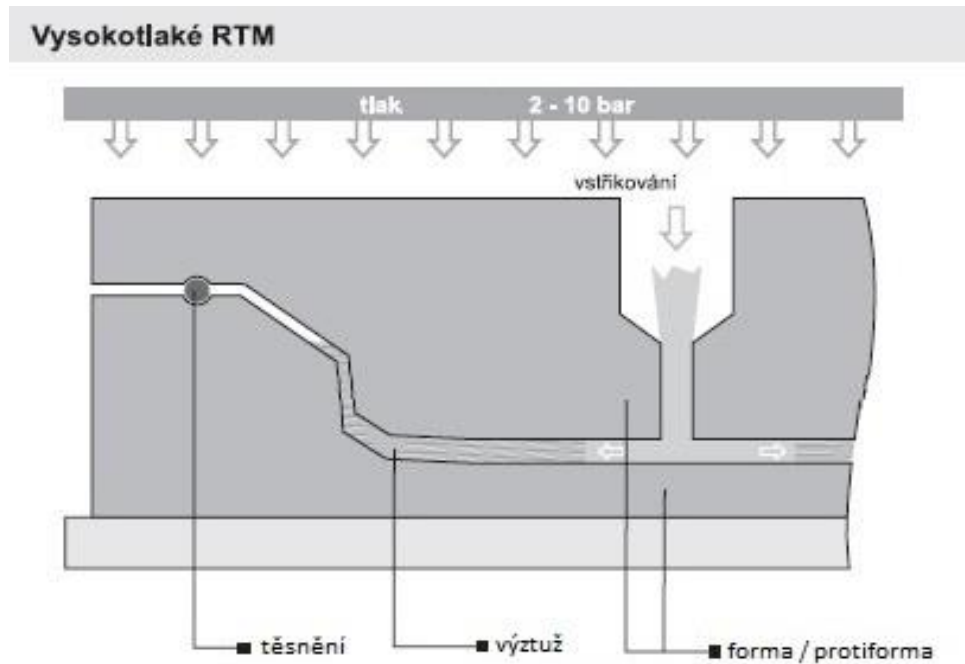
jektážní pistole, kterou se přivádí pojivo ze speciálního strojního zařízení – vysokotlaké pumpy se spřaženým regulovatelným směšováním iniciátoru. Pojivo se vstříkuje tak dlouho, pokud nezačne vytékat z kontrolních otvorů na okrajích formy, což znamená, že výztuž je zcela prosycena v celém objemu dílce. Pojivový systém je volen tak, aby vytvrzovací reakce s využitím exotermu proběhla v řádu 10-20 minut. [2]

Používané materiály

Výztuže: Rohože z nekonečného vlákna nebo prošivané rohože a speciální komplex skleněná rohož+vnitřní řídká rohož ze syntetických vláken, povrchové rohože o nízké gramáži.

Matrice: Nejčastěji polyesterové pryskyřice se zabudovaným urychlovačem, v řadě případů ve směsi s levnými plnivými (uhlíčitán vápenatý, aluminiumtrihydrát) pro snížení nákladů a úpravu vlastností, např. snížení hořlavosti, speciální typy tzv. Class A se sníženým smrštěním pro automobilové díly k přímému nasazení bez dalších povrchových úprav.

Vysokotlaké RTM je díky krátkým výrobním cyklům a reprodukovatelné kvalitě vhodná technologie pro vyšší série – několik stovek až tisíců kusů. Je třeba počítat s dost vysokou investicí na vstřikovací zařízení a s náklady na středně finančně náročné formy. Náklady na protikus formy lze snížit použitím tzv. distančních voskových folií o různé tloušťce odpovídající tloušťce výrobku, odpadá tak výroba druhého modelu. [2]



Obr. 8. RTM technologie [2]

### 1.3.5 Vakuo-injektážní technologie

(VARTM – vacuum assisted resin transfer moulding, RTM light)

Jde o modifikaci klasické technologie RTM, kdy prosycení výztuže napomáhá vakuem.

Užívá se 2 základních uspořádání:

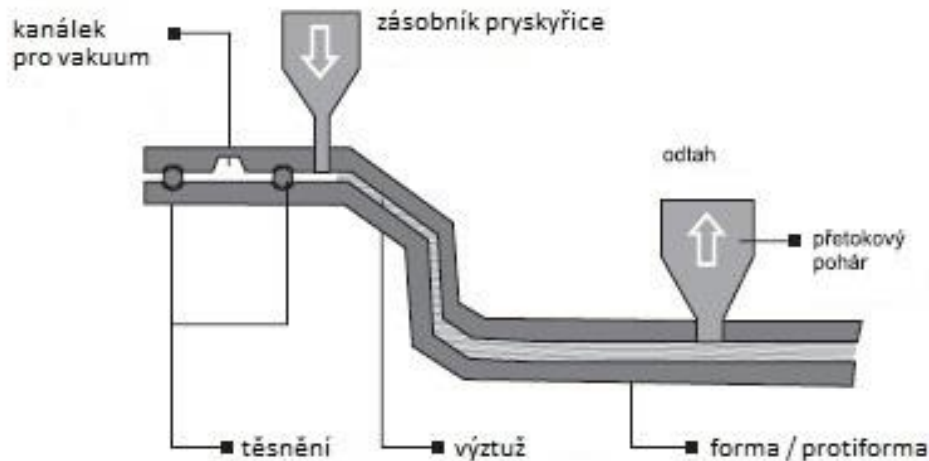
- vstřikování do středu formy, vakuum je aplikováno po obvodu formy
- přívod pojivy do obvodového kanálku, vakuum je aplikováno ve středu formy

Výhodou této technologie je díky nižším tlakům (0.4-1 bar) možnost konstruovat formy méně robustní, což umožňuje výrobu i větších dílů.

Používané materiály:

Podobné jako u klasické vysokotlaké RTM technologie, navíc těsnicí profily a pásy pro zajištění funkce vakua ve formě. [2]

### Vakuuminjekční technologie



Obr. 9 Vakuo-injektážní technologie [2]

#### 1.3.6 Tažení (pultruze)

Touto metodou se vyrábí plné, duté a tvarové profily s vysokým obsahem výztuže až 80%. Výztuž prochází lázní s iniciovanou pryskyřicí a po prosycení a odždímání přebytečné pryskyřice je vtahována do tvarovacích a vytvrzovacích průvlaků, jejichž dutina odpovídá vnějšímu tvaru vyráběných profilů. Modifikací této technologie je tlakové prosycování suché výztuže až v počáteční sekci formy.

V průvlaku dochází buď působením tepla (vyhřívány elektricky, topným médiem nebo vysokofrekvenčním ohřevem) k vytvrzení. Kompozitní profil je odtahován hydraulickými čelistmi nebo pásovými elementy a dělen na požadovanou délku.

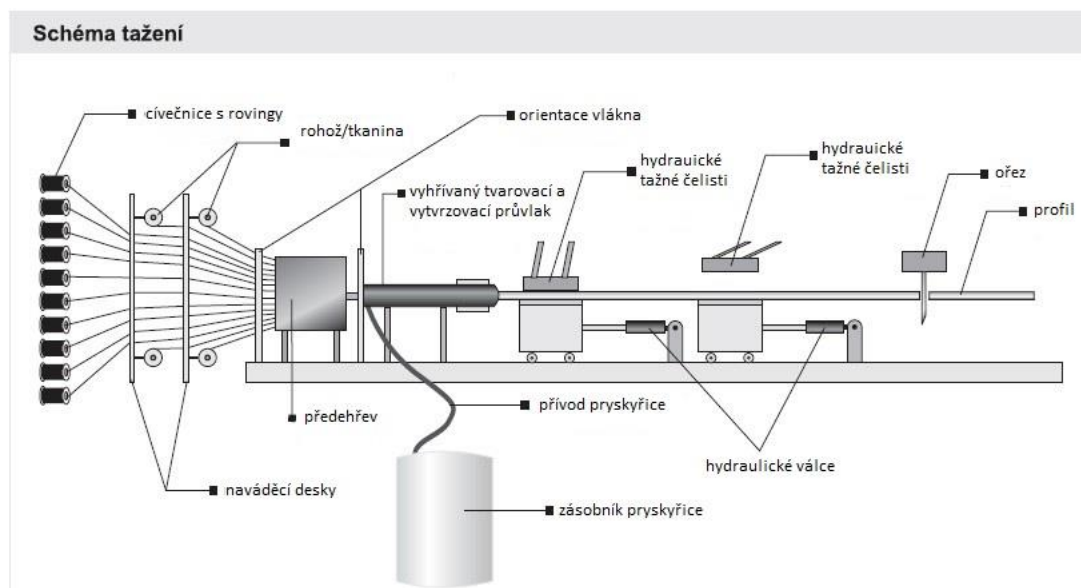
Variantou prosté pultruze je tzv. pulforming, kdy se během semikontinuálního procesu táhne prosycená výztuž, které je v následujícím kroku v dvoudílné vyhřívané formě udělen konečný tvar. [2]

Použité materiály:

**Výztuže:** Zejména skleněný roving, méně často uhlíkové pramence, tkané stuhy a pásy z různých vláken nebo rohože s těžko rozpustným pojivem, povrchové rohože, případně s potiskem.

**Matrice:** Pryskyřice epoxidové vinylesterové a polyesterové vytvrzující rychle za zvýšených teplot (80-160°C). Obvykle obsahují vnitřní separátory, přísady pro zlepšení hladkosti povrchu, probarvení a plniva pro snížení hořlavosti.

