

# Využití kompozitních materiálů ve sportovním odvětví

Bc. Ondřej Šafařík

---

Diplomová práce  
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Šafařík**  
Osobní číslo: **T16624**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Využití kompozitních materiálů ve sportovním odvětví**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše na zadané téma
2. Návrh kompozitní součásti pro sportovní odvětví
3. Výroba navržené součásti
4. Závěr a zhodnocení

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího diplomové práce**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Lukáš Mañas**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**2. ledna 2018**

Termín odevzdání diplomové práce:


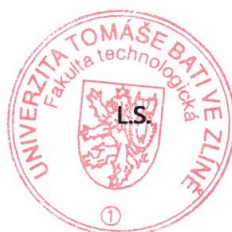
**18. května 2018**

Ve Zlíně dne 2. května 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

*děkan*



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

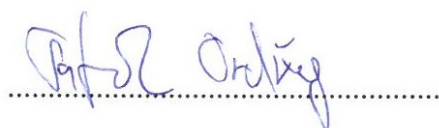
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 10.5.2018



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se v teoretické části zabývá zpracováním kompozitních materiálů za pomoci moderních technologií, rozděluje používané suroviny dle zásadních kritérií do několika skupin a poté detailně řeší problematiku uplatnění kompozitních materiálů ve sportovním odvětví spolu s vysvětlením základních pojmů a popsáním lezeckých cepínů používaných pro lezení jak turistické, tak sportovní. V praktické části je proveden návrh technického lezeckého cepínu, je proveden návrh jednotlivých komponent a je zhotoven prototyp navrženého cepínu. V poslední části se práce zabývá vyhodnocením dosažených výsledků a následným návrhem vylepšení jak cepínu, tak technologických postupů použitých při výrobě cepínu.

Klíčová slova: Matrice, výztuž, kompozitní materiál, skelné vlákno, cepín, drytooling

## **ABSTRACT**

This master thesis discusses theoretical part of the processing of composite materials using modern technologies, divides the used raw materials according to the basic criteria into several groups and subsequently deals in detail the problematice of application of composite materials in the sport sector, together with explanation of basic terms and description of climbing axes used for turist and sports climbing. In the practical part of this master thesis is designed a technical climbing axe, the design of individual components and the real prototype is produced. In the last part the thesis deals with the evaluation of the results achieved and the subsequent proposal for improvement of both the design itself and the technological processes by which the ice axe was made.

Keywords: Matrix, reinforcement, composite material, glass fibre, ice axe, drytooling

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi byli při mém studiu oporou jak duševní, tak i fyzickou. Velké poděkování patří mým rodičům, prarodičům, kmotřence s rodinou a přátelům.

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Lukáši Maňasovi, dále kolegům ze společnosti 5M s.r.o., panu Ing. Petru Bakošovi, který mi umožnil absence v zaměstnání a panu Ing. Martinu Ederovi, jenž mi poskytl zázemí pro výrobu vzorků ve firemních prostorách.

Zvláštní a největší dík patří panu Jiřímu Zígalovi, který mě před několika lety přivedl na myšlenku věnovat se kompozitním materiálům a který měl velké množství podmětných nápadů, které byly přínosem při výrobě. Děkuju, Juro!

Za realizaci patří poděkování také Ing. Petru Šafaříkovi, jehož náměty na zlepšení pomohly vyřešit nejednu komplikaci při výrobě.

Speciální poděkování patří mé přítelkyni Zuzaně Vývodové, která je mi oporou nejen při studiu, ale v životě celkově, často aniž by si toho byla vědoma.

Tato práce a projekt je realizován s finanční podporou interního grantu UTB ve Zlíně IGA/FT/2018/004 financovaného ze zdrojů specifického univerzitního výzkumu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/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 ZPRACOVATELSKÉ TECHNOLOGIE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ .....</b>	<b>12</b>
1.1 RUČNÍ LAMINOVÁNÍ .....	12
1.2 VAKUOVÁ INFUZE .....	13
1.3 KLADENÍ PŘEDIMPREGNOVANÝCH MATERIÁLŮ S NÁSLEDNÝM VYTVRZENÍM V AUTOKLÁVU.....	15
1.4 TECHNOLOGIE RTM („RESIN TRANSFER MOLDING“).....	16
1.5 STRÍKÁNÍ.....	17
1.6 PULTRUZE .....	18
1.7 NAVÍJENÍ.....	19
<b>2 VYZTUŽUJÍCÍ SYSTÉMY A PRYSKYŘICE PRO ZPRACOVÁNÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ .....</b>	<b>21</b>
2.1 VYZTUŽUJÍCÍ SYSTÉMY .....	21
2.1.1 Skelná vlákna .....	22
2.1.2 Aramidová vlákna .....	24
2.1.3 Uhlíková vlákna .....	25
2.1.4 Přírodní vlákna .....	27
<b>3 MATRICE.....</b>	<b>29</b>
3.1 POLYMERNÍ MATRICE .....	29
3.1.1 Polyesterové pryskyřice .....	29
3.1.2 Epoxidové pryskyřice.....	30
3.1.3 Polyuretanové pryskyřice.....	31
3.1.4 Fenolické pryskyřice .....	31
3.1.5 Termoplastické pryskyřice .....	32
<b>4 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY V OBLASTI SPORTOVNÍHO PRŮMYSLU .....</b>	<b>33</b>
4.1 OBLASTI VYUŽITÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ VE SPORTOVNÍM ODVĚTVÍ.....	33
4.1.1 Motorsport.....	33
4.1.2 Cyklistika .....	34
4.1.3 Vodní sporty.....	34
4.1.4 Outdoorové sporty.....	35
<b>5 HOROLEZECKÝ CEPÍN.....</b>	<b>36</b>
5.1 TURISTICKÝ CEPÍN.....	36
5.2 CEPÍNY PRO ZÁVODNÍ LEDOLEZENÍ A DRYTOOLING.....	36
5.3 TESTOVÁNÍ LEZECKÝCH CEPÍNŮ DLE ČSN EN 13089+A1 .....	37
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>39</b>
<b>6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>40</b>
<b>7 NÁVRH LEZECKÉHO CEPÍNU .....</b>	<b>41</b>
7.1 NÁVRH ERGONOMIE CEPÍNU .....	42
7.1.1 Výroba prototypu .....	42

7.1.2	Testování prototypů .....	44
7.1.3	Zhodnocení prototypů .....	45
7.2	NÁVRH DESIGNU CEPÍNU .....	46
7.2.1	Návrh lepeného spoje .....	46
7.2.2	Návrh ostatních komponent .....	49
7.3	VÝROBA JÁDRA .....	49
7.3.1	Volba technologie výroby jádra .....	49
7.3.2	Separace formy .....	49
7.3.3	Příprava jednotlivých vrstev .....	51
7.3.4	Laminace .....	51
7.3.5	Vakuování .....	52
7.3.6	Vytvrzovací cyklus .....	53
7.3.7	Vypálení tvaru .....	54
7.3.8	Lepení příložek .....	54
7.3.9	Opracování pěny .....	56
7.3.10	Lepení jádra .....	57
7.3.11	Dobroušení úchopové části .....	58
7.3.12	Laminování potahu .....	58
<b>8</b>	<b>ZKOUŠKA MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ CEPÍNU .....</b>	<b>59</b>
8.1	MĚŘENÍ OBSAHU VÝZTUŽE .....	59
8.2	ZKOUŠKA TAHEM .....	60
8.2.1	Podstata zkoušky .....	60
8.2.2	Příprava zkušebních těles .....	60
8.2.3	Příložky .....	60
8.2.4	Nařezání desky a příložek pro lepení .....	61
8.2.5	Lepení příložek .....	61
8.2.6	Řezání a popis zkušebních vzorků dle výkresu .....	63
8.2.7	Postup měření .....	64
8.2.8	Vyhodnocení tahové zkoušky .....	65
<b>9</b>	<b>TESTOVÁNÍ VYROBENÉHO CEPÍNU .....</b>	<b>67</b>
<b>10</b>	<b>ÚVAHA .....</b>	<b>69</b>
10.1	POUŽITÍ JINÝCH MATERIÁLŮ .....	69
10.2	ZÁKLADNÍ DESKA .....	69
10.3	PĚNA .....	69
10.4	PŘÍLOŽKY .....	70
10.5	ZMĚNA DESIGNU CEPÍNU .....	71
10.6	CENOVÁ BILANCE VÝROBY PROTOTYPU CEPÍNU .....	73
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>82</b>

## ÚVOD

Tato diplomová práce je věnována trendu moderní doby, a to využití kompozitních materiálů ve sportovním odvětví. Jelikož jsou tyto progresivní technologie dostupnější než kdy dříve, má tato práce za úkol v teoretické části seznámit čtenáře se základním rozčleněním jednotlivých materiálů, způsoby jejich zpracování nejmodernějšími technologiemi a je věnována konkrétnějším příkladům ze sportovního světa. V úplném závěru teoretické části je čtenář seznámen s problematikou lezeckých cepínů, jednotlivých komponent, ze kterých se cepíny skládají a poukazuje na pečlivou metodiku jejich zkoušení dle normy ČSN EN 13089+A1.

Praktická část diplomové práce je věnována zejména návrhu cepínu. Jsou zde představeny jednotlivé ergonomické prototypy sloužící pro dostatečně silné a bezpečné uchycení při lezení po ledové skále. Jednotlivé navržené prototypy uchycení jsou vyhodnoceny a navzájem porovnány. Z porovnání pak plyne návrh funkčního prototypu cepínu, vycházejícího z praktických zkušeností s tímto sportovním nástrojem a také z výsledků provedených mechanických a technologických testování. V předposlední části budou testovány mechanické vlastnosti jednotlivých materiálůvých vzorků, které budou připraveny při výrobě, a bude provedeno jejich porovnání a vyhodnocení, které bude využito při návrhu zkoušeného prototypu i finálního modelu cepínu.

Závěr je věnován vyhodnocení celého projektu a porovnání výhod či nevýhod jednotlivých úkonů a je také provedena cenová kalkulace seznamující čtenáře s finanční náročností celého projektu.

## I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1 ZPRACOVATELSKÉ TECHNOLOGIE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Proces výroby kompozitní součásti obnáší několik kroků od zpracování vláken, přípravy pryskyřičných hmot, prosycení jednotlivých vláken, tvarování polotovaru za následného vytvrzení do výsledného tvaru a dodatečným případným obráběním finálního výrobku.

S ohledem na rozmanitost jednotlivých postupů je možno tyto technologie rozdělit na:

- manuální,
- částečně automatizované
- zcela automatizované,
- kontinuální
- speciální. [2]

### 1.1 Ruční laminování

Mezi základní technologie sloužící k ručnímu zpracování kompozitních materiálů je ruční laminování. Ukládání výztuže ručním kladením do otevřené formy je možno vyrábět součásti, které jsou tvarově složité, případně mají velké rozměry. Jako výztuž je možné použít buď tkaniny, případně rohože. Viskozita pryskyřice určené pro tuto aplikaci nesmí být příliš velká, aby bylo možné dobře smáčet a prosycovat výztuž. Pryskyřici je možno nanášet za pomoci válečku, případně štětce. Speciálními pomůckami vhodnými pro tuto aplikaci mohou být tzv. laminovací válečky, které se skládají z disků, mezi kterými může při nanášení pryskyřice odcházet vzduch z jednotlivých vrstev. Nevýhodou této technologie je fakt, že dochází k velkému odpařování reakčních činidel, zejména u použití polyesterových a vynilesterových pryskyřic, která jsou zdraví škodlivá. Proto je nutno do těchto pryskyřic přimíchávat parafíny, které brání na povrchu odpařování rozpouštědel a snižují tak emisi, zejména styrenu. Vyráběné produkty je možno vytvrzovat při pokojové teplotě, nebo je možné je vytvrzovat v peci. [1]

Tuto technologii je možno modifikovat, a to několika způsoby. Nejčastěji použitím vývěvy, která odsaje vzduch, který zůstal uzavřen mezi jednotlivými vrstvami a je tak možno rapidně zlepšit např. mechanické vlastnosti. [6]

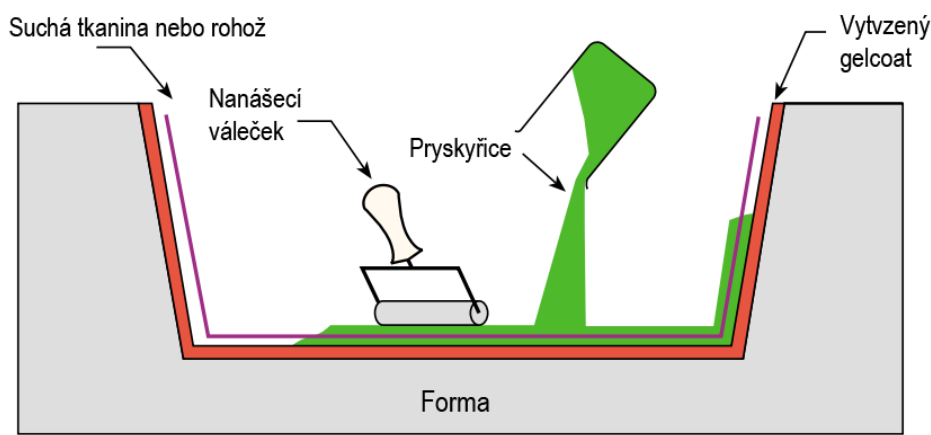
#### Výhody:

- jednoduchá technologie,
- nízké náklady na výrobu,

- možnost výroby tvarově složitých součástí. [5]

#### Nevýhody:

- pohledová plocha produktu je pouze na jedné straně,
- je potřeba mít kvalifikované pracovníky,
- při nesprávném technologickém postupu mohou v produktu zůstat vzduchové bubliny vytvářející poté defekty ve struktuře. [2]



Obr. 1 Schéma ruční laminace [1]

## 1.2 Vakuová infuze

Technologie vakuové infuze je technologií spadající do kategorie poloautomatického zpracování kompozitních materiálů. Tato technologie využívá principu podtlaku, který slouží k vedení pryskyřice mezi jednotlivými suchými vrstvami a vrstvy tak prosycuje. Vrstvy výztuže jsou zároveň působením vakua lisovány a je zaručena rovnoměrná tloušťka laminátu a objem pojiva v celém průřezu. [2]