Technologie je vhodná pro kontinuální výrobu profilů od tenkých a jednoduchých až po velmi složité a rozměrné. [2]



Obr. 10 Schéma pultuze (tažení) [2]

## 1.4 Ovčí vlna

### 1.4.1 Struktura vlny

Ovčí vlna sestává z pesíků a vlnovlasů. Vlnovlas - chlup, který nemá dřeň a tvoří hlavní součást podsady dutorohých přežvýkavců. Rouno jemnovlnných ovcí je tvořeno pouze vlnovlasý. Vlnovlasý jsou podsadové chlupy, tvořící pravou vlnu. Díky cílené selekci se po celá staletí podařilo vlnu nejen zahustit, zjemnit a prodloužit, ale také zabránit každoroční výměně tenčí letní vlny za teplejší vlnu zimní. S chovem získanou největší jemností vlny za teplejší vlnu zimní. S chovem ziska-

nou největší jemnost vlny o stupni 29  $\mu\text{m}$  ale také zmizely dlouhé vnější krycí chlupy - pesíky, které na principu střechy ze slámy chránily vlnu před deštěm. [14]

#### 1.4.2 Produkce

Dnešní produkce ovčí vlny pochází především z Austrálie, kde se chová přibližně 180 milionů ovcí, dalších 70 milionů na Novém Zélandu, dále se ovce chovají ve Velké Británii Kanadě, USA a v menší míře i v jiných zemích. 40% vlny se produkuje z ovčí plemene merino, 47% kříženců merina a zbylých 17% od ostatních plemen, dále velbloudů, lam, angorských koz a kašmírových koz. V posledních letech dochází ke hledání nových způsobů využití ovčí vlny. Jde zejména o stavební a izolační hmoty, dále pak o plnivo polymerních výrobků. Tradiční využití ovčí vlny v textilním průmyslu má stále pevné místo. [9]

#### 1.4.3 Plemena ovcí



*Obr. 11. Ovce merino [18]*

### Merino

Ovce Merino a jeho kříženci jsou v produkci vlny základním typem ovce na jižní polokouli. Merino vzniklo ve Španělsku. Toto plemeno dobře roste ve vyprahlých krajích typických pro Austrálii, Jižní Afriku a části Nového Zélandu. Austrálie je nejvýznamnější vývozce Merina na světě. Toto plemeno je pěstované čistě pro svou vlnu. Tloušťka vlákna se pohybuje v mikrometrech, od jemného 12-13  $\mu\text{m}$ , až po hrubé 25-26  $\mu\text{m}$ , nejlepší vypěstované v Austrálii. Převážná část produkce vlny Merino se pohybuje okolo 20-23  $\mu\text{m}$ . Délka vlákna se pohybuje od 30-90mm. Toto plemeno se pěstuje v mnoha zemích světa a kvalita vyprodukovaného rouna se značně liší, v závislosti na podmínkách pěstování a chovu zvířat.

### Norské

V Norsku se chová více než jedno plemeno ovcí. Nejstarší je plemeno s lesklou vlnou známé jako Gammel Norsk Spelsau překládané jako starý norský Spelsau.

Spelsau je plemeno s kratšími a hrubšími vnějšími vlasy, jemnější je druhý růst. To se vztahuje na Gotland, a také plemena ovcí nacházejících se na Islandu

a Faerských ostrovech. Nicméně, hlavní plemeno v Norsku je nyní

kříženec ovce, šlechtěný přes Cheviot, který byl dovezen z Velké Británie kolem roku 1800. Letní vlna z první stříhání má tloušťku 29-36  $\mu\text{m}$  a délku 80-120 mm, je vhodná pro česání. Tato vlna se využívá pro plstění, ruční pletení přízí a tkaní oděvů, kde je vyžadována dobrá odolnost.

### Shetland

Shetland je nejmenší z britských plemen vyskytující se především na Shetlandských ostrovech. Předpokládá se, že je skandinávského původu. Toto plemeno vytváří vlnu v několika odstínech, včetně bílé, hnědé (moorit), šedé a černé. Vlna je měkká a hebká na dotek s dobrou objemovou charakteristikou. Výtěžnost je poměrně malá a velká část stříhu se spotřebuje samotnými ostrovany. Tloušťka vlny se pohybuje mezi 28-33  $\mu\text{m}$  a délka vlákna 50-120mm. Název "Shetland" zdruhověl. Hodně



pleteniny na trhu se vůbec nevyrábí ze shetlandské vlny, ale z vln jiného původu, které mají podobnou kvalitu a vzhled.

#### Jacob

Plemeno pochází pravděpodobně ze Sýrie, kde bylo chováno již před 3000 lety. Do Evropy, převážně Anglie bylo dovezeno před několika staletími. Kromě Angie se toto plemeno chová v Kanadě a USA. Typickým znakem tohoto plemene je vícero-host. Vlákna vlny mají tloušťku kolem 27-35  $\mu\text{m}$ , délku pak 80 - 100 mm.

#### Masham

Masham, je kříženec Teeswater nebo Wensleydale berana s Dalesbred nebo Swaledale ovce. Rouno je velmi dlouhé a lesklé a toto plemeno se vyskytuje hlavně na severu Anglie. Rouno je vhodný pro česání vzhledem k jeho délce a používá se ve speciálních produktech kvůli jeho omezené dostupnosti. Jemnost se pohybuje od cca. 38-44  $\mu\text{m}$  a délka cca 150-380mm.

#### Black Welsh

To je jediné čistě černé plemeno ovcí, chované ve Velké Británii. Jeho vlna je dostatečně jemná k použití ve speciálních výrobcích, a je dostatečně dlouhá, aby se česala. Toto plemeno se chová v celé Velké Británii, ale vzniklo v horách a vrchovinách velšských. Jemnost vláken je mezi 30-40  $\mu\text{m}$  a délka mezi 80 až 100 mm. Je docela objemné, ale nese více mrtvého vlasu než jiná plemena. Této vlny je pro komerční využití dostatečné množství.

#### Gotland

Gotlandského je plemeno Švédského původu. Je to jedno z nejstarších plemen ovcí. Toto plemeno bylo vyváženo, a malé chovy lze nalézt i v jiných zemích, včetně Norska, Dánska, Velké Británii a USA. Je to plemeno vhodné pro volnou pastvu a ostrov Gotland. Toto plemeno má nyní převážně šedou barvu a je obecně známé jako švédský Pelt. O vlnu tohoto plemene je poptávka pro svou měkkost a lesk, je dostatečně dlouhá, aby byly česány. Starší ovčí vlna je příliš hrubá pro použití v oděvech a ne tak lesklá. Rouno je také docela kudrnaté a podobné v některých pří-

padech mohéru. Jemnost vláken se pohybuje v rozmezí od 30- 44  $\mu\text{m}$ . Délka je 80 - 150mm.

#### Wensleydale

Toto plemeno Velké Británie je klasifikován jako dlouhovlnné a lesklé. Nachází se především na severu Anglie. Jedná se o bezrohé ovce s šedou hlavou. Má vlnité a velmi dlouhé rouno. Často se používá pro mísení s jemnější, ale kratší vlnou, kde je požadovaná silnější příze. Vlna je silná 40-50  $\mu\text{m}$  a 200-300 mm dlouhá.

#### Corriedale

Jedná se o Novozélandské plemeno ovcí, vytvořené křížením ovcí merino s Lincolnem a Leicesterem. Toto plemeno je nyní pěstováno ve více zemích včetně Austrálie a USA. Rouno je zářivě bílé. Tloušťka vlny je 25-30  $\mu\text{m}$  a délka 80-120 mm.

#### Cheviot

Toto plemeno je typické pro kopcovitou krajinu Velké Británie. Nachází se na vrchovině u skotských hranic, Northumberlandu, Jižního Walesu, Kanadě, Skandinávii, USA, Jižní Africe a na Novém Zélandu. Rouno se liší v kvalitě od jemného až po hrubé a má mnoho aplikací, takže je to vlna velmi univerzální. Má bílou barvu a je docela pružná, což činí vlnu vhodnou k plnicím účelům. Vlna našla popularitu v Cheviot suitings, typické skotské produkce a našla svou cestu do dek, koberečků a punčochového zboží. Jemnost je 30-40  $\mu\text{m}$  a délka 80-100 mm.

#### Falkland

Termín Falklandská vlna se odkazuje na vlnu pěstovanou pouze na Falklandských ostrovech. Vlna z těchto ostrovů je velmi dobře bílá a získává se z plemen Merino a Polwarth. Většina stríhané vlny vychází z plemene Polwarth. Zisk vlny je relativně malý ve srovnání s produkcí jinde po světě a byl, až do nedávné doby prodáván především prostřednictvím Velké Británie. Jemnost se pohybuje od 18 - 33  $\mu\text{m}$ . Délka je 80-100 mm.

### Swaledale

Pro toto plemeno z Velké Británie je typické pro hory a kopcovitou krajinu, zejména sever Anglie. Rouno má barvu bílou až šedou a hlavu má téměř celou černou. Vlna je převážně používána na kobercové příze kvůli jeho vynikající odolnosti. Některá vlna najde uplatnění v ručním pletení přízí. Jemnost je 40-60  $\mu\text{m}$  a délka 100-200 mm.

### Devon

Devon je plemeno klasifikováno převážně jako s dlouhou a lesklou vlnou. Nicméně je také výroba tzv. Devon close-wool, která je jemnější a kratší a nemá stejný lesk. Výtěžnost vlny je až do 10 kg. Je dobré pro plstění vlny a je ideální pro výrobu koberců. Jehněčí vlna tohoto plemena je vynikající pro pleteniny a tkané textilie. Jemnost je přibližně mezi 40-60  $\mu\text{m}$  a délka 200 do 250 mm.

### Texel

To je holandská plemeno, které lze nalézt rovněž v jiných zemích. Je ideální pro křížení ovcí. Ovce vytváří dobrou hustotu vlnu střední kvality, která je vhodná pro výrobu kobercové příze, punčochového zboží a pleteného zboží. Vlna je převážně bílá, s jemností mezi 32-40  $\mu\text{m}$  a délkou 80-150 mm. [8]

### Valaška

Původní hrubovlnné plemeno s trojstrannou užitkovostí (mléko, maso, vlna) přizpůsobené k salašnickému způsobu chovu. Do našich oblastí rozšířeno s valašskou kolonizací ve 14. stol. Je menšího tělesného rámce, hlava klínovitá, v čele úzká, u beranů mírně klabonosá. Uši poměrně krátké, rohatost u obou pohlaví častá, rohy jsou šroubovitě, lyrovitého nebo přímého tvaru. Krk delší, hrud' úzká a mírně klenu-tá, hřbet rovný a úzký, záď mírně sražená, pánev poměrně široká. Končetiny kratší, rovné s pevnou spěnkou. Vlna smíšená, hrubá a splývavého charakteru, nad 40  $\mu\text{m}$ . Roční stříž potní vlny bahnic 1,5-2,0 kg, beranů 2,0-3,0 kg, roční délka vlny nad 20 cm, výtěžnost vlny 65-70%. V minulosti se valašky chovaly s nejednotným zbarvením, často černé a pigmentované. Živá hmotnost bahnic 35-40 kg, beranů 45-55 kg.

Plemeno zařazeno do genových zdrojů ohrožených druhů zvířat. Na jeho podkladě bylo vyšlechtěno plemeno zušlechtěná valaška. [15]

## 1.5 Využití ovčí vlny

### 1.5.1 Izolace staveb ovčí vlnou

Ke stavebním účelům ovčí vlnu předurčují hlavně její technické vlastnosti. Jde především o to, že v konstrukci vytváří paropropustnou vrstvu, která ale zároveň dostatečně tepelně izoluje. Na rozdíl od materiálů na minerální bázi ovčí vlna váže například vzdušnou vlhkost a neztrácí přitom tepelně-izolační schopnosti. Dále není nutné používat parotěsnou zábranu, jako u klasických minerálních izolací. Při zpracování vlny je prvním krokem její vyčištění, jež spočívá v opakovaném vyprání ve vodě s běžným pracím prostředkem a sodou. Jako ochrana proti napadení moly se užívá pokrytí vláken pyrethroidem s obchodním názvem Molantin SP, který zabrání molům v poškození vlny. Tato látka zůstává trvale na povrchu vláken a neuvolňuje se do prostředí. [10]

Řešení izolace pro dřevostavby - Širší uplatnění ovčí vlny v běžných stavbách umožňuje produkce firem, jež se na tento materiál zaměřují a pronikly i na český trh. Výrobky z ovčí vlny sloužící k tepelné izolaci přitom nacházejí uplatnění hlavně v dřevostavbách. Nejpoužívanější technologií při vytváření vnějšího pláště dřevostavby je skladba, v jejímž rámci je interiér od izolační vrstvy oddělen nepropustnou parozábranou. To zaručuje, že do konstrukce nepronikne vnitřní vzdušná vlhkost, která by poškodila konstrukci i izolaci, a také zabrání úniku tepla. Na druhou stranu tak ale v domě vzniká prostor s vysokou vzduchotěsností, který je nutné kvalitně odvětrávat – například s pomocí nuceného větrání s rekuperací tepla. To je ovšem technicky i finančně náročné. Proto se v posledních patnácti letech u dřevostaveb jako alternativa uplatňují tzv. difúzně otevřené konstrukce. Difúzně otevřená konstrukce pracuje se skutečností, že plyny díky mechanismu molekulárního přenosu prostupují konstrukcí, která není vzduchotěsně upravena, v plášti dřevostavby jsou tedy použity např. dřevovláknité desky, které jsou difúzně otevřené, nepoužívá se parozábrana ani jiné opatření, jež by stavbu vzduchotěsně uzavřelo.

Výhodou takového řešení je pohyb plynů, který nevyhovuje plísním, houbám a různým mikroorganismům a zlepšuje kvalitu vnitřního ovzduší v interiéru. Takovéto skladby pláště s dřevovláknitými deskami a izolací z ovčí vlny mají také vysokou tepelně-akumulační schopnost a s jejich použitím se do značné míry daří odstranit jednu z hlavních nevýhod dřevostaveb – letní přehřívání. V místech, kde dochází k difúzi vodní páry, za určitých teplotních podmínek může docházet ke kondenzaci vlhkosti. Realizace difúzně otevřených skladeb pláště budovy proto klade velké nároky na zkušenosti prováděcích firem, přísné dodržení technologických postupů a použití vhodných materiálů. [10, 13]



*Obr. 12. Izolace roštových stěn [19]*

Řešení izolace podlah a oken - V případě izolačních desek se vlákna kladou rovnoběžně s jejich rovinou a objemová hmotnost se pohybuje mezi 20 a 25 kg/m<sup>3</sup>. Rohože s kolmým vláknem mají objemovou hmotnost menší – kolem 12 kg/m<sup>3</sup> a je jimi možné vyplňovat i těžko přístupné prostory – dutiny, štěrby apod. Nabídka produktů z ovčí vlny je ale širší. Kromě izolačních rohoží a desek lze pro použití ve stavební konstrukci pořídit mykané vlněné rouno, které je vhodné k vycpávání spár a dutin. Pro izolaci kročejového hluku se používá několik milimetrů silný filc z ovčí střížní vlny s natronovým silným papírem, který je vhodný ke zvýšení kročejové neprůzvučnosti pod plovoucími i parketovými podlahami. Dalším produktem z ovčí

vlny, který při těsnění dveřních a okenních prostupů dobře zastoupí syntetické těsnící pěny.



*Obr. 13. Izolace podkroví [20]*

Česká firma Naturwool s.r.o. sídlící v Brumově-Bylnici zpracovává ovčí vlnu od místních chovatelů a vyrábí z ní izolace z ovčí vlny. Vyrábí izolaci A500 Naturwool, jde o pás zpracované ovčí vlny, kde součinitel tepelné vodivosti jedné vrstvy A500 Naturwool (50 mm) je 0,040 W/mK. Při izolaci staveb se běžně používá více vrstev (obvykle kolem 25 cm). Těmito izolačními vlastnostmi však výhody izolace z ovčí vlny teprve začínají. Ovčí vlna a izolace z ní vyrobená dokáže aktivně a příznivě působit na prostorové klima Vašeho domu. Vlákna ovčí vlny na sebe dokáží vázat přebytečné vodní páry z interiéru a dokáže tak udržovat optimální úroveň vlhkosti. Při nedostatku vlhkosti ji poté dokáže opět uvolnit. Ovčí vlna se dá označit také jako prostorový filtr či čistička vzduchu, neboť dokáže pohlcovat a efektivně odbourávat škodliviny z interiéru domu. Těmito látkami je například ozón, který je vedlejším produktem některé výpočetní elektroniky, další škodlivou látkou, kterou dokáže ovčí vlna odbourávat je formaldehyd, který obsahují některé lepené dře-

votřískové materiály, koberce nebo lepidla a tmely. Velkou výhodou je také manipulace při samotné montáži izolace, kdy nedráždí pokožku ani sliznici. Ovčí vlna je samozhášivá a při teplotě 560 °C se škvaří. Izolace ovčí vlnou je vhodná pro izolace střešních konstrukcí a podkroví, roštových svislých konstrukcí stěn, vnější izolace domu a izolace spár srubových staveb. [11]



*Obr. 14. Izolační pásy firmy Naturwool s.r.o.[11]*

### **1.5.2 Ovčí vlna jako plnivo pro vstřikování polymeru**

Ovčí nebo kozí srst, případně přírodní vlákna juty, lnu, banánovníku mohou významně ovlivnit užité vlastnosti a výrazně snížit cenu výrobku zejména pro automobilový průmysl, případně i jiná odvětví spotřebního průmyslu. To potvrdil profesor Lenfeld z Univerzity v Liberci. Jeho tým se zabývá vývojem nových materiálů s přírodními plnivý rostlinného a živočišného původu. Cílem projektu je zlepšit vlastnosti a nahradit minerální a syntetická plniva v plastových dílech přírodními materiály. Materiál pro vstřikování vyrábí tak, že se přírodní vlákno rozemele a poté se smísí s polymerem a případnými aditivami. Vyrobí granulát, který se ve vstřikovací stroji zplastikuje a vstřikuje do formy, kde získá požadovaný tvar výrobku. Tým vybral necelých deset kompozitů, u kterých se prokázalo, že přírodní vlákna zlepšují užité vlastnosti pro technické dílce i pro spotřební průmysl a sníží cenu výrobku. Snížení ceny je dost výrazné, protože dnes stojí jeden kilogram polypropyle-

nu zhruba dvě Eura a vlna stojí asi jednu čtvrtinu. Důležitější ovšem je, že výroba dílů s přírodními vlákny méně zatěžuje životní prostředí. Uplatnění přírodních kompozitů bude do budoucna jistě širší, než lze dnes odhadnout. A to nejenom v rámci náhrady plniv v současné době používaných, ale i z hlediska výsledných užitných vlastností, netoxičnosti a spalitelnosti. Vstřikování biokompozitů je dodnes málo prozkoumanou oblastí. Přírodní vlákna juty, konopí, lnu, vlákna banánovníku nebo bambusu výrazně zvyšují tuhost plastových dílů. Díly jsou vhodné jak pro pohledové, tak i konstrukční díly, například pro použití třeba u výplní dveří, sloupků, konzol a u dalších automobilových dílů z plastů. Houževnatost za minusových teplot je dokonce srovnatelná se syntetickou polypropylénovou matricí. Dále se zvýší absorpce hluku a vibrací. Naopak živočišná vlákna působí příznivě zejména z hlediska tažnosti materiálu a také houževnatosti. Jde zejména o ovčí a kozí srst a hedvábí tussah. [6, 7]