Samotná výztuž je na začátku procesu nasucho poležena do formy, ve které je proti pohybu zajištěna speciálním sprejem, který zamezuje pohybu jednotlivých vrstev vůči sobě, případně je přilepena páskou na okrajích, které budou po vyrobení produktu ořezány. Na výztuž jsou následně položeny technologické vrstvy pomocných materiálů. Jedná se o strhávací tkaninu, rozvodnou mřížku a odsávací tkaninu. Na rozvodné mřížce bývá umístěna soustava rozvodných kanálů, které zajišťují rovnoměrnou distribuci pryskyřice v celé ploše dílu. Celý výrobek je nutno před začátkem prosycení vzduchotěsně uzavřít a ověřit těsnost celého systému, za pomoci ultrazvukového detektoru netěsností. Ultrazvukový detektor netěsností funguje na principu snímání ultrazvuku, který je vytvářen prouděním plynu

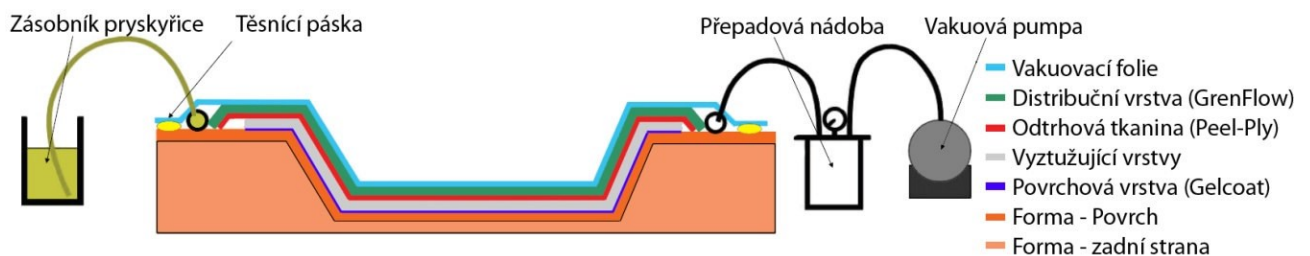
malým otvorem rychlostí větším než  $10^{-5} \text{ ml} \cdot \text{s}^{-1}$ . Při této rychlosti je obecně chápáno, že plyn dosahuje charakteristiky viskózního proudění. Čím větší je tlakový rozdíl napříč rozhraní otvoru, tím větší je rychlost plynu pohybujícího se z vysokotlaké strany na stranu s tlakem nízkým. Když je rychlost zvyšována, frekvence vyzařovaného ultrazvuku je také zvyšována na frekvenci vyšší. Technologie vakuové infuze je nejnáročnější na zvládnutí správných technologických postupů, protože je potřeba zaručit vynikající utěsnění soustavy a je potřeba celý proces řádně přichystat před samotným prosycením. Tyto fakty vyžadují odborně proškolené pracovníky, kteří mají úkon vykonávat. [8]

### Výhody:

- vysoký obsah výztuže a rovnoměrné zastoupení obsahu pryskyřice v jednotlivých místech struktury, který je obtížně dosažitelný ručním laminováním,
- dokonalé prosycení výztuže bez bodových suchých míst,
- pokud je do sestavy zapojen uhlíkový filtr, nedochází k únikům emisí reaktivních rozpouštědel do ovzduší. [10]

### Nevýhody:

- náklady jsou zvyšovány pomocnými materiály,
- vysoké nároky na praktickou zkušenost pracovníka,
- náročná příprava a kontrola formy a materiálů před samotnou výrobou. [8]



Obr. 2 Schéma vakuové infuze [10]

### 1.3 Kladení předimpregnovaných materiálů s následným vytvrzením v autoklávu

Jedná se o technologii používanou jak pro sériovou, tak pro kusovou výrobu vysoce mechanicky namáhaných kompozitních dílů. Do otevřené formy opatřené vrstvou separátoru jsou dle zvolené skladby laminátu pokládány nařezané předimpregnované materiály – prepregy. Aby se zvětšila přilnavost těchto materiálů, je možno je nahřívat horkým vzduchem nebo využít speciální spreje určené pro zakládání a práci s předimpregnovanými materiály. Po uložení potřebného počtu vrstev jsou uloženy také další technologické vrstvy. Jedná se konkrétně o separační perforovanou folii, odtrhovou tkaninu, odsávací rohož a vakuová fólie. Materiály jsou na navrstvený materiál uloženy ve jmenovaném pořadí. Hermetičnost prostoru zajišťuje vakuová folie nebo pro opakované použití elastomerní vak vyrobený většinou ze silikonového kaučuku. Po odsátí vzduchu z pracovního prostoru jsou k sobě jednotlivé vrstvy slisovány. V tlakové peci (tzv. autoklávu) dojde k vytvoření přetlaku, tím pádem jsou k sobě jednotlivé vrstvy přitlačovány přetlakem v kombinaci s podtlakem, který je uvnitř zavakuované součásti. Současně jsou vrstvy vytvrzovány za působení teploty. Přetlakem v autoklávu se k sobě vrstvy tkaniny přitlačí ještě více a je tak zaručen minimální obsah pryskyřice ve výrobku. Doba působení teploty a tlaku v autoklávu se volí podle rychlosti vytvrzování pryskyřice. Chladnutí dílu musí být pomalé, aby mohla být dostatečně relaxována vnitřní pnutí v kompozitu, která vzniknou různou tepelnou roztažností složek i jejich různou směrovou orientací. Tato technologie se dá dále plně automatizovat. O nanášení prepregů se stará kladecká hlava, přičemž celý proces je řízen s pomocí počítače. Výhodou této modifikace je přesné zaručení směrové orientace vláken a jejich přesného uložení. Nevýhodou jsou velké pořizovací náklady výrobních zařízení a složité odladění výrobního procesu. [4]

#### Výhody:

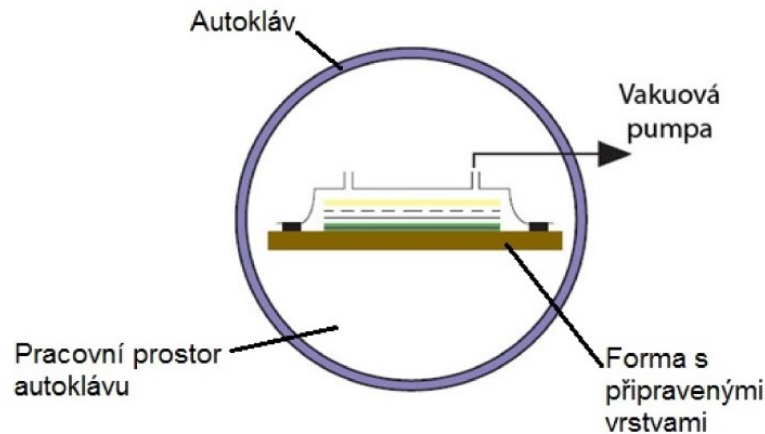
- lze dosáhnout vysokého obsahu výztuže,
- obsah pryskyřice lze přesně stanovit – jsou stanoveny výrobcem materiálu,
- potenciál pro automatizaci,
- je zaručen přesný směr vláken. [6]

#### Nevýhody:

- vysoké náklady na materiály, jejich skladování a využívané přístroje,



- omezená velikost výrobku daná velikostí pracovního prostoru vytvrzovacího zařízení,
- veškeré použité materiály musí být schopny odolávat teplotě a tlaku působících při vytvrzování. [7]



Obr. 3 Schéma tváření v autoklávu [1]

#### 1.4 Technologie RTM („Resin Transfer Molding“)

Výroba za pomoci technologie RTM spadá do kategorie částečně automatizovaných technologií. Jedná se o injektážní technologii využívající k prosycení uložených materiálů vysokého tlaku. Tato metoda zpracování spojuje vlastnosti charakteristické pro lisování a vstřikování. Výrobky zhotovené touto technologií dosahují opakované přesnosti, vysoké kvality povrchu a nízkého obsahu vzduchových bublin. [3]

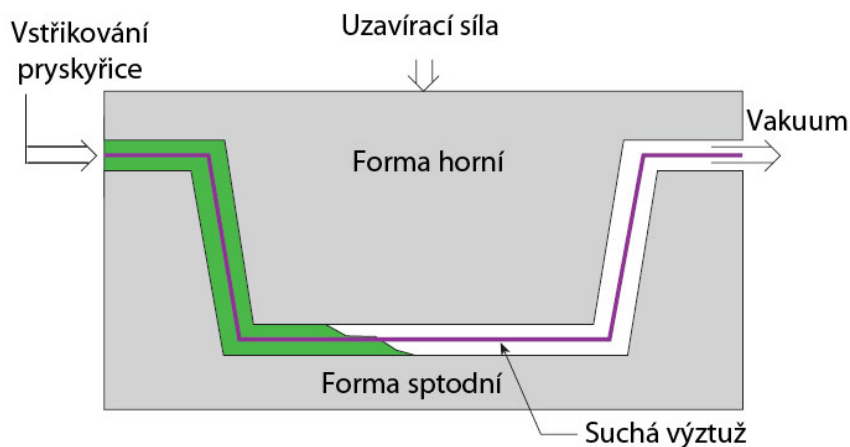
Do dvoudílné formy, je nejprve umístěna výztuž, která může být ve formě přířezů, anebo ve formátu celého tvaru dílu. Materiály výztuže mohou být různé, od skleněných, uhlíkových a aramidových vláken, případně tkanin či pěny, kterými je možno výrobky dále vyztužovat. Dalším typem výztuží, jež se používají, mohou být tkaniny nebo rohože, jež jsou již před tvarované – tzv. „preform“. Následně je forma uzavřena a je do ní vstřikována pryskyřice maximálním tlakem 5 barů. Následné využití vakua slouží k odsátí přebytečné pryskyřice a odstranění vzduchových bublin. Formy je možné temperovat, dosáhnout tak zvýšení viskozity pryskyřice a zkrátit tak pracovní cyklus. [1]

**Výhody:**

- relativně nízké náklady na samotnou výrobu výrobků,
- vysoká kvalita výrobků,
- nedochází k velkému uvolňování rozpouštědel do ovzduší v porovnání s ručními technologiemi. [3]

**Nevýhody:**

- nutnost forem s vysokou tuhostí,
- relativně dlouhý výrobní cyklus. [2]



Obr. 4 Schéma RTM [1]

**1.5 Stříkání**

Jedná se o částečně automatizovanou obdobu metody ručního kladení, při které je výztuž a pryskyřice nanášena pneumaticky. Stříkání je prováděno stříkácí pistolí, do které vstupuje pryskyřice, tvrdidlo a výztuž, která je během stříkání sekána na krátké filamenty. Poté jsou z vrstvy pomocí válečků vytlačeny vzduchové bubliny. Tato technologická metoda je často využívána k výrobě velkorozměrných součástí, a to primárně kvůli možnosti nanášení velkého množství materiálu na velkou plochu za krátký čas. [1]

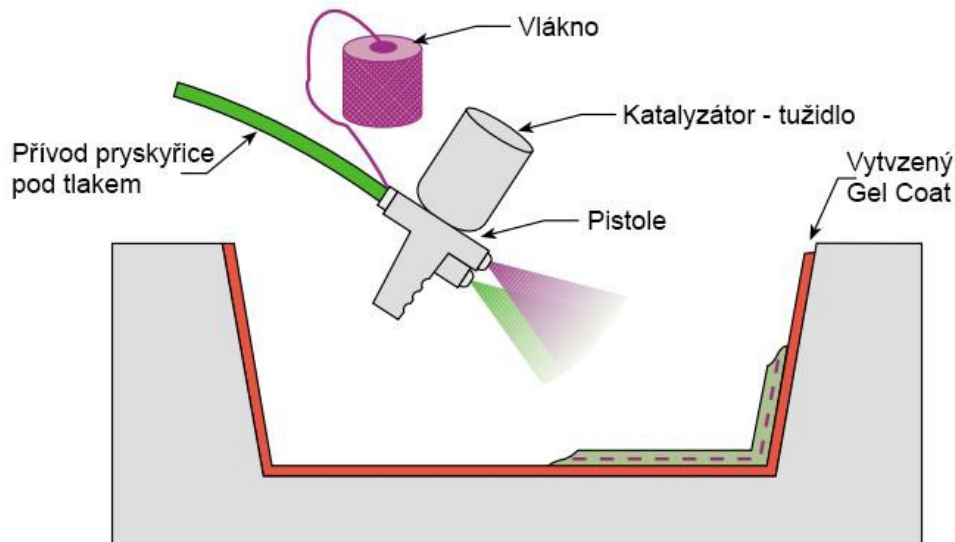
**Výhody:**

- rychlé a efektivní nanášení pryskyřice a vlákna. [2]

**Nevýhody:**

- vyšší hmotnost výrobku,

- mechanické vlastnosti produktu jsou limitovány krátkými vlákny výztuže,
- drahé nanášecí zařízení,
- je potřeba používat nízkoviskozní typy pryskyřic. [1]



Obr. 5 Schéma stříkání [12]

### 1.6 Pultruze

Pultruze je technologie využívající kontinuální proces pro výrobu profilů. Princip spočívá v tom, že výztuž (nejčastěji rovingy, rohože případně tkanina) je z úložných regálů tažena přes naváděcí desky do formy, ve které je prosycována pryskyřicí. První část formy slouží ke vstřikování pryskyřice a k prosycení výztuže, druhá část je chlazená vodou, aby vytvrzení pryskyřice proběhlo až ve třetí části formy, která je vyhřívána. Celý profil může být za formou kalibrován případně chlazen. Profil je tažen odtahovacími vozíky, které mohou být hydraulické či pneumatické k pile, která profily dělí na požadovaný rozměr. Potom je možno profil dotvrdit v mikrovlnném tunelu.

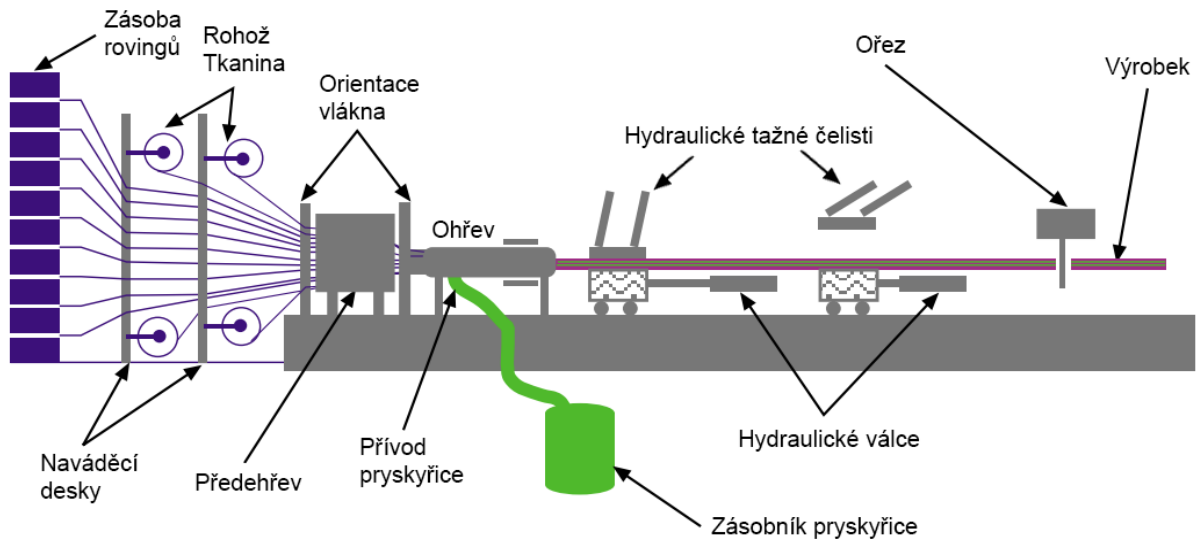
#### Výhody:

- technologie vhodná pro velkosériovou výrobu,
- výroba dutých profilů.

#### Nevýhody:

- není možná změna průřezu výrobku,

- je potřeba velký prostor pro umístění pultruzní linky.



Obr. 6 Schéma pultruze [10]

## 1.7 Navíjení

Technologií navíjení jsou vyráběny komponenty, které jsou symetrické k ose otáčení. Jedná se o technologii, která se je plně mechanizovaná a zaručuje vysokou přesnost a reprodukovatelnost procesu. Při této technologii je kombinován rotační pohyb trnu, s pohybem dopředným a zpětným, který vykonává suport, ze kterého je odvíjena výztuž procházející přes vanu s pryskyřicí. Jako výztuž je možné mimo rovingů použít i odvíjející se rohož. [8]

Trny je možné použít z jednoho kusu případně skládací. Pro snadnější vyjímání trnů bývají trny z pravidla zhotoveny s úkosem. Pro složitější výrobky, u kterých by bylo následné odstranění trnu problematické případně nemožné (např. uzavřené tlakové nádoby) se používají jádra tzv. ztracená z rozpustných solí, sádry, pěny případně nízkotavných kovových slitin. [4]

### Výhody:

- Vysoká produktivita,
- možnost definovat výsledné vlastnosti výrobku,
- možnost automatizace. [8]

**Nevýhody:**

- Vysoké pořizovací náklady,
- komplikované vyjímání jader. [7]

## 2 VYZTUŽUJÍCÍ SYSTÉMY A PRYSKYŘICE PRO ZPRACOVÁNÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

### 2.1 Vyztužující systémy

Mají dané vlastnosti, kterých chceme při výrobě využít a uplatnit je. Jedná se o nespojitou, pevnější, tvrdší a tužší fázi. Výztuž a její natočení v matrici ovlivňuje výrazným způsobem nejen mechanické vlastnosti výsledného kompozitu. Rozdělují se dle několika základních kritérií, a to podle velikosti, tvaru a materiálu, ze kterého je výztuž vyrobena. [1]

Materiály ve formě vláken se cíleně pro účel konstrukčních prvků používají zřídka – v této fázi by nedosahovaly požadovaných vlastností. Zajímavou skupinou materiálů se stávají teprve v kompaktní formě v kombinaci s druhou fází, jako je tomu v případě kompozitních materiálů. Kompozitní vlákna vyztužená plasty se skládají jednak z vláken s vysokou měrnou pevností, příp. tuhostí, jednak z rozmanitě přizpůsobivého úložného materiálu — matrice. [2]

**Výztuže je možno dělit na:**

- Částečné výztuže
- Vláknové výztuže

#### **Částečné výztuže**

Jedná se o frakce, které jsou nejčastěji minerálního původu, připravující se průmyslově mechanickým mletím na požadovaný tvar a velikost nebo jsou vyráběna pomocí chemických změn z přírodních materiálů. Použití vhodné technologie ovlivňuje tvar a velikost částice. Tvar částic může být krychlový, kulový, destičkový, tyčinkový nebo nepravidelný. Částečné výztuže mají vlastnosti nezávislé na směru. Zvýšení tuhosti a zlepšení tvarové stálosti se dosahuje použitím anorganických částic. Podmínkou při tvorbě částečných kompozitů je zachovat minimální rozdíl teplotní roztažnosti všech fází. [2]

## Vláknové výztuže

Vláknové výztuže jsou nejčastěji používány při výrobě kompozitních materiálů, primárně díky dobrým výsledným mechanickým vlastnostem, ve srovnání s částicovými výztužemi. Kompozity obsahující vláknové výztuže dosahují vysokých hodnot při srovnání charakteristik jako poměry modulu pružnosti k hustotě a pevnosti v tahu k hustotě. Vhodně orientovanou výztuží lze optimalizovat výsledné vlastnosti kompozitu jako například pevnost, tuhost, odolnost proti únavě, případně otěru. Vláknové výztuže jsou rozděleny dle poměru délky k průměru, a to na krátkovláknové, kde bývá poměr délky k průměru vlákna menší než sto, nebo dlouhovláknové, které dosahují poměru délky k průměru hodnot větších než sto. Obvykle je délka vláken rovna délce součásti. Nejpoužívanějšími vlákny jsou uhlíková, skleněná, aramidová. Nejmodernějším trendem je používání vláken přírodních. [1]

### Vlákna jsou dodávána v několika typech polotovarů:

- příze – spředené prameny vláken zpevněné pomocí zkrutů,
- rovingy (pramence) – jednosměrné prameny vláken, které jsou spojeny pomocí sizingu,
- rohož – nahodile orientovaná vlákna spojena pomocí vpichování, případně pomocí polymerního pojiva,
- jednosměrné tkaniny – spletené plátno s vlákny orientovanými v podélném směru, které jsou zafixovány pomocí příčných vláken,
- prostorové tkaniny – prostorově uspořádaná vlákna do tří směrů spojena pomocí polymerních pojiv rozpustných v pryskyřicích, případně vyrobená pletením jednotlivých tvarů,
- prepregy – pryskyřicí předimpregnované a částečně vytvrzené tkaniny, jednosměrné pásy, které se po vytvarování součásti vytvrdí díky působení tepla a tlaku. [1]

#### 2.1.1 Skelná vlákna

Skleněná vlákna (GF — Glass Fiber) je souhrnný název pro vlákna mající průměr 3,5 - 24  $\mu\text{m}$ , s pravidelným kruhovým průřezem, která jsou tažená z roztavené skloviny a používána pro textilní účely. [2]

Skleněná vlákna z bezalkalické skloviny jsou vynikajícím elektrickým izolantem s vysokou prostupností záření, proto jsou označována jako E-vlákna (elektrická), jejich sklovina jako E-sklovina. Je to nejčastěji používaný druh skloviny pro výrobu vláken, který postupně jako standardní typ zaujímá téměř 90 % trhu. [3]

Sklovina s vyšším obsahem  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  má o 40 až 70 % vyšší pevnost a je označována v USA názvem S-sklovina (S – strength), v Evropě R-sklovina (R – resistance) a v Japonsku T-sklovina. [1]

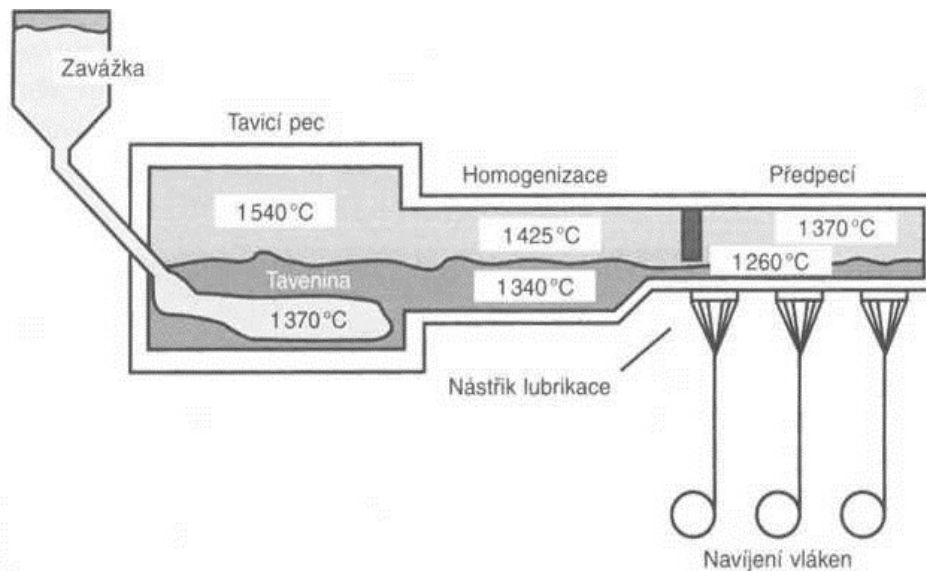
Dále je vyráběna tzv. C-sklovina s vysokou odolností proti kyselinám a proti chemicky agresivním látkám a pevná, vysoce chemicky odolná bezboritá, tzv. ECR-sklovina. Bezborité skloviny mají vyšší dielektrickou konstantu (7,0) než bor obsahující E-sklovina (5,9 až 6,6), a nejsou proto používány např. pro desky tištěných obvodů nebo v kosmonautice. [1]

Bezalkalická skleněná vlákna, označována názvem AR vlákna, s poněkud odlišným složením oproti E-vláknům, mají vysokou odolnost proti alkáliím a používají se primárně pro vyztužení betonu. [2]

Skleněná vlákna jsou vyráběna tažením z trysek (obr. 7). Ve sklářské peci, vyzděné žáruvzdornou keramikou, se při teplotě přibližně  $1\,400^\circ\text{C}$  roztaví křemičitý písek ( $\text{SiO}_2$ ), vápenec ( $\text{CaCO}_3$ ), kaolin ( $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ ), dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), kyselina boritá ( $\text{B}(\text{OH})_3$ ) a kazivec ( $\text{CaF}_2$ ) na E-sklovinu. Několik dní je směs čířena, následně je vedena v tekutém stavu kanálky do spřádacích trysek (tzv. bushings). Tyto trysky jsou vyrobeny z platinové slitiny a jsou zahřáty na takovou teplotu, aby z jejich 200 až 4000 trysek, umístěných na spodní straně před pecí sklovina pomalu vytékala a rychle tuhla do tvaru vláken. Vlákna jsou na výstupu z trysky přibližně 2 mm tlustá. Teprve dloužením vysoce viskózních vláken na velmi rychle rotujícím navíjecím zařízení jsou vlákna kalibrována na zvolený průměr, např. 10 nebo 14  $\mu\text{m}$ , a současně prodlužují až na 40 000násobnou délku.



Odtahová rychlost vláken je až  $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (přibližně  $180 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Sdružením těchto téměř neviditelných elementárních vláken vzniká ohebné spřádací vlákno. [1]



Obr. 7 Výroba skleněných vláken [1]

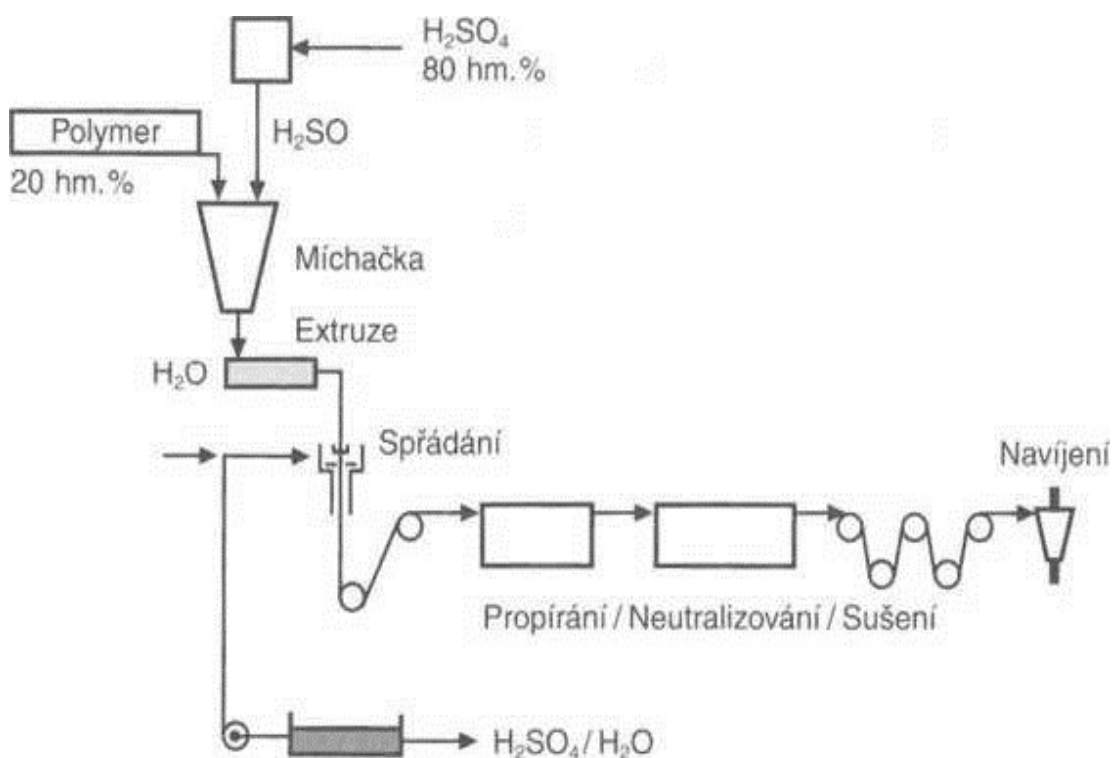
### 2.1.2 Aramidová vlákna

Aramidová vlákna (AF – Aramid Fiber) jsou vlákna na bázi lineárních organických polymerů, jejichž kovalentní vazby jsou orientovány podle osy vlákna, předností těchto vláken je vysoká pevnost a tuhost. Aramidová vlákna jsou nejčastěji obchodním názvem označována Kevlar. [1] Výroba aramidových vláken je realizována spřádáním roztoku s vysokou viskozitou 20 % roztoku v koncentrované kyselině sírové (obr. 8). Jednotlivá vlákna jsou spojována a pro vylepšení zpracovatelských vlastností jsou několikrát propírána, následně neutralizována, a propírána v aviváži. Aviváž je pomocný prostředek pro zlepšení kluzných a zpracovatelských vlastností. Předností aramidových vláken je vysoká pevnost a tuhost. Molekuly jsou vzájemně spojeny vazbami vodíkových můstků. Aromatická jádra v řetězcích jsou nositeli vysoké tuhosti. Odhadovaná teoretická pevnost je  $200000 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ . Jediná dosud komerčně dosažitelná vlákna blíží se svými vlastnostmi těmto hodnotám jsou vlákna na bázi aromatických polyamidů, která dosahují např. při průměru vlákna  $12 \mu\text{m}$  hodnot pevnosti v tahu  $3600 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$  a E-modulu  $125\,000 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ . [2]