### 1.5.3 Další využití ovčí vlny

V čalounické výrobě se používají hrubá vlákna vznikající při spřádání rouna. Vlákna se smíchávají buď s méně hodnotnými žíněmi do kypřicí vrstvy čalouněného výrobku, nebo s dalšími materiály jako je divoké hedvábí, kozí a velbloudí srst. Kvalitní ovčí vlna se dodává v nábalech jako tabulová vata na plnění přikrývek. Ovčí vlna, zpracovaná ve formě rouna je výborným kypřicím materiálem na výrobu matrací. Vlna vykazuje absorpční, antibakteriální, termoregulační a voděodolné vlastnosti, uchovává si vzdušnost a nevede statickou elektřinu. Vlna jako plošný materiál izoluje oběma směry (dovnitř i ven). Z vlny se také vyrábí hodnotné potahové textilie, které mají přirozenou sníženou hořlavost. Jemná vlákna vlny jsou vhodná na výrobu plstí, případně se mísí s bavlnou nebo jinými vlákny jako výplňový materiál. Významným vedlejším produktem z ovčí vlny je lanolin, chemicky velmi složitý voskovitý tuk, který se používá na zvláčnění usně. [12]



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 2 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bakalářská práce se zabývá využitím přírodních vláken pro polymerní kompozitní materiály.

Cíle bakalářské práce můžeme formulovat:

1. Úprava přírodních vláken a výroba preformy.
2. Návrh materiálového složení přírodních kompozitů.
3. Výroba zkušebních vzorků.
4. Experimentální testování zkušebních těles dle ČSN 527-4 (tah) a ČSN 178 (ohyb)
5. Vzájemné srovnání dosažených výsledků
6. Závěr bakalářské práce.

## 2.1 Návrh materiálového složení kompozitních systémů s přírodními vlákny

- **Matrice**

Jako matrice byla použita epoxidová pryskyřice L 285 (MGS) smíchaná s tužidlem v hmotnostním poměru 100 dílů pryskyřice (žlutá barva) na 40 dílů tužidla (modrá barva). Tyto materiály vyrábí firma Havel Composites s.r.o. Hmotnostní poměr matrice a výztuže byl shodný pro vzorky ze silikonové formy, kompozitní desku z ovčí vlny i porovnávací desku vyztuženou vlákny psí srsti. Barva namíchané pryskyřice byla světle modrá, průhledná.

- **Výztuž**

Matrice zkušebních těles byla plněna výztuží z ovčí vlny plemene valašské ovce. Tato vlna byla vyprána za účelem odmaštění a zbavení většiny nečistot, následně rozčesána a navrstvena do krabice pro snazší přepravu a uchování. Kromě ovčí vlny byla použita vlákna psí srsti pro výrobu porovnávací desky. Šlo o vlákna srsti plemene Bišon, toto psí plemeno, bývá běžně stříháno, protože srst tohoto plemene neustále roste podobně jako lidské vlasy. Právě pro tuto podobnost se chlupy tohoto plemene označují jako vlasy.

Hmotnost výztuže i obou složek pryskyřice byla vážena na digitální váze značky Lesak s.r.o. Pryskyřice byla mísená v plastových nádobkách, na výztuž byla nanášena pomocí špachtle.

## 2.1 Výroba zkušebních těles pomocí technologie – ruční laminování pod vakuovací fólii a odlévání vzorků do formy

Jako první série byla vyráběna sada vzorků v silikonové formě. Dutiny formy byly částečně zaplněny pryskyřicí a následně do nich byla vkládána výztuž. Výroba vzorků probíhala ze 100 g pryskyřice s tužidlem, jako výztuž menších vzorků posloužilo pět kusů vlny o hmotnosti 0,308 g, pro větší vzorky to bylo 5 kusů o hmot-

nosti 0,186 g. Ta byla na závěr prosycována zbytkem pryskyřice. Na zaplněnou formu byla položena odtrhová tkanina z nylonu 66 a vakuovací folie. Následně bylo vše zatíženo závažím. Vzorky ve formě byly ponechány do úplného vytvrzení. Podle technického listu je doba vytvrzování 24 hodin při 23 °C. Vzorky zůstaly ve formě několik dní. Následně se vzorky vyjmuly z formy. Šly snadno odlepit z dutin formy pomocí mírného ohnutí formy. Ze vzorků byla také stržena odtrhová tkanina. Hrany vzorků byly následně začištěny.



*Obr. 15. Silikonová forma pro výrobu zkušebních vzorků*



*Obr. 16. Silikonová forma s dutinami naplněnými pryskyřicí*



*Obr. 17. Detail dutin formy s pryskyřicí a výztuží z ovčí vlny*



*Obr. 18. Zaplněná forma pod fólií*



*Obr. 19. Hotové zkušební vzorky*

Následně byla vyráběna deska vyztužena ovčí vlnou a porovnávací deska vyztužená vlákny ze psí srsti. Obě desky byly vyráběny současně, byly vyráběny na deskové formě a byla použita metoda ručního kladení s následným vakuováním. Jako první byla deska očištěna od zbytků pryskyřice a zbytků lepidel. Následně byl na formu nanesen vosk pro snadné oddělení hotové desky z formy. Dalším krokem výroby bylo nanesení části pryskyřice na formu, navrstvení poloviny výztuže a její prosycení další částí pryskyřice. Následně byla položena druhá vrstva výztuže, ta byla prosycena zbylou pryskyřicí. Pro výrobu kompozitní desky vyztužené ovčí vlnou bylo použito 500 g pryskyřice s tužidlem na 200 g vláken ovčí vlny. Vrstvení výztuže a postupné prosycování bylo zvoleno z důvodu velké tloušťky výztuže a snahy o lepší prosycení v celém objemu.

Stejným způsobem byla vyráběna i porovnávací deska vyztužená vlákny ze psí srsti. Tato deska byla složena z 92 g pryskyřice a 37 g vláken. Nezvyklé hmotnosti byly dány omezeným množstvím vláken ze psí srsti a snahou o zachování stejného poměru hmotnosti výztuže a matrice.

Obě prosycené výztuže byly společně překryty strhávací tkaninou, odsávací rohoží a nakonec překryty vakuovací folií. Ta byla po obvodu přilepena k deskové formě, v rohu byl také zalepen konec hadice sloužící k odsávání vzduchu. Odsávání zajistila dvoustupňová rotační vývěva Value VE 225, která nasávala vzduch přes zásobník pryskyřice s manometrem.



*Obr. 20. Dvoustupňová vývěva pro odsátí vzduchu*

Úkolem zásobníku pryskyřice je aby pryskyřice nasátá do odsávací hadice nemohla vniknout do vývěvy a poškodit ji. Při odsátí vzduchu z prostoru pod vakuovací folií, došlo působením okolního vzduchu ke značnému stlačení prosycené výztuže obou desek a lepšímu prosycení. Přebytečnou pryskyřici nasála odsávací rohož. Po vytvrzení pryskyřice následovalo odformování obou kompozitových desek.





*Obr. 21. Zásobník pryskyřice*



*Obr. 22. Prosycená ovčí vlna při výrobě kompozitní desky*



*Obr. 23. Prosycená ovčí vlna pod vakuovací folií po odsátí vzduchu*



*Obr. 24. Kontrolní měření teploty při vytvrzování*



*Obr. 25. Lícová strana desky z ovčí vlny*



*Obr. 27. Rubová strana desky z ovčí vlny*



*Obr. 26. Rozřezaná deska na vzorky*



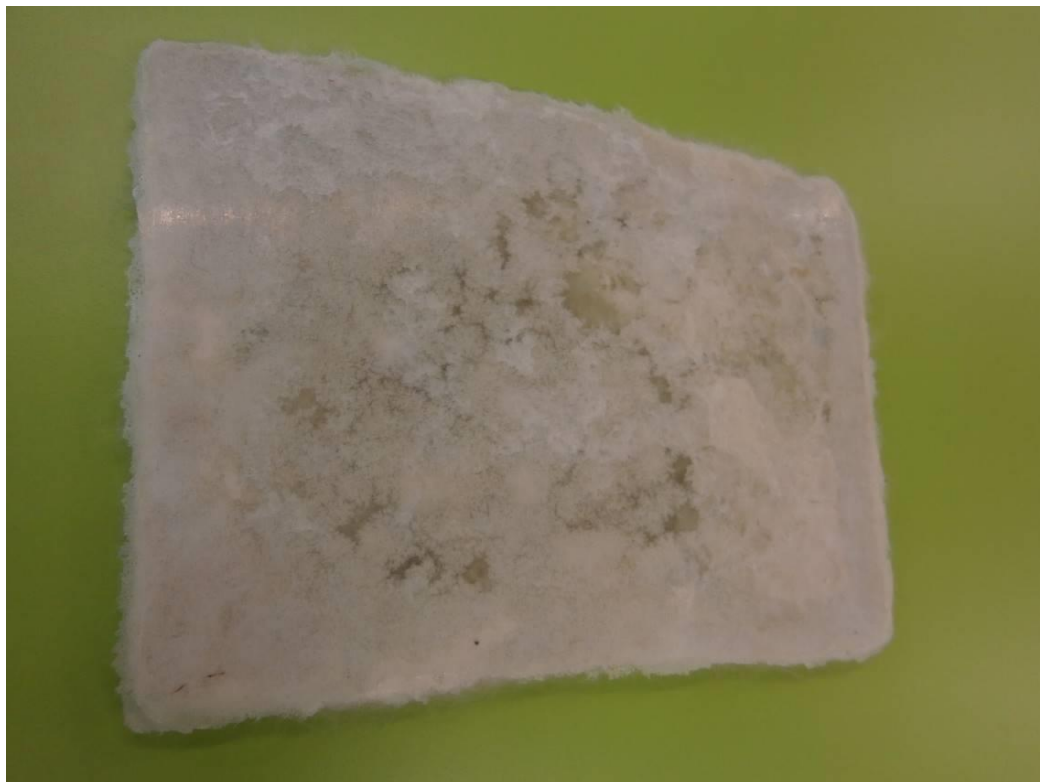
*Obr. 28. Detail vzorků nařezaných z desky*



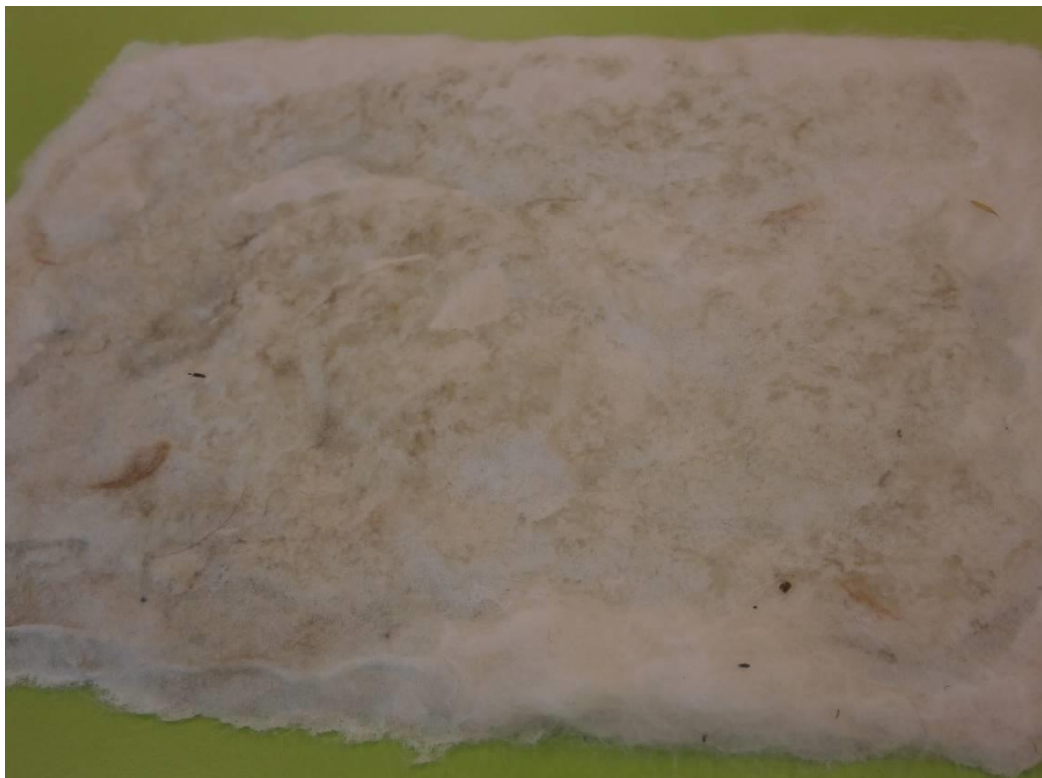
*Obr. 29. Prosycená vlákna psí srsti pro výrobu porovnávací desky*



*Obr. 30. Prosycená vlákna psí srsti po odsátí vzduchu*



*Obr. 31. Lícová strana porovnávací desky vyztužená vlákny psí srsti*



*Obr. 32. Rubová strana porovnávací desky vyztužená vlákny psí srsti*



*Obr. 33. Porovnávací deska rozřezaná na vzorky*

### 2.3 Experimentální testování zkušebních těles dle zvolených norm

Pro testování vzorků byly použity tyto normy. ČSN 527-4 pro zkoušku tahem a ČSN 178 pro zkoušku ohybem. Pro zkoušky byl použit univerzální zkušební stroj Zwick 1456 umožňující provádět tahové, tlakové a ohybové zkoušky. Stroj disponuje maximálním posunem příčnicku 800 mm/min a snímačem síly v rozsahu 2,5 – 20 kN. Umožňuje také zkoušky za zvýšené případně snížené teploty pomocí teplotní komory v rozsahu -80 až + 250 °C. Měření probíhalo při teplotě 24,4°C. Zkušební stroj odesílal data do počítače, kde byly vyhodnocovány pomocí softwaru testExpert II.



Obr. 34. Zkušební stroj Zwick 1456



Obě desky byly rozřezány na vzorky ve směru vláken a zkoušeny při teplotě 24,4°C. Jako první byla prováděna zkouška ohybem. Pro tuto zkoušku byly ve stroji Zwick 1456 namontovány podpory pro třibodový ohyb.



*Obr. 36. Zkušební vzorek vyztužený ovčí vlnou při zkoušce ohybem*



*Obr. 35. Zkušební vzorek vyztužený vlákny psí srsti při zkoušce ohybem*

Po dokončení ohybových zkoušek byla prováděna zkouška tahem. Pro zkoušku tahem bylo nutno vyměnit přípravek pro ohybovou zkoušku za čelisti používané při tahové zkoušce. Pro snadné změny zkoušek jsou přípravky na stroji Zwick 1456 uchyceny pomocí čepu a matice.



*Obr. 37. Zkušební vzorek vyztužený ovčí vlnou při zkoušce tahem*

## 2.4 Vyhodnocení experimentálních výsledku, diskuze

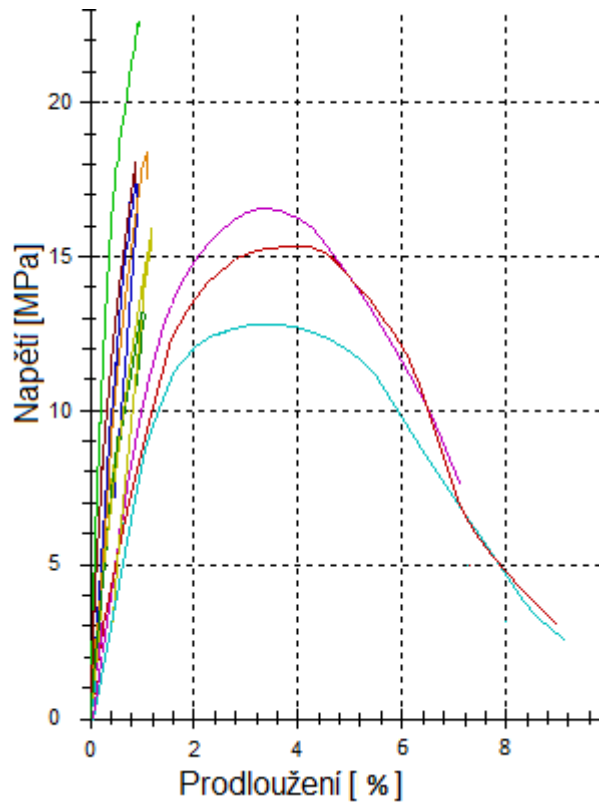
- Výsledky měření pevnosti v tahu

Tab. 5. Výsledky měření pevnosti kompozitu z ovčích vláken, vyrobených metodou ručního laminování s následným vakuováním

n	E [MPa]	$\sigma_M$ [MPa]	$\varepsilon$ [%]	$W_M$ [%]	a [mm]	b [mm]	$s_0$ [mm <sup>2</sup> ]
1	796	15,3	2,1	1746,85	5	19	95
2	3550	22,6	0,4	524,63	5	19	95
3	1820	17,4	1	342,64	5	19	95
4	1270	18,4	0,2	472,19	5	19	95
5	1010	16,6	2,1	2047,59	6	19	114
6	757	12,7	1,9	1545,36	6	19	114
7	1300	16	1,3	505,31	6	19	114
8	2570	18,1	0,2	450,66	6	19	114
9	1340	13,3	0,3	445,83	6	19	114

Tab. 6. Statistika měření pevnosti kompozitu z ovčích vláken, vyrobených metodou ručního laminování s následným vakuováním

n = 9	E [MPa]	$\sigma_M$ [MPa]	$\varepsilon$ [%]	$W_M$ [Nmm]	a [mm]	b [mm]	$s_0$ [mm <sup>2</sup> ]
$\bar{x}$	1600	16,7	2	897,9	5,556	19	105,56
s	919	2,97	1,4	675,38	0,527	0	10,01
v	57,41	17,74	67,92	75,22	9,49	0	9,49