Pravidelným uspořádáním fenolenových jader a amidových skupin s vazbami vodíkových můstků propůjčuje řetězcům vysokou tuhost a způsobuje současně vysokou hustotu struktury uspořádání. Orientace krystalických nadstruktur a z nich složených libní kolísá

podle modelových představ více nebo méně kolem osy vláken. To odůvodňuje rozdíl hodnot skutečného a teoretického E-modulu. [3]

Aramidová vlákna se mohou zpracovávat se všemi reaktivními pryskyřicemi i termoplasty. Jsou nejlehčí vyztužující vlákna s měrnou hmotností  $1,45\text{g}\cdot\text{cm}^3$ , z čehož plyne vysoká měrná pevnost v tahu. Aramidová vlákna ve formě kompozitu vzdorují teplotě až  $300\text{ }^\circ\text{C}$ , aniž by byla roztavena, proto jsou vhodná pro protipožární oděvy, např. ochranné obleky a neprůstřelné vesty, díky extrémně malé průtažnosti vláken. [13]



Obr. 8 Výroba aramidového vlákna [1]

### 2.1.3 Uhlíková vlákna

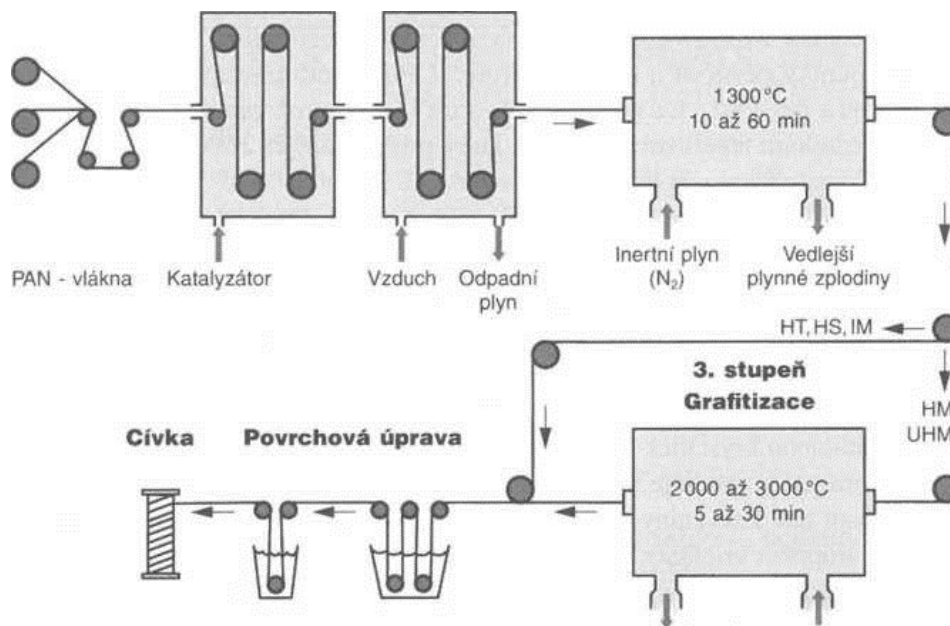
Uhlíková vlákna (CF – Carbon Fiber) jsou technická vlákna dosahující extrémně vysokých pevností a tuhostí, ale s velmi malou tažností. Proto jsou uhlíková vlákna, stejně jako ostatní uhlíkové materiály, vyráběny pomocí řízené pyrolýzy organických prekurzorů. Výchozí organické suroviny ve vláknitém tvaru jsou nejprve karbonizovány. Přitom jsou odštěpeny téměř všechny prvky až na uhlík. Se stoupající teplotou, a tím se zvyšující grafitizací jsou zlepšovány mechanické vlastnosti. Při teplotě nad  $1\ 800\text{ }^\circ\text{C}$  je tvorba grafitové struktury

ukončena, i když vzdálenost vrstev ve vláknech zůstává vždy větší než u vrstev v čistém grafitu. [2]

Výchozí surovinou pro výrobu uhlíkových vláken jsou tři materiály:

- celulóza – vyrobená vlákna však mají méně dokonalou strukturu, používají se převážně pro izolační materiály odolávající vysokým teplotám;
- polyakrylonitril (PAN) - vlákna z něj vyrobená jsou považována za standardní vlákna (obr. 9);
- smola, ze které jsou nákladným způsobem připravována vlákna, jejichž konečná cena je díky nízké ceně výchozí suroviny příznivá. Tato vlákna mají velmi vysokou hodnotu E-modulu a velice dobré tepelné a elektrické vlastnosti. Jejich pevnost v tlaku je ve srovnání se standardními vlákny podstatně nižší, protože vazby mezi jednotlivými grafitovými rovinami jsou řidší. Na trhu mají pouze malý podíl. Většina vláken s vysokým modulem pružnosti (HM) a vysokou pevností (HT) se používá pro speciální účely. [8]

Předpokladem pro vysokopevnostní a vysokomodulární vlákna je co nejtěsněji uložená kontinuální síť silných vazeb. Vzhledem k požadované nízké měrné hmotnosti materiálu je vhodné použít pro tyto účely prvky prvních dvou řad periodické soustavy, např. bor, uhlík, dusík, kyslík a křemík. Nejpevnější kovalentní vazby nemusí být přitom uspořádány trojrozměrně. U vláken s převážně jednosměrným přenosem sil postačují jedno nebo dvourozměrné molekulární struktury v ose vlákna. [2]



Obr. 9 Výroba uhlíkového vlákna z PAN-vláken [13]

Průmyslová výroba uhlíkových vláken využívá primárně dva výrobní postupy: technicky významnější je postup využívající polyakrylonitril v roli prekurzoru. Polyakrylonitril (PAN) je nejprve dloužen k dosažení co největší orientace molekul ve směru osy vlákna, poté jsou vlákna stabilizována zahříváním na teplotu 200 až 300 °C pod mechanickým napětím za přítomnosti vzduchu. Přitom se PAN dehydruje a současně přemění v důsledku cyklizace nitrilových skupin na žebříčkovitý polymer. Ve druhém stupni výroby se žebříčkovitá struktura polymeru přemění pyrolýzou (karbonizací) v inertní atmosféře při teplotách maximálně do 1 600 °C na grafitickou strukturu. Vlivem silně dlouženého výchozího polymeru a působícího tahového napětí dosáhnou uhlíkové vrstvy dobrého usměrnění rovnoběžně s osou vlákna. Takto vytvořená mikrostruktura způsobuje vysoké hodnoty pevnosti a E-modulu. Tímto postupem lze připravit vlákna s pevností více než 5000 N·mm<sup>-2</sup> (tzv. vysokopevnostní vlákna). Následujícím tepelným procesem, který probíhá až při 2500°C, mohou být vyrobena vlákna s hodnotami E-modulu až přes 400000 N·mm<sup>-2</sup> (tzv. vysokomodulární vlákna), mající však nižší pevnost. Pevnost a E-modul standardních uhlíkových vláken je asi 3500, příp. 230000 N·mm<sup>-2</sup>. [2]

#### 2.1.4 Přírodní vlákna

Moderní směr výroby kompozitních materiálů směřuje orientaci k recyklovatelnosti a obnovitelným zdrojům, proto jsou častěji využívána přírodní vlákna. Pro vyztužování kompozitních struktur jsou ze všech přírodních vláken vhodná pouze vlákna rostlinná, která

jsou na celulózném základu. Mezi ně patří len, konopí, sisal, juta, ramie a bavlna. Jejich výhodou je odolnost proti stárnutí a čichová nezávadnost při měnících se klimatických podmínkách. Pozoruhodné jsou i pevnosti v tahu. Vzhledem k nízké měrné hmotnosti jsou tato přírodní rostlinná vlákna zajímavou surovinou pro lehké konstrukce. [1]

Mezi přednosti patří nízká hustota, malá abrazivita při mechanickém opracování, výhodná likvidace spalováním či přírodní rozklad při vhodném odstranění pryskyřice. Tyto vyztužující systémy se však také potýkají s několika problémy, a to zejména závislost vlastností vláken na podmínkách jejich růstu, citlivost na působení vlhkosti, omezená možnost volby matrice, nebezpečí rozkladu vláken při vysoké teplotě zpracování (odolnost do 200°C), nákladná předběžná úprava pro zlepšení vazby s matricí, omezená délka vláken. [15]

Tab. 1 Porovnání vlastností skelných a přírodních vláken [1]

Vlastnosti \ Vlákno	Sklo	Konopí	Len	Juta	Sisal
E-modul (N·mm <sup>-2</sup> )	75000	70000	30000	55000	20000
Mez pevnosti v tahu (N·mm <sup>-2</sup> )	3 500	500	750	550	600
Tažnost (%)	4	1,6	2	2	2
Hustota (g·cm <sup>3</sup> )	2,54	1,45	1,48	1,4	1,45

### 3 MATRICE

Úkolem matrice je zajištění geometrického tvaru v kompaktní celek, zavedení a přenos sil, ochrana vláken, tj.:

- přenos namáhání na vlákna,
- převedení namáhání z vláken na vlákno,
- zajištění geometrické polohy vláken a tvarové stálosti výrobku,
- ochrana vlákna před vlivy okolí.

Zásadním hlediskem pro kvalitu kompozitu je zajištění adheze na fázovém rozhraní matrice-vlákno. Pro dosažení lepší fyzikální a příp. i chemické vazby mezi vláknem a matricí se nanese na vlákno apretace vhodná pro určitý druh matrice. Matrice musí mít vhodnou viskozitu a povrchové napětí, aby vlákno smočila úplně a bez vzduchových bublin.

#### 3.1 Polymerní matrice

Polymerní matrice bývají nejčastěji používány pro svou dobrou korozivzdornost, vynikající dielektrické vlastnosti a elektrickou nevodivost v kombinacích se skelnými, křemennými a polymerními vlákny. Polymerní matrice bývá také využívána z důvodu dobré propustnosti rentgenového záření v kombinaci s uhlíkovými vlákny. Polymerní matrice jsou děleny na reaktoplasty a termoplasty. Nejnovější trendy ve vývoji termoplastických pryskyřic vedou k nahrazování termosetických pryskyřic termoplastovými, a to kvůli možnosti recyklace kompozitních dílů vyráběných ve velkých sériích. [2]

##### 3.1.1 Polyesterové pryskyřice

Jsou děleny podle své struktury na tři typy, a to na ortoftalové, izoftalové a tereftalové typy, ve stejné pořadí se zlepšují jejich mechanické vlastnosti spolu s chemickou a tepelnou odolností a UV stabilitou. Ve stejném pořadí také roste jejich cena. Lepších vlastností je možno dosáhnout za použití vinylesterových pryskyřic s teplotní odolností až do 160°C a dlouhodobou chemickou odolností vůči většině agresivních látek – např. kyselinám, hydroxidům a rozpouštědlům. Monomerem a síťujícím činidlem je u těchto pryskyřic styren. Pryskyřice se pro zlepšení zpracovatelských podmínek dodávají i s přísadami urychlovačů, speciálních voskových složek pro snížení odparu zdraví škodlivého styrenu případně s přísadami tixotropních složek, upravujících viskozitu a snižujících stékání pryskyřice ze svislých stěn. Pro povrchové vrstvy, dodávající výrobku povětrnostní a chemickou odolnost

a zajišťující estetický efekt se používají speciální polyesterové pryskyřice obsahující různé aditiva, zejména barevné pigmenty, UV stabilizátory a další složky. [7]

### 3.1.2 Epoxidové pryskyřice

Epoxidové pryskyřice jsou za normální teploty kapalné až pevné látky, které mohou obsahovat přidané pomocné látky, např. rozpouštědla. V molekule obsahují nejméně jednu, většinou však dvě epoxidové skupiny, nutné jako funkční skupiny pro stavbu makromolekuly. Tvrdidlo se přidává v kapalné nebo pevné formě a obsahuje v molekule aktivní vodíkové ionty, které reagují s epoxidovými skupinami pryskyřice. Proto musí být dodržen tzv. stechiometrický poměr, který určuje vzájemný poměr mísení jednotlivých složek pryskyřice/tvrdidlo. [2]

Epoxidové pryskyřice patří mezi velmi hodnotné termosety s velice dobrými mechanickými vlastnostmi, vysokou rozměrovou stálostí a přilnavostí k podkladu. Pouze 8 % se zpracovává ve formě vyztužených kompozitu. Důležitými aplikačními oblastmi jsou zalévací hmoty pro elektroniku, výroba forem a nástrojů a různé povlaky, zejména pro práškové nanášení. [2]

Epoxidové systémy se skládají ze vzájemně reagujících molekul pryskyřice a tvrdidla, zatímco u nenasyčených polyesterových pryskyřic (UP-R) je katalyzátor pouze donorem radikálu, který se přidává v katalytických množstvích. Proto se musí EP-R mísit s tvrdidlem v přesném stechiometrickém poměru. Protože jsou jak pryskyřice, tak tvrdidla nejrůznějšími chemickými sloučeninami (aminy, anhydridy kyselin, fenoly apod.), tvoří epoxidové systémy velmi početnou skupinu materiálů. [1]

Charakteristickým znakem nevytvrzené pryskyřice je epoxidová skupina, trojčlenný kruh, skládající se ze dvou uhlíkových a jednoho kyslíkového atomu. Protože je tento kruh silně napjatý, má snahu se otevřít působením tzv. aktivních vodíkových atomů. Vícefunkční epoxidy tak tvoří s vícefunkčními tvrdidly trojrozměrnou síť. Základním reakčním mechanismem je polyadice. Při ní se vodíkový atom tvrdidla (např. diaminu) váže na kyslíkový atom epoxidové skupiny. Vznikající polární OH – skupina je, jak známo, příčinou dobré přilnavosti epoxidových pryskyřic. Dusík aminové skupiny se váže na koncový atom uhlíku, diamin se čtyřmi aktivními vodíkovými atomy se spojí se čtyřmi molekulami epoxidové pryskyřice. [1]

### 3.1.3 Polyuretanové pryskyřice

Polyuretany jsou polymery obsahující uretanové vazby a zařazením odpovídají jak termoplastům, tak termosetům. Základními složkami potřebnými pro přípravu polyuretanů jsou polyoly, polyisokyanáty a různé modifikátory, které však nejsou nezbytné. Použitím lineárních a nízkofunkčních polyolů dosáhneme nízkomodulového polyuretanu, který je flexibilní. Naopak použití vícefunkčních a rozvětvených polyolů vede k tvrdým vysokomodulovým polyuretanovým systémům. V závislosti na struktuře páteřního řetězce polyolu rozlišujeme polyetherové polyoly a polyesterové polyoly, přičemž častěji se setkáme s prvními zmíněnými. 26 Druhou složkou polyuretanů je monomer obsahující dvě nebo více isokyanátových funkčních skupin. Pro výrobu termosetových polymerů jsou nejčastěji používané polyisokyanáty známé pod označením TDI, MDI, HDI. Jejich největším problémem je jejich toxicita, která je omezena přidavkem blokujícího činidla. Své uplatnění nachází polyuretany v textilním, obuvnickém, automobilovém nebo stavebnickém průmyslu. [1]

### 3.1.4 Fenolické pryskyřice

Fenolické pryskyřice jsou reaktivní pryskyřice, které se vyrábějí kondenzací fenolů a 30 až 50% vodných roztoků aldehydů (zejména formaldehydu). Jednotlivé varianty vycházejí z různých druhů fenolických surovin, různých molárních poměrů fenol/formaldehyd a z různých chemických nebo fyzikálních modifikací [2]

Fenolické pryskyřice PF-R jsou křehké, a musí být, proto pro většinu konstrukčních aplikací modifikovány. K tomu se používají deriváty fenolu, např. alkylované fenoly nebo bisfenol A. Výhodným se ukázalo vytvrzování směsi fenolické a epoxidové pryskyřice, kdy se mohou společně lisovat dva odpovídající prepregy, které navzájem zreagují za vhodných vytvrzovacích podmínek. Obdobně se používají fenolické pryskyřice modifikované elastomery. [2]

Velká část fenolických pryskyřic PF-R a dalších termosetů na bázi formaldehydu, např. aminové pryskyřice (močovinové a melaminové), se zpracovává spolu s plnivý a výtuzemi pro účel lisovacích hmot lisováním a vstřikováním. I když se výtuzené vstřikované PF-R uplatňují v aplikacích u motorových vozidel, nezařazuje se většina aplikací lisovacích hmot plněných a výtuzených (např. dřevěnou moučkou, minerálními plnivý, celulóзовými vlákny a textilními odřezky) mezi výtuzené kompozity. Fenolické pryskyřice se uplatňují také jako pojiva pro izolační materiály (zvukové a tepelné izolace) a ve zpracování dřeva



(desky odolné proti povětrnosti), na brusné nástroje a kotouče, při výrobě brzdových obložení a při výrobě komutátorů elektromotorů. [3]

Podíl fenolických pryskyřic PF-R ve výrobě vyztužených kompozitů je poměrně nízký. I když mohou být zpracovávány řadou běžných technologických postupů, je jejich využití omezeno tím, že se při vytvrzování tvoří těkavé látky a že jsou příliš křehké pro velkorozměrové díly. Mezi jejich vynikající vlastnosti patří vedle vysoké chemické a tepelné odolnosti i nízká hořlavost bez přídavku aditiv, velmi nízká hustota kouřových plynů a malá toxicita kouře. Stále častěji se proto používají pro vnitřní vybavení letadel, železničních vagonů a vozidel. [2]

### 3.1.5 Termoplastické pryskyřice

V mnoha termoplastických výrobcích je využíváno jako výztuže krátkých, nespojitých vláken. Nejčastěji skelných, případně uhlíkových. Tímto způsobem je možno zlepšit výsledné mechanické vlastnosti vyráběné součásti. Součást má pak sice charakteristiku kompozitu, avšak nespĺňuje mechanické charakteristiky materiálů vyztužených dlouhými vlákny. [19]

Mezi poslední trendy ve výrobě kompozitních materiálů patří termoplastické pryskyřice v kombinaci s kontinuálními vlákny vytvářejícími strukturní kompozitní výrobky. termosetové kompozity. Existují dvě hlavní výhody termoplastických kompozitů. První je, že mnoho termoplastických pryskyřic má zvýšenou rázovou odolnost srovnatelnou s termosetovými kompozity. V některých případech je rozdíl až 10násobek odolnosti proti nárazům. [18]

Další hlavní výhodou termoplastických kompozitů je schopnost změny tvaru po vhodném technologickém procesu, kterým je teplota spolu s tlakem. To umožňuje, aby byly termoplastické kompozity reformovány a přetvořeny. Například pultruzní termoplastická kompozitní tyčinka může být zahřátá a přetvořena tak, aby měla zakřivení. To není možné s termosetovými pryskyřicemi. Tyto pryskyřice také umožňují recyklaci termoplastického kompozitu na konci jeho životnosti. Mezi další nesporné výhody při použití těchto pryskyřic patří možnost svařování a případných oprav poškozených součástí, což u termosetických pryskyřic není možné. [17]

## 4 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY V OBLASTI SPORTOVNÍHO PRŮMYSLU

Výhody kompozitních materiálů jsou mimo uplatnění v letectví, kosmonautice a ostatních odvětvích průmyslu čím dál častěji uplatňovány i v civilním průmyslu, převážně pak ve sportovním odvětví. Kompozitní materiály se nepoužívají pouze ve sportech na profesionální úrovni, nýbrž také v amatérských a rekreačních sportech.

Důvody využití těchto moderních materiálů jsou zcela zjevné, materiály jsou lehké, dosahují vysokých pevností a je možno je kombinovat s jinými materiály a dosáhnout tak potřebných vlastností pro konkrétní využití. [11]

Jedinou nevýhodou zůstává cena, která je stále vyšší než u běžných sportovních, konvektivně vyráběných sportovních pomůcek. Velká část ceny kompozitního nářadí určených pro sport je způsobena náklady na výzkum. [1]

Na každé využití je potřeba zvolit nejprve vhodnou technologii výroby a poté je potřeba najít vhodné složení výztuže v kombinaci s vhodnou maticí. Tento proces je možné částečně při využití moderních výpočetních systémů přibližně simulovat, avšak tyto procesy se nedají využít absolutně a je tedy nutné výsledný produkt po vyrobení, podrobit zkouškám a neustálými úpravami technologických postupů dosáhnout požadovaného výsledku. [1]

### 4.1 Oblasti využití kompozitních materiálů ve sportovním odvětví

Kompozitní materiály nachází uplatnění ve všech směrech sportovního odvětví, proto je v této diplomové práci popsáno pouze několik sportovních odvětví, z nichž jsou některé s kompozitními materiály nespojovány.

#### 4.1.1 Motorsport

V motorsportu ať už se jedná o automobily či motocykly jsou z kompozitních materiálů vyráběny různé díly a části zejména co se týká karoserie, v poslední době se vývoj zaměřuje taktéž na nosné konstrukce, např. ochranné rámy. Velkou podíl při vývoji kompozitů spadá do závodní série Formule 1 či WRC, ve které je ve velké míře používáno kompozitních materiálů, stejně tak jejich kombinací s jinými materiály, jako například hliník, či titan. Nejčastěji jsou zde v různých kombinacích a typech využívána uhlíková vlákna, která splňují

veškeré požadavky konstruktérů. Stejně tak v lodním průmyslu je zde nejčastěji využívanou technologií vakuová infuze, kterou postupně nahrazuje lisování prepregů v autoklávu. [12]



Obr. 10 Uhlíkový kryt Škoda Fabia S2000

#### 4.1.2 Cyklistika

V cyklistice nachází kompozitní materiály uplatnění od celých rámců až po drobné doplňky výbavy. Ve srovnání se standardními rámy z oceli případně hliníku jsou např. uhlíkové rámy lehčí při zachování vysoké pevnosti a životnosti. Často jsou tyto materiály mimo své vynikající fyzikální vlastnosti voleny kvůli atraktivnímu vzhledu. V cyklistickém odvětví však stále převládají rámy hliníkové, a to primárně kvůli vysoké ceně rámců kompozitních. [13]

#### 4.1.3 Vodní sporty

Kompozitní materiály jsou častěji používány taktéž v celém spektru vodních sportů. Nejčastěji je najdeme u menších lodí, popřípadě jachet a to celé trupy, které jsou nejčastěji vyráběny buď vakuovou infuzí (trupy jachet, menších lodí) případně ruční laminací (kajaky, čluny) případně ostatní příslušenství ať už se jedná o pádla, helmy, opěrky či sedačky do sportovních lodí a podobně. Využití kompozitních materiálů ve vodních je věnována v poslední době velká pozornost a neustále se stávající technologie nahrazují novými. Podlešním trendem je např. využití pultruzních profilů jako stěžňů ráhen a jiných profilů v tomto odvětví hojně používaných. [11]

#### 4.1.4 Outdoorové sporty

Oblíbeným odvětvím, ve kterém kompozitní materiály nacházejí uplatnění, jsou outdoorové sporty, např. horolezectví, všechny druhy lyžování, turistika atd. Zde jsou využívány opět skvělé mechanické vlastnosti v kombinaci s nízkou hmotností. V případě těchto sportů jsou tyto produkty vyhledávaným zbožím a svojí využitelností konkurují pomůckám z běžných materiálů i přes vyšší cenu snad více než v jiných sportech.



Obr. 11 Lyže z uhlíkového kompozitu společnosti Elan

## 5 HOROLEZECKÝ CEPÍN

Cepín je horolezecké náčiní (speciální víceúčelový nástroj), určený k pohybu osob po ledovcích, ledových plotnách, sněhových polích, ale i kombinovaném, nebo čistě skalním terénu. V horolezeckém slangu se cepíny nazývají také „zbraně, pikly, nebo motyky či motyčky“. [23]

Cepíny jsou vyráběny v délkách až 90 cm, přičemž kratší jsou určeny pro pohyb v obtížném terénu. [23]

### 5.1 Turistický cepín

Turistický cepín má rukojeť s hlavou podobnou zmenšenému krumpáči, později se ve Skotsku vyvinuly hroty jedničkového tvaru a moderní cepíny zvláště určené pro těžké kombinované lezení a drytooling, čili lezení s mačkami a cepíny po holé skále bez sněhu a ledu, které mají spíše inverzně prohnuté hroty. Na rukojeti, která byla původně dřevěná, ale dnes téměř výhradně kovová, bývá u turistického cepínu na posuvném kroužku je upevněna smyčka pro navléknutí na ruku, která slouží jednak proti ztrátě cepínu při lezení v horách, jednak jako opora ruky při zavěšení. Hlava cepínu má na jedné straně špičatý zobák, na druhé straně má lopatku, nebo tlouk (kladivocepín). [23]

Použití turistického cepínu:

- hůl pro udržování rovnováhy, zvláště při zdolávání ledovcových svahů,
- nástroj pro lezení v ledu – používají se dva kratší cepíny s prohnutou rukojetí, chránící ruce proti otloukání prstů při zasekávání,
- brzdící pomůcka při pádu na svahu – je s ním možné při správné technice zastavit i pád na ledovcích se sklonem hodně přes 45°,
- pevný bod pro stanoviště při sněhových výstupech. [23]

### 5.2 Cepíny pro závodní ledolezení a drytooling

Cepíny pro těžké ledolezení, mixové lezení, drytooling a závodní lezení nemají ani smyčku, a většinou ani tlouk nebo lopatku. Mají zprohýbanou rukojeť tak, aby se při zaseknutí do ledu neotloukly prsty a na rukojeti, aby se vytvořila madla pro obě ruce. [23]

Smyčka se nepoužívá proto, že při závodním lezení, drytoolingu i těžkém ledovém lezení se cepíny přendávají z ruky do ruky, někdy lezec visí jen na jednom cepínu a druhý si odkládá buď na rameno, nebo jej drží v zubech. Geometrie cepínu je přizpůsobena spíše



Obr. 12 popis jednotlivých částí cepínu

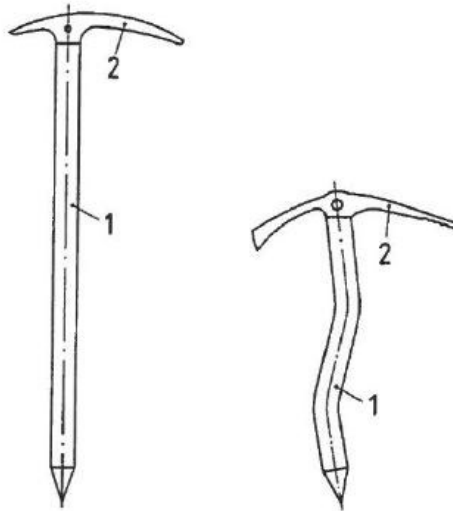
zakládání hrotu než zasekávání a musí zajistit, aby hrot nesklouzl ani při zaháčení v převisu. Závodní cepíny nelze používat v horách, protože se nedají zprohýbanou rukojetí zapíchnout do sněhu.