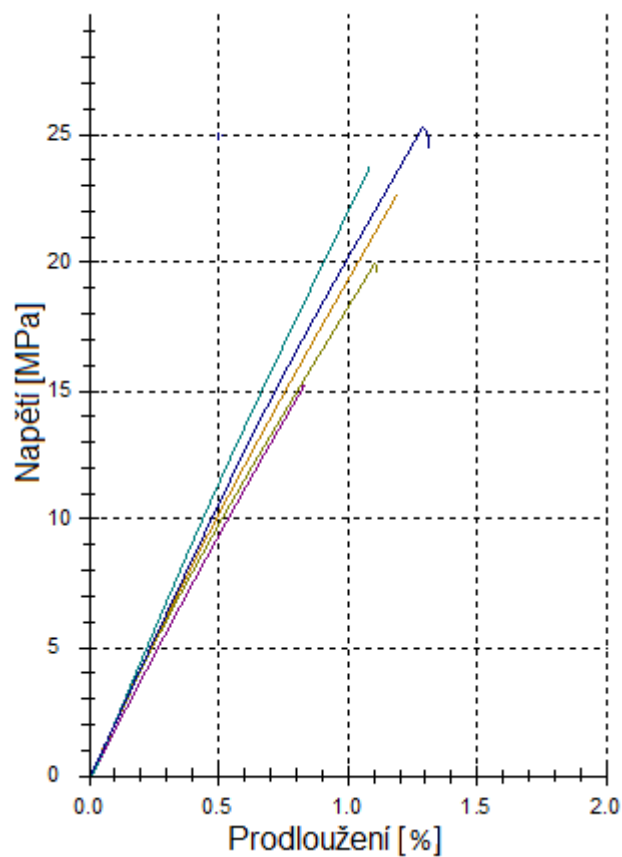
Obr. 38. Tahová závislost kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vyrobeného ručním laminováním s následným vakuováním

Tab. 7. Výsledky měření pevnosti kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vyrobeného odléváním do silikonové formy

n	E [MPa]	$\sigma_M$ [MPa]	$\epsilon$ [%]	$W_M$ [Nmm]	a [mm]	b [mm]	$s_0$ [mm <sup>2</sup> ]
1	2080	25,5	1,3	396,92	6	10	60
2	2280	22,5	1,2	333,16	6	10	60
3	2020	15,2	0,8	150,85	6	10	60
4	2160	23,8	1,1	311,46	6	10	60
5	2040	20	1,1	276,3	6	10	60

Tab. 8. Statistika měření pevnosti kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vyrobeného odléváním do silikonové formy

n = 5	E [MPa]	$\sigma_M$ [MPa]	$\varepsilon$ [%]	$W_M$ [Nmm]	a [mm]	b [mm]	$s_0$ [mm <sup>2</sup> ]
$\bar{x}$	2120	21,4	1,1	293,74	6	10	60
s	108	4	0,2	91,16	0	0	0
v	5,08	18,71	17,18	31,03	0	0	0



Obr. 39. Tahová závislost kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vzorků vyrobených odléváním do silikonové formy

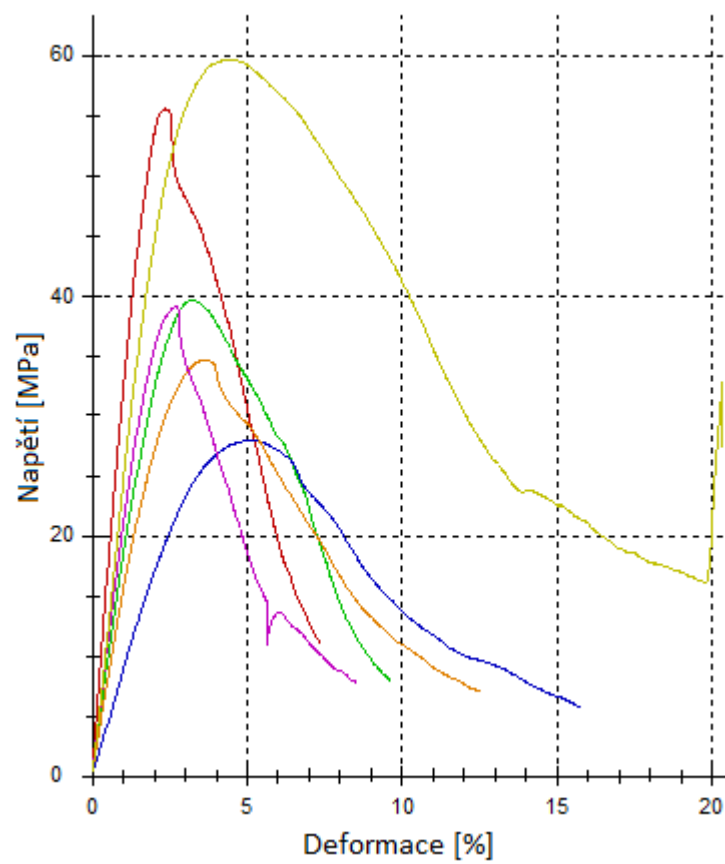
- Výsledky zkoušek v ohybu

Tab. 9. Výsledky měření pevnosti kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vzorků vyrobených ručním laminováním s následným vakuováním

n	E [MPa]	$\sigma_{Mf}$ [MPa]	$\epsilon$ [%]	$W_{Mf}$ [Nmm]	a [mm]	b [mm]	$s_0$ [mm <sup>2</sup> ]
1	3430	55,6	2,3	929,86	7	19	95
2	1870	39,7	3,2	1110,8	6	19	114
3	809	28	5,2	1550,18	7	19	133
4	1550	34,7	3,6	1122,73	6	19	114
5	2120	39,1	2,7	828,78	5,4	19	102,6
6	2290	59,6	4,3	1497,68	5	19	95

Tab. 10. Statistika měření pevnosti kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vzorků vyrobených ručním laminováním s následným vakuováním

n = 6	E [MPa]	$\sigma_{Mf}$ [MPa]	$\epsilon$ [%]	$W_{Mf}$ [Nmm]	a [mm]	b [mm]	$s_0$ [mm <sup>2</sup> ]
$\bar{x}$	2010	42,8	3,5	1173,34	6,067	19	108,93
S	869	12,3	1,1	293,83	0,8165	0	14,55
v	43,21	28,77	29,87	25,04	13,46	0	13,36



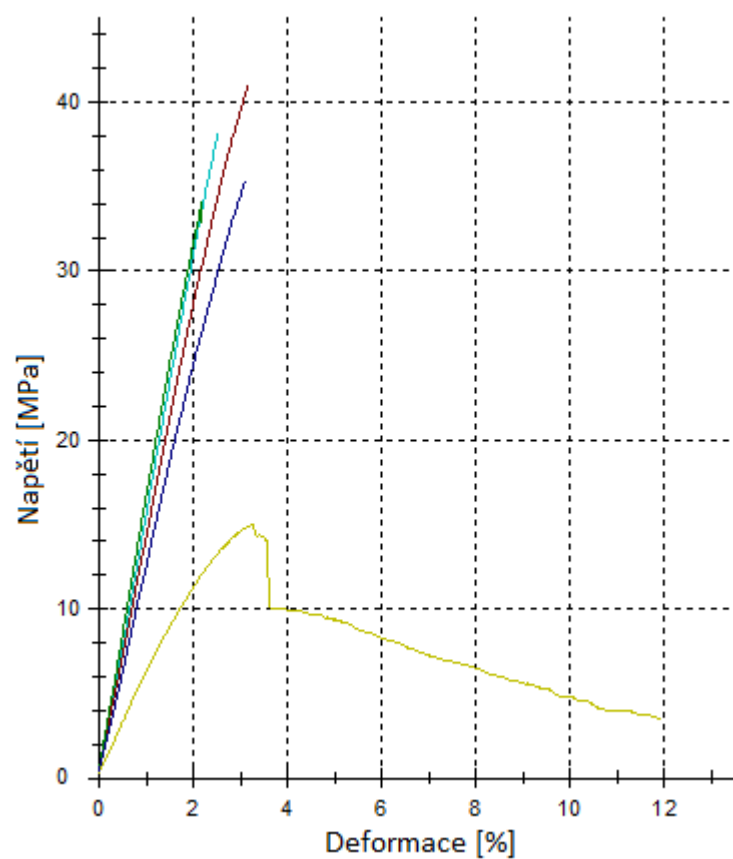
Obr. 40. Ohybová závislost kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vzorků vyrobených ručním laminováním s následným vakuováním

Tab. 11. Výsledky měření pevnosti vzorků vyrobených odléváním do silikonové formy

n	E [MPa]	$\sigma_{Mf}$ [MPa]	$\epsilon$ [%]	$W_{Mf}$ [Nmm]	a [mm]	b [mm]	$s_0$ [mm <sup>2</sup> ]
1	1400	38,2	2,5	285,59	5	19	95
2	508	15	3,3	200,07	5	19	95
3	1320	41,1	3,2	439,36	4,6	19	87,4
4	1550	34,1	2,2	268	5	19	95
5	1120	35,4	3,1	398,64	5	19	95

Tab. 12. Statistika měření pevnosti vzorků vyrobených odléváním do silikonové formy

$n = 5$	$E$ [MPa]	$\sigma_{Mf}$ [MPa]	$\epsilon$ [%]	$W_{Mf}$ [Nmm]	$a$ [mm]	$b$ [mm]	$S_0$ [mm <sup>2</sup> ]
$\bar{x}$	1180	32,7	2,9	318,33	4,92	19	93,48
$s$	407	10,3	0,5	98,35	0,1789	0	3,4
$v$	34,54	31,4	16,47	30,89	3,64	0	3,64



Obr. 41. Ohybová závislost kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vzorků vyrobených odléváním do silikonové formy