### 5.3 Testování lezeckých cepínů dle ČSN EN 13089+A1

Testování lezeckých pomůcek podléhá velmi přísným kritériím, která jsou nastavena normou ČSN EN 13089+A, tato norma nahrazuje v dnešní době již zastaralou normu ČSN EN 13089. [24]

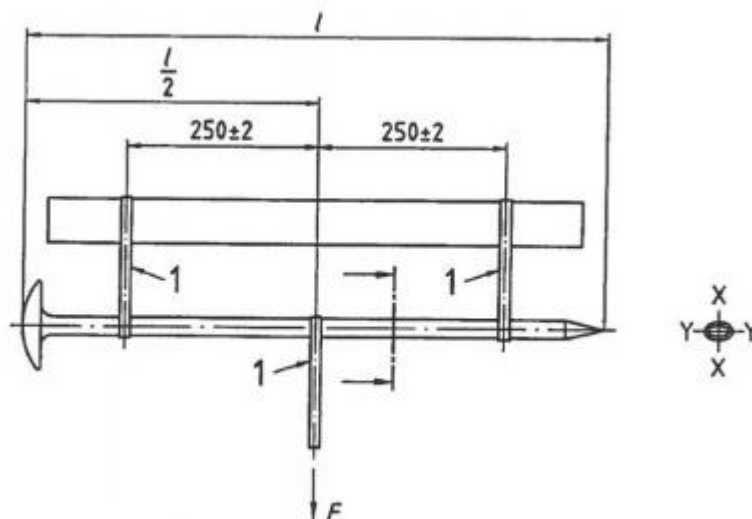
Norma udává způsob testování pomůcek pro horolezeckou výzbroj určenou pro lezení v ledu. Primárně nemohou mít části přicházející do kontaktu s rukou otřepy ani hrany. Část testování je realizováno v klimatické komoře při teplotě  $-30\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Primárně norma rozlišuje dva základní tvary násady cepínu (1) a dva tvary hrotu neboli dle normy „zobáku“ (2) jak je znázorněno na obr. 11. Násady jsou rozlišovány jako násada rovná určená pro použití ve sněhu či ledu případně pak tvarově složitější, která je mimo zmíněné určená pro použití na skále či technické lezení. Zobáky jsou rozlišovány dle tvaru na zobák tvarové

jednodušší lopatkovitého charakteru, který je určený pro lezení ve sněhu či ledu případně pak tvarově složitější rovný, který je určený pro použití na skále či technické lezení. [24]



Obr. 13 Porovnání jednotlivých typů částí  
dle normy [24]

Norma dále popisuje metodiku a síly potřebné pro zkoušení v různých kombinacích namáhání vyvozující jak tah, tak ohyb či smyk na násadu tak na zobák, a to v provedeních jednoduchém i složitějším určeném pro technické lezení.



Obr. 14 Ukázka metodiky testování násady dle ČSN EN  
13089+A1 [24]

## II. PRAKTICKÁ ČÁST



## 6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout a následně vyrobit lezecké cepíny určené pro sportovní disciplínu zvanou drytolling. Tyto cepíny by měly být vyrobeny z kompozitního materiálu.

Cepíny musí dosáhnout několika vlastností a to:

- vhodná ergonomie,
- nízká váha,
- dostatečná pevnost.

Celá práce se bude skládat z dílčích cílů:

- vytvoření návrhu a vhodné ergonomie za použití CAD systému,
- zhotovení ergonomických prototypů,
- stanovení vhodného technologického postupu,
- zhotovení prototypu cepínu,
- testování prototypu dle normy,
- zhodnocení výsledků.

## 7 NÁVRH LEZECKÉHO CEPÍNU

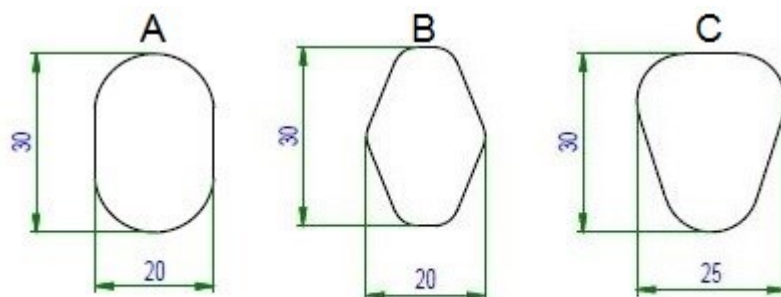
Z hlediska efektivního návrhu cepínu bylo nejprve nutné zvážit jednotlivé technologické kroky, za pomoci kterých je cepín vyráběn a na tomto základu pokračovat v návrhu jednotlivých částí. Vzhledem k co nejefektivnějšímu využití vlastností kompozitních materiálů byl na začátku zvolen postup, kdy se cepín bude skládat z jádra, na které bude přilepena pěna a celý tento polotovar bude následně obalen kompozitní punčochou. Celá sestava tak bude tvořit sendvičovou konstrukci a hlavní tahové namáhání bude přenášet jádro. Vedlejší síly působící na cepín pak budou přenášeny vnějším potahem. Jako vzorový cepín byl použit komerčně dostupný cepín firmy Petzl a to typ Nomic, který je primárně určený pro lezení v ledu.



Obr. 15 Cepín pro technické lezení Petzl Nomic

## 7.1 Návrh ergonomie cepínu

K co možná nejlepší optimalizaci celého produktu patřila k základním úvahám vhodně zvolená ergonomie nástroje. Stávající produkty mají primárně oválný průřez, který nemusí ergonomicky vyhovovat všem uživatelům. Cílem bylo vyrobit prototyp, na kterém bude možno vyzkoušet několik tvarů průřezů, a to mimo standartního oválného tvaru (A) také tvar trojúhelníkový (C), který by se dle teoretických úvah lépe zapřel do dlaně lezce a tvar kosodélníku (B), který by bylo možno efektivně uchopit do ruky.



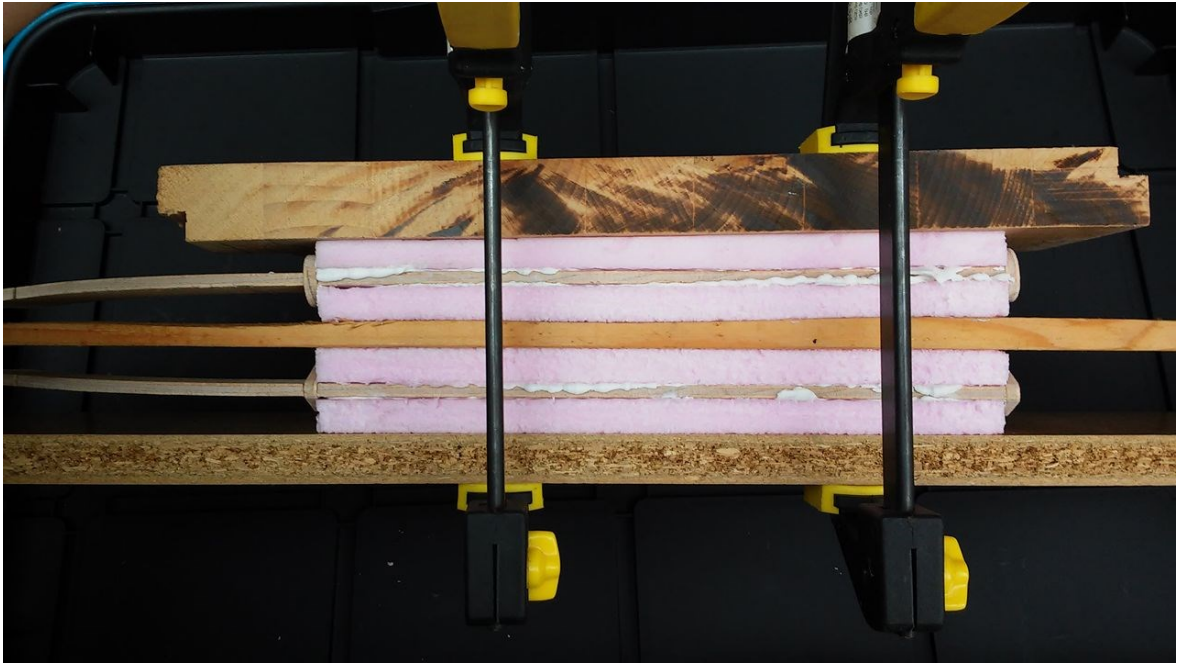
Obr. 16 Navržené geometrie cepínu

### 7.1.1 Výroba prototypu

Pro výrobu prototypu byl zvolen materiál překližka v kombinaci s extrudovaným polystyrenem. Základní úvahou bylo co nejjednodušší zhotovení prototypu v co nejkratším čase. K tomu byl zvolen technologický postup, který je zaměřen primárně na prokázání nejvhodnějšího průřezu cepínu.

Vodním paprskem bylo z překližky tloušťky 3 mm vypáleno tělo s úhlem hlavy  $42^\circ$  s drážkami, do kterých bylo možné zasouvat žebra s různými tvary průřezů, které byly také zhotoveny z překližky s drážkami.

Po začištění a dobroušení jednotlivých styčných ploch následovalo sestavení těla s žebrem a na tělo byl pak nalepen pomocí lepidla Pattex Super Fix PL50 extrudovaný polystyren z každé strany. Celá sestava byla následně stažena stolářskými svorkami a vytvrzena po dobu 24 hodin při pokojové teplotě.



Obr. 17 Lepení ergonomických prototypů

Po důkladném vytvrzení lepidla následovalo opracování jednotlivých tvarů. Nejhrubějšího opracování bylo dosaženo oscilační bruskou s brusným nástavcem. Následného přesného dotvarování bylo dosaženo pomocí skleněné desky, na které byl umístěn smirkový papír zrnitosti P 100, která se osvědčila pro opracování extrudovaného polystyrenu nejlépe. Rovnoměrným broušením podélně ve směru lepeného polystyrenu postupným dobrušováním na žebra bylo dosaženo požadovaného dotvarování prototypu cepínu.



Obr. 18 Vybrúšené ergonomické prototypy – zleva typ A, B, C

Po dobroušení pěny byly celé polotovary zalaminovány do skelné punčochy průměru 25 mm, která bývá standardně používána pro trubky od průměru 7-30 mm. Jako pryskyřice byl zvolen epoxidový systém od společnosti GRM Systems s.r.o. a to pryskyřice LG 285 s tvrdidlem HG 353. Vzhledem k relativně krátké době zpracovatelnosti, která v této kombinaci pryskyřice a tužidla činí padesát minut, bylo potřeba nejdříve jednotlivé vrstvy punčochy nachystat na předchystané jádro. Složky byly míchány v hmotnostním poměru 100:35, kde 100 dílů je hmotnost pryskyřice a 35 dílů je hmotnost tvrdidla. Jednotlivé složky byly odměřeny za pomoci laboratorních vah do kelímku a celá směs byla pak důkladně promíchána míchací tyčinkou a poté aplikována štětcem. Následně byly polotovary umístěny do vzduchotěsného vaku, ze kterého byl pomocí vývěvy odsát vzduch a poté byly polotovary vytvrzovány 24 hodin při pokojové teplotě.



Obr. 19 Ergonomické prototypy po zalaminování - zleva typ A, B, C

### 7.1.2 Testování prototypů

Následným krokem bylo testování mechanických vlastností vyrobených vzorků, a to na univerzálním testovacím stroji Zwick 1456. Cílem zkoušky bylo zjištění hodnot síly potřebné na deformaci ohybem, a to jak v horizontálním, tak vertikálním směru na osu vzorku. Z tabulek 2 a 3 jsou patrné hodnoty měření. Ve vertikálním směru vyhovoval nejvyšší pevností a nejnižším průhybem oválný tvar prototypu, stejně tak jako ve směru horizontálním.

Tab. 2 Výsledky zkoušky ohybem prototypů  
ve vertikálním směru zatěžování

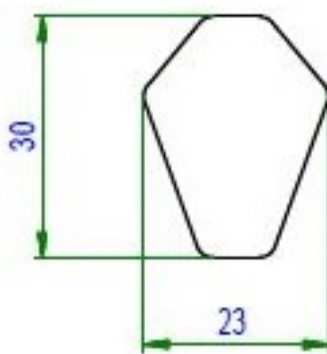
	Vertikální směr zatěžování		
	Modul pružnosti	Síla	Prohnutí
Tvar	GPa	N	mm
Typ A	94,4	630	26,8
Typ B	26,2	508	34,1
Typ C	134	617	29,6

Tab. 3 Výsledky zkoušky ohybem prototypů  
v horizontálním směru zatěžování

	Horizontální směr zatěžování		
	Modul pružnosti	Síla	Prohnutí
Tvar	GPa	N	mm
Typ A	109	3150	5,9
Typ B	104	2450	4,3
Typ C	88,5	2420	10,5

### 7.1.3 Zhodnocení prototypů

Z testovaných prototypů se po stránce mechanických vlastností nejvíce osvědčil oválný tvar cepínu (A). Ergonomicky tento tvar však příliš nevyhovuje ve srovnání s tvarem lichoběžníkovým (B), který dodává jistější pocit úchopu lezce. Proto byl ze získaných zkušeností navrhnout experimentálně tvar kombinující oválný a lichoběžníkový profil průřezu. Tento tvar by měl kombinovat všechny výše uvedené výhody.



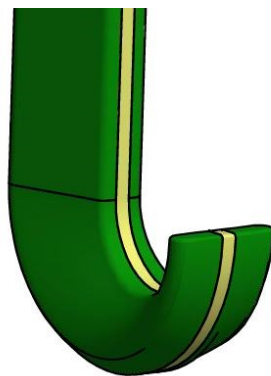
Obr. 20 Výsledná navržená geometrie  
průřezu

## 7.2 Návrh designu cepínu

Po zvolení průřezu cepínu následoval samotný návrh zobáku cepínu. Návrh cepínu probíhal v CAD softwaru Autodesk Inventor Professional 2018. Bylo využito základních rozměrů komerčně dostupného cepínu Petzl Nomic a to jak délky těla, která činí 438 mm, tak sklonu hlavy, která je skloněna pod úhlem  $42^\circ$ . Návrh probíhal modelováním jednotlivých komponent v základním modulu Součást, primárně pomocí příkazů vysunutí a tažení, případně šablonování. Poté byly jednotlivé komponenty sestaveny v modulu Sestava.

Základem samotného návrhu bylo stanovení vstupních parametrů. Délka i sklon těla je totožný s parametry konvenčně dostupného cepínu. Stejně tak je u nově vyráběného kusu použito konvenčního hrotu. Na trhu je široké spektrum hrotů různých tvarů, s různou geometrií. Tyto hroty jsou kované a tato práce není zaměřena na jeho návrh, proto je znázorněn v modelu pouze schematicky. Pro sportovní využití se tyto hroty dobrušují manuálně dle potřeby.

Tvar jádra, od kterého je odvozen tvar pěny vychází z návrhu použitého pro ergonomické prototypy. K jádru byl pouze domodelován opěrný zobáček, nazývaný slangově mezi lezci "boxer". Tento zobáček zajišťuje především bezpečnostní funkci v případě vyklouznutí cepínu z dlaně. Ruka lezce v něm může být umístěna, avšak při lezení není primárně namáhán.