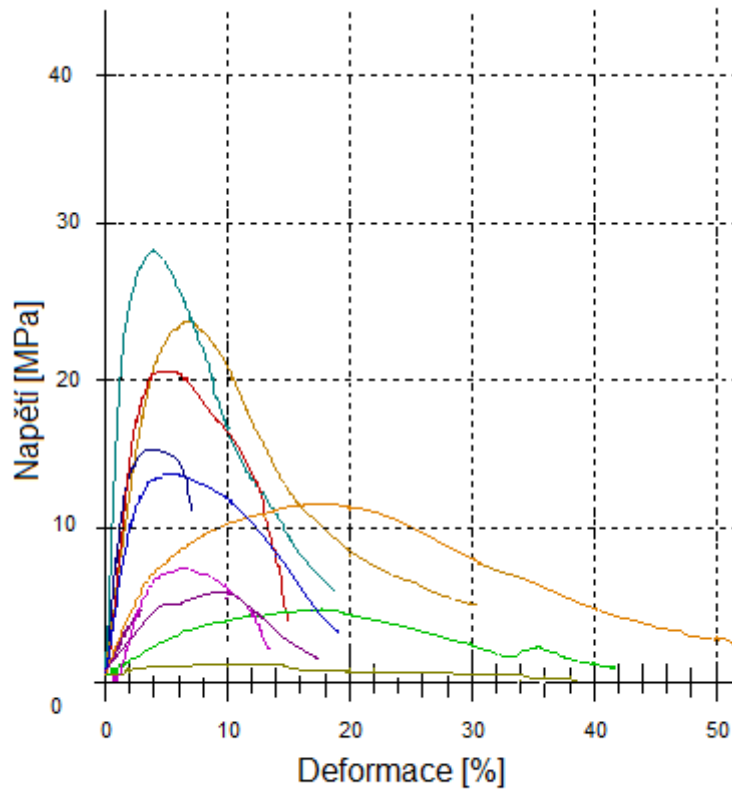


Tab. 13. Výsledky měření pevnosti kompozitu vyztužených vláknou psí srsti, vzorků vyrobených ručním laminováním s následným vakuováním

n	E [MPa]	$\sigma_{Mf}$ [MPa]	$\epsilon$ [%]	$W_{Mf}$ [Nmm]	a [mm]	b [mm]	$s_0$ [mm <sup>2</sup> ]
1	826	15	3,9	414,93	5	19	95
2	594	23,7	6,5	552,13	5	19	95
3	156	5,61	8,9	318,96	5	19	95
4	1660	28,6	4	719,6	5	19	95
5	10,4	1,01	8,5	32,51	5	19	95
6	803	20,4	5,5	677,63	5	19	95
7	47,9	4,76	17,7	310,83	5	19	95
8	555	13,5	4,8	461,43	6	19	114
9	227	11,7	17,4	969,23	6	19	114
10	310	7,35	6,3	253,53	5,5	19	104,5

Tab. 14. Statistika měření pevnosti kompozitu vyztužených vláknou psí srsti, vzorků vyrobených ručním laminováním s následným vakuováním

n = 10	E [MPa]	$\sigma_{Mf}$ [MPa]	$\epsilon$ [%]	$W_{Mf}$ [Nmm]	a [mm]	b [mm]	$s_0$ [mm <sup>2</sup> ]
$\bar{x}$	519	13,2	8,3	471,08	5,25	19	99,75
s	497	8,94	5,1	268,93	0,4249	0	8,07
v	95,84	67,84	61,61	57,09	8,09	0	8,09



Obr. 42. Ohybová závislost vzorků vyztužených psí srstí, vyrobených ručním laminováním s následným vakuováním

Tab. 15. Porovnání výsledků tahové zkoušky s hodnotami z technického listu

Vzorky	E [MPa]	$\sigma_M$ [MPa]	$\epsilon$ [%]	$W_M$ [Nmm]
Kompozit vyztužený ovčí vlnou, ručně laminovaný s následným vakuováním	1600	16,7	2,0	897,9
Kompozit vyztužený ovčí vlnou, vyrobený odléváním do silikonové formy	2120	21,4	1,1	293,7
Honoty čisté pryskyřice z T.L.	3300-3500	70-80	5,0-6,5	-

Tab. 16. Porovnání výsledků ohybové zkoušky s hodnotami z technického listu

Vzorky	E [MPa]	$\sigma_{Mf}$ [MPa]	$\epsilon$ [%]	$W_{Mf}$ [Nmm]
Kompozit vyztužený ovčí vlnou, vyrobený ručním laminováním s následným vakuováním	2010	42,8	3,5	1173,3
Kompozit vyztužený ovčí vlnou, vyrobený odléváním do silikonové formy	1180	32,7	2,9	318,33
Kompozit vyztužený vlákny psí srsti, vyrobený ručním laminováním s následným vakuováním	519	13,2	8,3	471,08
Údaje čisté pryskyřice z T.L.	3300-3500	120-140	5,0-6,5	-

V tabulkách 15. a 16. byly srovnány naměřené hodnoty ovčího kompozitu a srovnávací desky vyztužené vlákny psí srsti s hodnotami čisté pryskyřice uvedenými v technickém listu pryskyřice L 285 MSG. Naměřené hodnoty maximální pevnosti, modulu pružnosti, prodloužení u tahové zkoušky, deformace u ohybu a práce spotřebovaná při maximálním napětí. V tahové zkoušce vyšel lépe průměr modulu pružnosti vzorků vyrobených odléváním v silikonové formě, zatímco u ohybové zkoušky vyšel lépe průměr modulu pružnosti u vzorků vyrobených ručním laminováním s následným vakuováním. V případě porovnávací kompozitní desky vyztužené vlákny ze psí srsti nedošlo k dobrému prosycení v celém objemu vyrobené desky. Pro dobré prosycení by bylo potřeba větší množství pryskyřice a lepší postup při sycení. Vrstvy vláken psí srsti by musely být pravděpodobně vrstveny po tenčích vrstvách, což je ale při ručním kladení vláken o délce 20 milimetrů problematické. Zároveň u porovnávací desky nedošlo k dobré plastikaci pryskyřice. Naměřené hodnoty porovnávací desky z těchto důvodů vyšly výrazně nižší. Ke zvýšení hodnot mechanických vlastností kompozitu vyrobeného odléváním by přispělo, kdyby ve vyrobeném kompozitu bylo co možná nejméně bublin. Ke zlepšení vlastností kompozitu vyráběného metodou ručního laminování s následným vakuováním by také mohlo přispět rovnoměrnější prosycování vrstev výztuže, aby v celém průřezu byl

konstantní poměr matrice a výztuže, dále zvýšením podílu výztuže. Toho by šlo dosáhnout použitím jiné technologie, například vakuovou infuzí, případně lisováním, vhodná by mohla být také metoda RTM na kterou by ovšem bylo potřeba zpracovat výztuž do patřičného tvaru, pro vložení suché výztuže do formy.

## ZÁVĚR

Kompozitní materiály patří k nejmodernějším konstrukčním materiálům, v posledních desetiletích se jejich užití neustále rozvíjí, ať už jde o letadla nebo pozemní vozidla. Užití přírodních vláken při jejich výrobě pomáhá při snižování ceny materiálu potřebného pro výrobu těchto materiálů. Zároveň použití kompozitních materiálů umožňuje výrobu tvarově složitých dílů. Jejich použití v žádném případě nebude univerzální ve všech aplikacích jak z důvodu omezené chemické a tepelné odolnosti, tak i samotných mechanických vlastnostech. Výsledky měření mechanických vlastností kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vyrobeného technologií ručního laminování s následným vakuováním je metoda, při které došlo ke snížení pevnosti kompozitu, stejně tak metoda odlévání do silikonové formy. Výsledky měření mechanických vlastností při zkoušce tahem a ohybem jsou v tabulkách 15 a 16 srovnány s hodnotami uvedenými v materiálovém listu. Použití vláken z ovčí vlny pro výrobu kompozitních materiálů, je oblast, ve které je stále prostor, jednak pro zkoumání vhodné výrobní technologie samotného kompozitu, tak i technologie přípravy vláken. Použití ovčí vlny jako výztuže se nabízí především díky velmi nízké výkupní ceně ostříhané ovčí vlny, která se pohybuje mezi 4-15 korunami za kilogram. Kvůli nízkým výkupním cenám vlny a dovozu z jiných částí světa, dochází v Evropě k nahrazování původně chovaných druhů ovcí s kombinovanou užitkovostí maso - vlna - mléko na plemena masná. Tato plemena mají menší množství vlny, která také pomaleji dorůstá. Zisk z chovu těchto plemen plyne především z prodeje živých zvířat a masa, které v případě jehněčího (do roku života ovce), může v našich podmínkách stát od 150 – 300 korun za kilogram.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] EHRENSTEIN, W. G. *Polymerní kompozitní materiály*. 1. vydání. Praha: Scientia, 2009. 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [2] Technologie výroby kompozitů. *Http://www.havel-composites.com* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>
- [3] Kompozity: Vlákna. *Http://mujweb.cz/zkorinek/* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://mujweb.cz/zkorinek/vlakna.pdf>
- [4] *Porovnání dvou přístupů k určení celkové odezvy kompozitů s viskoelastickou maticí* [online]. Praha, 2011 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: [http://mech.fsv.cvut.cz/~zemanj/teaching/12\\_stradal.pdf](http://mech.fsv.cvut.cz/~zemanj/teaching/12_stradal.pdf)
- [5] *Použití kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu* [online]. Brno, 2011 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=52257](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52257)
- [6] Plastové autodilny s přísadou vlny, kokosu i lnu. *Http://www.tvrtm.cz* [online]. 2012 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.tvrtm.cz/plastove-autodilny-s-prisadou-vlny-kokosu-i-lnu-clanek-10352.html>
- [7] Kompozity s bioplňivy – úspěšné řešení z České republiky. *TACR* [online]. 2014 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <https://www.tacr.cz/index.php/cz/zajimave-projekty/384-kompozity-s-bioplňivy-uspesne-reseni-cr.html#!prettyPhoto>
- [8] Sheep Breeds And Their Characteristics. *World of wool* [online]. 2008 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: [http://www.worldofwool.co.uk/download.php?f=wow-sheep\\_breeds\\_and\\_their\\_characteristics-2008opt.pdf](http://www.worldofwool.co.uk/download.php?f=wow-sheep_breeds_and_their_characteristics-2008opt.pdf)
- [9] Ovčí vlna: Muflon, praotec ovčí vlny. *Oko.yin* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.oko.yin.cz/15/ovci-vlna/>
- [10] Ovčí vlna jako izolace: Jak na to? *Nazeleno* [online]. 2010 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/stavba/izolace-2/ovci-vlna-jako-izolace-jak-na-to.aspx>
- [11] Izolace z ovčí vlny. *Naturwool* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.naturwool.cz/izolace-z-ovci-vlny/> [12] <http://stihani-ovci.webnode.cz/o-vlne/>
- [13] Ovčí vlna jako izolace: Zelený výmysl, nebo užitečné řešení? *Nazeleno* [online]. 2010 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/ovci-vlna-jako-izolace-zeleny-vymysl-nebo-uzitecne-reseni.aspx>

- [14] KÜHNEMANN, Helmut. *Chováme ovce*. 1. Víkend, 2013. ISBN 978-80-7433-071-1.
- [15] Valáška (V). *Schok* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.schok.cz/plemena-ovci/valaska-v>
- [16] *Odolnost kompozitů proti průstřelu* [online]. Zlín, 2015 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/13785719-Odolnost-kompozitu-proti-prustrelu-bc-jiri-nemecek.html>
- [17] *Vliv úhlu křížení vrstev na výsledné vlastnosti kompozitních materiálů* [online]. Liberec, 2013 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.kht.tul.cz/items/A-DP/dp2013/Jirk%C5%AF.pdf>
- [18] Ovce, ovečky. In: *Rozpad.cz* [online]. 2014 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.rozpad.cz/forum/viewtopic.php?f=47&t=3581>
- [19] *Stavební materiály na bázi obnovitelných zdrojů surovin* [online]. 2007, **07**(11-12) [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: [http://www.casopisstavebnictvi.cz/stavebni-materialy-na-bazi-obnovitelnych-zdroju-surovin\\_A498\\_I11-12\\_07](http://www.casopisstavebnictvi.cz/stavebni-materialy-na-bazi-obnovitelnych-zdroju-surovin_A498_I11-12_07)
- [20] Naturwool-izolace z ovčí vlny. In: *Google+* [online]. 2014 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: [https://plus.google.com/+NaturwoolCz\\_izolace-z-ovci-vlny/posts/hdXuCMyXA9J](https://plus.google.com/+NaturwoolCz_izolace-z-ovci-vlny/posts/hdXuCMyXA9J)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$n$	[-]	Počet vzorků
$E$	[MPa]	Modul pružnosti v tahu (Youngův modul)
$\sigma_M$	[MPa]	Pevnost v tahu
$\sigma_{Mf}$	[MPa]	Pevnost v ohybu
$\varepsilon$	[%]	Poměrné prodloužení
$W_M$	[Nmm]	Práce potřebná k maximálnímu prodloužení vzorku
$W_{Mf}$	[Nmm]	Práce potřebná k maximálnímu průhybu vzorku
$W_f$	[%]	Hmotnostní podíl výztuže
$a$	[mm]	Tloušťka vzorku
$b$	[mm]	Šířka vzorku
$s_0$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha průřezu vzorku
$\bar{x}$	[-]	Aritmetický průměr
$s$	[-]	Směrodatná odchylka
$v$	[-]	Variační koeficient



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Dělení vláknové výztuže [16]</i> .....	14
<i>Obr. 2. Dělení částicové výztuže [1]</i> .....	15
<i>Obr. 3. Druhy vazeb vyztužujících tkanin [1]</i> .....	17
<i>Obr. 4. Synergický efekt [17]</i> .....	17
<i>Obr. 5. Ruční kladení [2]</i> .....	23
<i>Obr. 6. Lisování pomocí vakua[2]</i> .....	24
<i>Obr. 7. Vakuové prosycování [2]</i> .....	26
<i>Obr. 8. RTM technologie [2]</i> .....	28
<i>Obr. 9 Vakuo-injektážní technologie [2]</i> .....	29
<i>Obr. 10 Schéma pultuže (tažení) [2]</i> .....	30
<i>Obr. 11. Ovce merino [18]</i> .....	31
<i>Obr. 12. Izolace roštových stěn [19]</i> .....	37
<i>Obr. 13. Izolace podkroví [20]</i> .....	38
<i>Obr. 14. Izolační pásy firmy Naturwool s.r.o.[11]</i> .....	39
<i>Obr. 15. Silikonová forma pro výrobu zkušebních vzorků</i> .....	44
<i>Obr. 16. Silikonová forma s dutinami naplněnými pryskyřicí</i> .....	45
<i>Obr. 17. Detail dutin formy s pryskyřicí a výztuží z ovčí vlny</i> .....	45
<i>Obr. 18. Zaplněná forma pod fólií</i> .....	46
<i>Obr. 19. Hotové zkušební vzorky</i> .....	46
<i>Obr. 20. Dvoustupňová vývěva pro odsátí vzduchu</i> .....	48
<i>Obr. 21. Zásobník pryskyřice</i> .....	49
<i>Obr. 22. Prosycená ovčí vlna při výrobě kompozitní desky</i> .....	50
<i>Obr. 23. Prosycená ovčí vlna pod vakuovací fólií po odsátí vzduchu</i> .....	50
<i>Obr. 24. Kontrolní měření teploty při vytvrzování</i> .....	51
<i>Obr. 25. Lícová strana desky z ovčí vlny</i> .....	51
<i>Obr. 26. Rozřezaná deska na vzorky</i> .....	52
<i>Obr. 27. Rubová strana desky z ovčí vlny</i> .....	52
<i>Obr. 28. Detail vzorků nařezaných z desky</i> .....	53
<i>Obr. 29. Prosycená vlákna psí srsti pro výrobu porovnávací desky</i> .....	53
<i>Obr. 30. Prosycená vlákna psí srsti po odsátí vzduchu</i> .....	54
<i>Obr. 31. Lícová strana porovnávací desky vyztužená vlákny psí srsti</i> .....	54

---

<i>Obr. 32. Rubová strana porovnávací desky vyztužená vlákny psí srsti .....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 33. Porovnávací deska rozřezaná na vzorky .....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 34. Zkušební stroj Zwick 1456.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 35. Zkušební vzorek vyztužený vlákny psí srsti při zkoušce ohybem .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 36. Zkušební vzorek vyztužený ovčí vlnou při zkoušce ohybem .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 37. Zkušební vzorek vyztužený ovčí vlnou při zkoušce tahem.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 38. Tahová závislost kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vyrobeného ručním laminováním s následným vakuováním .....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 39. Tahová závislost kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vzorků vyrobených odléváním do silikonové formy .....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 40. Ohybová závislost kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vzorků vyrobených ručním laminováním s následným vakuováním.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 41. Ohybová závislost kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vzorků vyrobených odléváním do silikonové formy .....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 42. Ohybová závislost vzorků vyztužených psí srstí, vyrobených ručním laminováním s následným vakuováním .....</i>	<i>66</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Srovnání proteinových vláken a polymerních vláken .....</i>	19
<i>Tab. 2. Vlastnosti rostlinných vláken .....</i>	20
<i>Tab. 3. Vlastnosti PP kompozitu s přírodními vlákny.....</i>	21
<i>Tab. 4. Vlastnosti PEHD kompozitu s přírodními vlákny.....</i>	21
<i>Tab. 5. Výsledky měření pevnosti kompozitu z ovčích vláken, vyrobených metodou ručního laminování s následným vakuováním .....</i>	59
<i>Tab. 6. Statistika měření pevnosti kompozitu z ovčích vláken, vyrobených metodou ručního laminování s následným vakuováním .....</i>	59
<i>Tab. 7. Výsledky měření pevnosti kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vyrobeného odléváním do silikonové formy .....</i>	60
<i>Tab. 8. Statistika měření pevnosti kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vyrobeného odléváním do silikonové formy .....</i>	61
<i>Tab. 9. Výsledky měření pevnosti kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vzorků vyrobených ručním laminováním s následným vakuováním.....</i>	62
<i>Tab. 10. Statistika měření pevnosti kompozitu vyztuženého ovčí vlnou, vzorků vyrobených ručním laminováním s následným vakuováním.....</i>	62
<i>Tab. 11. Výsledky měření pevnosti vzorků vyrobených odléváním do silikonové formy.....</i>	63
<i>Tab. 12. Statistika měření pevnosti vzorků vyrobených odléváním do silikonové formy.....</i>	64
<i>Tab. 13. Výsledky měření pevnosti kompozitu vyztužených vlákeny psí srsti, vzorků vyrobených ručním laminováním s následným vakuováním .....</i>	65
<i>Tab. 14. Statistika měření pevnosti kompozitu vyztužených vlákeny psí srsti, vzorků vyrobených ručním laminováním s následným vakuováním .....</i>	65
<i>Tab. 15. Porovnání výsledků tahové zkoušky s hodnotami z technického listu .....</i>	66
<i>Tab. 16. Porovnání výsledků ohybové zkoušky s hodnotami z technického listu.....</i>	67