Obr. 21 Detail opěrného zobáčku

### 7.2.1 Návrh lepeného spoje

Další část návrhu bylo spojení hrotu s kompozitním tělem cepínu. Jako konstrukční řešení byla zvolena varianta ocelových příložek, které budou přilepeny k jádru a zároveň budou

zalaminovány k povrchu cepínu. Hrot do nich bude pak přišroubován. I když patří toto řešení mezi technologicky složitější a nepatří přímo k primárnímu návrhu této práce, bylo zahrnuto do řešení kvůli závěrečnému testování, které ukáže případné nedostatky této technologie.

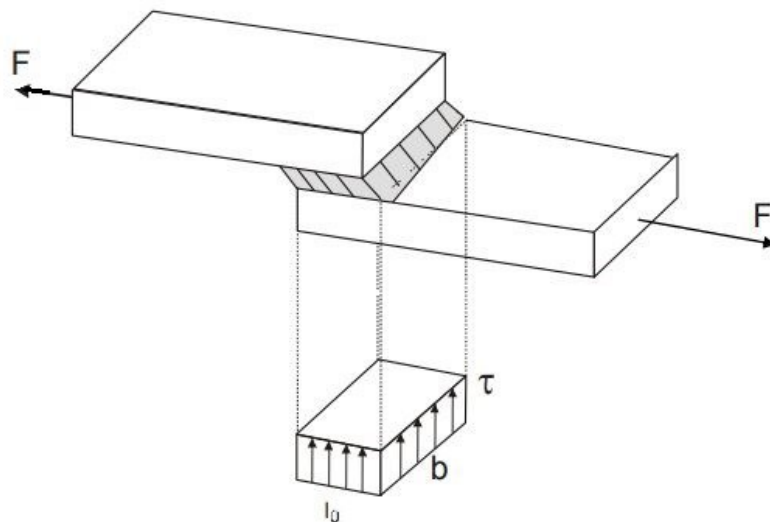
Nejprve musel být lepený spoj vhodně nadimenzován. Za předpokladu, že se jedná o ideální stav, to znamená, že nejsou zohledněny parametry jako: ovlivňující geometrické veličiny a také zohlednění ovlivňující veličiny materiálů. V tomto případě je předpokládáno smykové zatížení při zatěžování tahem. V tomto případě bylo uplatněno základního vztahu mezi namáháním a zatížitelností.

$$\tau_{příp} > \tau_{max} \quad (1.1)$$

Kde:  $\tau_{příp}$  Smykové napětí přípustné [MPa]

$\tau_{max}$  Smykové napětí maximální [MPa]

Ze vzorce je patrné, že smykové napětí, které spoj vydrží nepoškozený (přípustné), musí být vyšší než smykové napětí, které lepený spoj namáhá (maximální).



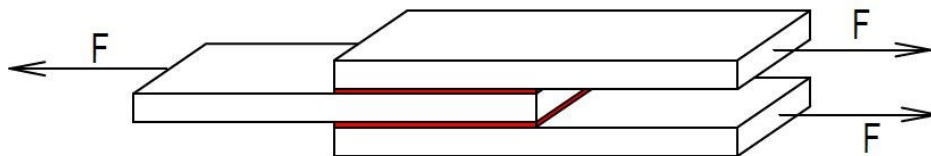
Obr. 22 Lepený spoj zatěžovaný smykem

Výpočet smykového napětí je odvozen ze síly působící na plochu, za kterou je považována styčná plocha, na které je nanášeno lepidlo.



$$\tau = \frac{F}{l_{\ddot{u}} \cdot b} \quad (1.2)$$

Kde: $\tau$	Smykové napětí [MPa]
$F$	Tažná síla [N]
$l_{\ddot{u}}$	délka styčné plochy [mm]
$b$	šířka styčné plochy vzorku [mm]



Obr. 23 Schéma namáhání lepeného spoje

V případě návrhu cepínu je vzorec upraven do tvaru, ve kterém je plocha násobena dvěma, jelikož jsou styčné plochy dvě a tudíž se napětí rozloží na obě lepené plochy.

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot l_{\ddot{u}} \cdot b} \quad (1.3)$$

Kde: $\tau$	Smykové napětí [MPa]
$F$	Tažná síla [N]
$l_{\ddot{u}}$	délka styčné plochy [mm]
$b$	šířka styčné plochy vzorku [mm]

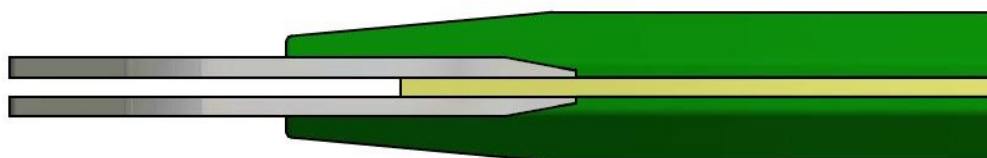
Za předpokladu, že je uvažováno tahové zatížení 3745 N, je výsledné napětí  $\tau = 2,227$  MPa.

Jako lepidlo bylo zvoleno lepidlo Letoxit PL 20, který je za pokojové teploty vytvrditelné pastovité epoxidové lepidlo s vysokou pevností. Dle technického listu dosahuje Letoxit PL 20 při teplotě  $-75$  °C pevnosti ve smyku 10-22 MPa, nejvyšších pevností dosahuje při teplotě

+20 °C a to 34-40 MPa. Předpokladem je, že dobrých mechanických vlastností bude dosaženo jak při -30 °C, při kterých probíhá testování dle normy ČSN EN 13089+A1, tak při samotném lezení, které probíhá v teplotách kolem 0 °C a méně.

### 7.2.2 Návrh ostatních komponent

Posledním stádiem návrhu bylo vhodné navržení přílozek a případné korekce stávajících tvarů, a to primárně z technologického hlediska a zpracování při posloupných operacích.



Obr. 24 Detail lepeného spoje

## 7.3 Výroba jádra

Jádrovým materiálem byl kvůli dobrým mechanickým vlastnostem a nízkým nákladům na výrobu zvolen laminát skládající se ze skelné tkaniny a epoxidové pryskyřice. Byla zvolena tkanina ve vazbě kepr s gramáží 200g/m<sup>2</sup>. Jako vhodné pojivo byla zvolena epoxidová pryskyřice LG 285 společnosti GRM systems, která dodává tento vytvrzující systém společnosti zabývající se výrobou sportovních pomůcek do extrémních podmínek.

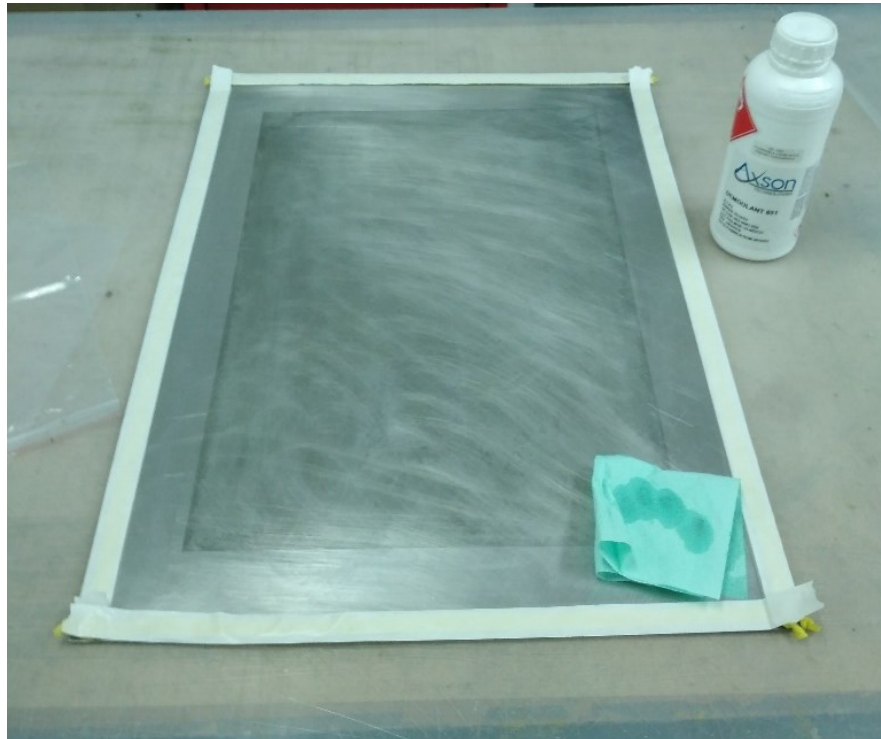
### 7.3.1 Volba technologie výroby jádra

Pro výrobu laminátové struktury byla zvolena technologie ručního kladení a prosycování s následným odsátím pryskyřice za pomoci vývěvy a vytvrzením v peci což dle technického listu vede ke zlepšení mechanických vlastností.

### 7.3.2 Separace formy

Pro separaci formy byl zvolen produkt Axson Demouldnt 851, který se již v minulosti osvědčil a má ideální vlastnosti pro tuto aplikaci. Tento produkt je na bázi tekutých vosků a

jeho aplikace probíhala ve třech etapách, kdy byla v každé etapě nanesena vrstva separátoru pomocí ubrousku a poté se vrstva nechala odvětrat po dobu 15 minut. Aplikace musela být provedena rovnoměrně, avšak nesměly být voskem neseparovány okraje plechu, na které byla potom nanesena butylkaučuková páska, která slouží k přilepení fólie a brání tak přístupu vzduchu.



Obr. 25 Naseparovaná forma

### 7.3.3 Příprava jednotlivých vrstev

V časovém prostoru vzniklém odvětráváním separátoru bylo možno připravit jednotlivé vrstvy. Nejprve bylo připraveno osm vrstev skelné tkaniny v rozměrech 700x480mm. Dále byla připravena strhávací tkanina vyrobená z PA 6.6 o gramáži 83 g/m<sup>2</sup> ve stejném formátu,



Obr. 26 Pracoviště pro řezání výztuže

perforovaná folie, díky které odchází přebytečný vzduch a nedochází při tom k odsátí pryskyřice. Další připravená vrstva byla odsávací tkanina, která absorbuje přebytek pryskyřice a folie, která bude umístěna jako poslední vrstva tak umožní vzduchotěsně uzavřít celou formu spolu s jednotlivými vrstvami.

### 7.3.4 Laminace

Následnou operací byla samotná laminace. Nejdříve bylo potřeba namíchat laminovací pryskyřici s tvrdidlem. Jako pryskyřice byla použita epoxidová pryskyřice LG 285 s tvrdidlem HG 353, které je tužidlo s padesáti minutovou dobou zpracovatelnosti na bázi urychlené směsi polyaminů. Složky byly míchány v hmotnostním poměru 100:35, dle pokynů výrobce, kde 100 dílů je hmotnost pryskyřice a 35 dílů je hmotnost tvrdidla. Jednotlivé složky byly odměřeny za pomoci laboratorních vah do kelímku a celá směs byla následně důkladně promíchána míchací tyčinkou a byla tak připravena na aplikaci.

Jako první vrstva byla položena strhávací tkanina, stejně tak jako vrstva poslední, a to z důvodu dobré adheze, která bude potřebná pro následné zpracování jádra. Proces laminace probíhal kladením jednotlivých vrstev tkaniny na sebe, mezitím co byla každá vrstva zvláště prosycována pryskyřicí za pomoci štětce. Aby bylo dosaženo co nejlepšího prosycení,



Obr. 27 Nalaminovaná nosná deska

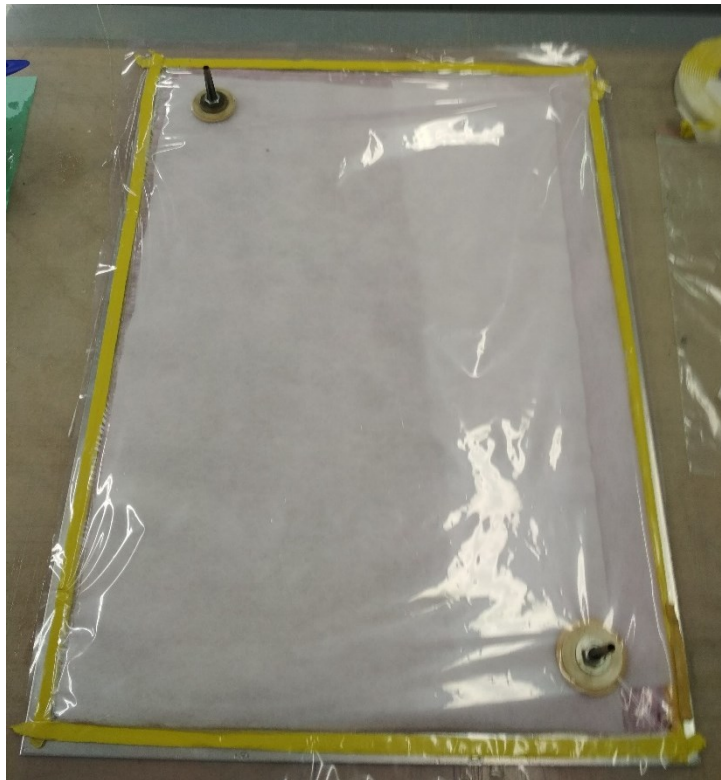
nemohla být pryskyřice pouze nanášena roztíráním, nýbrž musela být tupována kolnými údery štětce k podložce. Při kladení vrstev byl kladen důraz na stejnou orientaci jednotlivých vrstev. Tímto způsobem na sebe bylo nanášeno osm vrstev tkaniny, které měly zaručit tloušťku laminátu 2,9-3,1mm.

### 7.3.5 Vakuování

Po prosycení jednotlivých vrstev strhávací tkaniny a sklené výztuže moly být položeny další vrstvy, a to v pořadí: perforovaná folie, odsávací tkanina. Potom byly umístěny diagonálně dva odsávací ventily pro připojení vývěvy a jako poslední vrstva byla uložena folie, která byla důkladně a postupně přitlačována na předchystanou butylkaučukovou pásku. Celek bylo pak možno připojit na vývěvě, ze které byl přívod pomocí „T“ spojky rozdějen právě potřebě dvou odsávacích ventilů.

Odsávání vývěvou probíhalo po dobu čtyř hodin, kdy byla pryskyřice již ve značném stádiu vytvrzení a odsávání tak bylo dále zbytečné. Celek byl poté tvrzen při pokojové teplotě po dobu 24 hodin.

### 7.3.6 Vytvrzovací cyklus

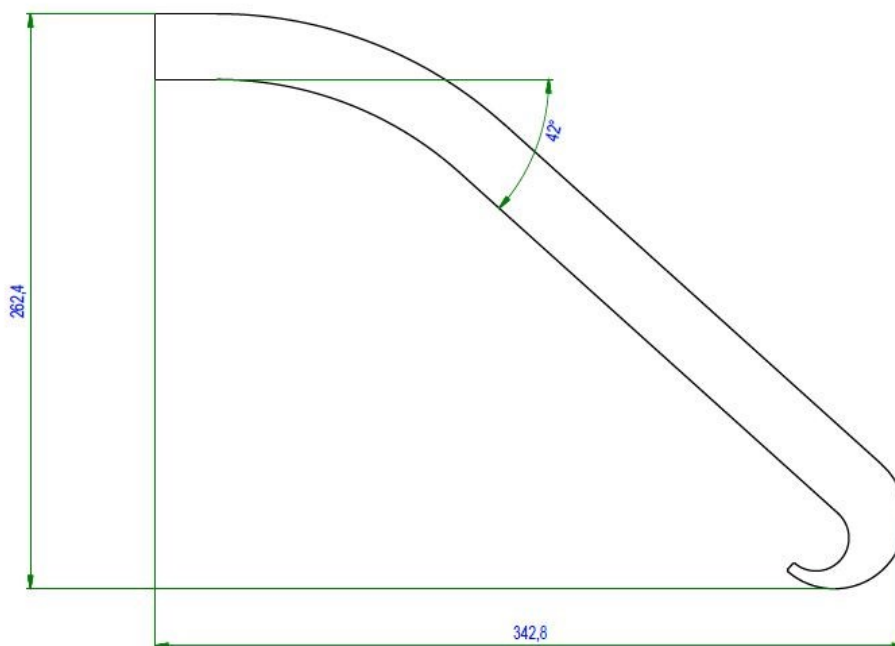


Obr. 28 nosná deska před vakuováním

Kvůli zvýšení mechanických vlastností bylo potřeba desku poté dotvrdit v peci. Dle technického listu pryskyřice byl na dotvrzení jádra zvolen cyklus s postupným náběhem teploty po  $4^{\circ}\text{C}/\text{min}^{-1}$  na teplotu  $120^{\circ}\text{C}$  následným setrváním na teplotě po dobu 4 hodin a postupným zchladnutím na pokojovou teplotu. Takto připravená deska byla připravena na další zpracování, nejdříve však bylo potřeba ověřit její mechanické vlastnosti, a to primárně ve směru namáhání vláken.

### 7.3.7 Vypálení tvaru

Následným krokem bylo nařezání vyrobené desky formátu 700x500mm na dvě části. První částí ve formátu 200x500 byl materiál určený pro zjištění mechanických vlastností. Druhá část velikosti 500x500mm byla určena pro samotnou výrobu cepínu. Tato deska byla zaslána spolu s obrysem součásti převedeným do formátu x.dxf do společnosti Spojmat CZ s.r.o., kde proběhlo vyřezání nosného tvaru za pomoci vodního paprsku.



Obr. 29 Základní geometrie výpalku

### 7.3.8 Lepení příložek

Následným krokem bylo lepení příložek, ke středové desce. Příložky byly vypáleny z plechu z materiálu ČSN 11373 – nelegovaná ocel obvyklých jakostí pro konstrukce, tloušťky 3 mm. Finální operací po vypálení příložek bylo sražení hran a vytvoření úkosu na straně příložky, která bude v kontaktu s pěnou. Příložky byly poté odmaštěny za pomoci acetonu, následovalo zdrsnění povrchu smirkovým papírem zrnitosti K 120, potom byl povrch znovu očištěn acetone. Povrch středové desky byl očištěn izopropylalkoholem, jiná povrchová úprava nebyla potřebná, jelikož byla tato deska vyráběna se strhávací tkaninou, která by měla zaručit dostatečnou adhezi při lepení, či dalším laminování.

Mezitím bylo připraveno lepidlo Letoxit PL 20, které je určeno pro lepení nejrůznějších kovových materiálů, voštin, vláknů vyztužených kompozitů, dřeva, pryže a skla. Je možné lepit tyto materiály i navzájem, lepidlo obsahuje inhibitor koroze.

Lepidlo bylo připraveno k aplikaci tak, že 100 hmotnostních dílů složky A a 40 hmotnostních dílů složky B je spolu mícháno až do dosažení stejnoměrného barevného odstínu. Jednotlivé hmotnostní díly byly váženy na laboratorních vahách. Pro zaručení maximální pevnosti lepeného spoje je třeba dodržet přesnost u složky B v rozmezí +5%.



Obr. 30 Příložky po opracování

Lepidlo bylo nanášeno na oba lepené povrchy použitím špachtle. Optimální pevnosti lepeného spoje je dosaženo při tloušťce vrstvy 0,1-0,2 mm, tj. při aplikaci lepidla v množství ca. 150g/m<sup>2</sup>. Této tloušťky bylo dosaženo za pomoci ballotinové frakce byly v rozmezí



Obr. 31 Spleené substráty



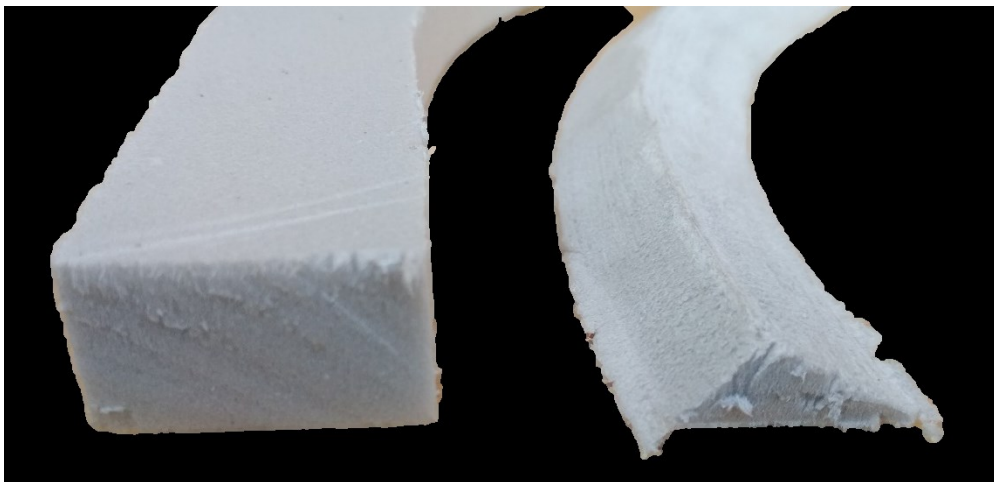
0,1-0,2 mm. Potom byly oba lepené substráty staženy svorkami po dobu 24 hodin, což je manipulační pevnost lepidla při pokojové teplotě.

### 7.3.9 Opracování pěny

V průběhu vytvrzování lepeného spoje s příložkami vznikl prostor pro přípravu materiálu jádra. Při výrobě prototypu se konkrétně jedná o pěnu Armacell. S ohledem na kusový charakter výroby prototypu bylo potřeba zvolit co nejvhodnější technologii pro opracování pěny, která by zároveň umožnila dosáhnout požadované ergonomie spolu s rychlou, efektivní a nízkými náklady na výrobu. Vzhledem ke snadnému způsobu opracování pěny za pomoci broušení, bylo zvoleno této technologie pro finální opracování tvaru pěny.

Základní tvar byl vyřezán za pomoci vypálené šablony z plechu za použití zalamovacího nože, který je tenký a díky plechové šabloně byl dobře veden. Jedinou nevýhodou toho postupu při výrobě polotovaru pěny je ten fakt, že je neustále potřebné dodržovat úhel mezi šablonou a nožem  $90^\circ$ , jinak by hrozilo k podřezání pěny a jednalo by se o zmetek.

Kvůli pravidelnému a geometrickému zrcadlově otočenému tvaru, potřebnému pro výrobu pěn pro jeden kus a snadnému opracování pěny, byl zvolen postup, při kterém byl polotovar pěny posouván po vodítku, svírající úhel  $45^\circ$  pro vrchní část ergonomie, opírající se do dlaně či  $60^\circ$  pro spodní část ergonomie, opírající se do prstů lezce. Tyto úhly vychází ze zvolené ergonomie cepínu. Tento přípravek byl upevněn na stole sloupové vrtačky, se základní podložkou a byl obrušován na sloupové vrtačce za pomoci brusného lamelového kotouče o zrnitosti K 120. Tento postup výroby jádra se ukázal jako časově velmi výhodný s vynikajícími výsledky ve srovnání s předešlými pokusy o ruční vybroušení tvaru. Při zabrušování za pomoci sloupové vrtačky bylo potřeba kvůli pravidelnosti tvaru dodržet



Obr. 32 Detail vybroušeného jádra

mezeru mezi pěnou, přípravkem a brusným kotoučem. Celý tvar byl broušen bez opěrné části cepínu zvané boxer, který bude dobrušován po slepení pěny k tělu ručně.

### 7.3.10 Lepení jádra

Po vybroušení pěny jádra následovalo přilepení jádra na již předpřipravenou základní desku spojenou s příložkami. Na jádru bylo pouze nutné vybrousit odsazení v hloubce 3 mm, které bylo nutné kvůli síle plechu příložky. Poté byly připraveny odřezky pěny bez jakékoliv úpravě. Při lepení pěny bylo opět použito epoxidového pastovitého lepidla Letoxit PL 20. Lepidlo bylo opět namícháno k aplikaci tak, že 100 hmotnostních dílů složky A a 40 hmotnostních dílů složky B je spolu mícháno až do dosažení stejnoměrného barevného odstínu. K aplikaci bylo použito špachtle, kterou bylo nanášeno lepidlo jak na pěnu, tak na lepené jádro.

Po aplikování lepidla a přiložení jednotlivých substrátů byl celek sesvorkován za pomoci přípravku a to tak, aby nebylo poškozeno pěnové jádro. Po vytvrdnutí lepidla do manipulační pevnosti po 24 hodinách byl celek dotvrzen v peci, při teplotě 50 °C po dobu čtyř hodin.



Obr. 33 Polotovary po přilepení jádra

### 7.3.11 Dobroušení úchopové části

Následným krokem po dotvrzení bylo dodatečné dobroušení pěny v oblasti úchopu spolu se zabroušením a začištěním přetoků lepidla. Celý technologický krok odstraňování přetoků byl proveden ruční mikrobruskou s radiálním lamelovým kotoučem zrnitosti K 120. Mikrobruska byla použita taktéž při hrubování úchopové části. Následovalo broušení na



Obr. 34 Cepín po slepení (vlevo) a po dobroušení stojanové vrtače s následným ručním dobrušováním.

### 7.3.12 Laminování potahu

Po dobroušení pěny byl celý polotovar zalaminován do skelné punčochy. Byla zvolena punčocha průměru 25 mm, při orientaci vláken v úhlu 45°, hmotnost 14,20 g/mb (0,244 kg/m<sup>2</sup>), která bývá používána pro trubky od průměru 7-30 mm. Jako pryskyřice byl zvolen epoxidový systém užitý na výrobu jádra, a to pryskyřice LG 285 s tvrdidlem HG 353. S ohledem k relativně krátké době zpracovatelnosti, která v této kombinaci pryskyřice a tužidla činí padesát minut, bylo potřeba nejdříve jednotlivé vrstvy nachystat. Složky byly míchány v hmotnostním poměru 100:35, kde 100 dílů je hmotnost pryskyřice a 35 dílů je hmotnost tvrdidla. Jednotlivé složky byly odměřeny za pomoci laboratorních vah do kelímku a celá směs byla potom důkladně promíchána míchací tyčinkou a byla tak připravena na aplikaci.

## 8 ZKOUŠKA MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ CEPÍNU

### 8.1 Měření obsahu výztuže

Mezi zkoušky, které byly potřeba provést kvůli zjištění mechanických vlastností jádra, patřila zkouška pro zjištění obsahu výztuže v laminátu. Tato zkouška se provádí za pomoci pyrolýzy. Jedná se o fyzikálně-chemický děj, řadící se do relativně široké skupiny termických procesů. Termickými procesy jsou v praxi míněny technologie, které působí na vzorek teplotou, jež přesahuje mez jeho chemické stability.

V tomto případě byl vzorek o rozměrech 2,5x6 cm napřed zvážen na laboratorních vahách i s keramickou miskou. Poté byl vzorek umístěn do pece, ve které byl umístěn 1,5 hodiny při teplotě 550°C. Uvedený čas byl dostačující pro odpaření epoxidové pryskyřice. Následně byla po zchladnutí miska se vzorkem znovu převážena. Od výsledných hodnot byla odečtena hmotnost keramické misky. Výsledek byl dopočítán za pomoci trojčlenky.

$$o_v = \frac{m_2 \cdot 100}{m_1} \quad (1.4)$$

Kde:  $o_v$       Obsah výsledný [%]

$m_2$       Hmotnost vzorku po pyrolýze [g]

$m_1$       Hmotnost vzorku před pyrolýze [g]

Z výpočtu ze vzorce 1.4 je patrné, že po dosazení hodnoty 5,619g za  $m_2$  a hodnoty 8,567g za hodnotu  $m_1$  obsah skelné výztuže činí 65,97%, čehož by nebylo možné bez použití vakua.



Obr. 35 Vzorek před pyrolýzou (vlevo) a po pyrolýze

## 8.2 Zkouška tahem

Vyrobené jádro bylo podrobena standardní testovací metodě pro tahové vlastnosti kompozitní matrice polymerních materiálů. Podmínky testování vychází z mezinárodní normy ASTM D3039/D3039M. Dle této normy byly připraveny vzorky a následně použita metodika stanovuje výsledné mechanické vlastnosti jádra cepínu.

### 8.2.1 Podstata zkoušky

Zkušební těleso s laminátovými příložkami je sevřeno mezi kleštinami a je konstantní rychlostí zatěžováno v tahu tak dlouho, dokud nedojde k poruše, popřípadě pokud se nedosáhne předem dosahované hodnoty působící síly.

### 8.2.2 Příprava zkušebních těles

Napřed je nutno zkontrolovat několik základních kritérií u testovaného materiálu. Mezi kontrolované parametry patří kontrola tloušťky testovaného materiálu, která činí  $3,05 \pm 0,05$  mm. Dalším sledovaným parametrem je obsah výztuže v kompozitu. Toto kritérium bylo měřeno v kapitole 8.1. a obsah výztuže činí 65,97%. Se zřetelem na maximální využití materiálu byly připraveny dvě destičky o rozměrech

### 8.2.3 Příložky

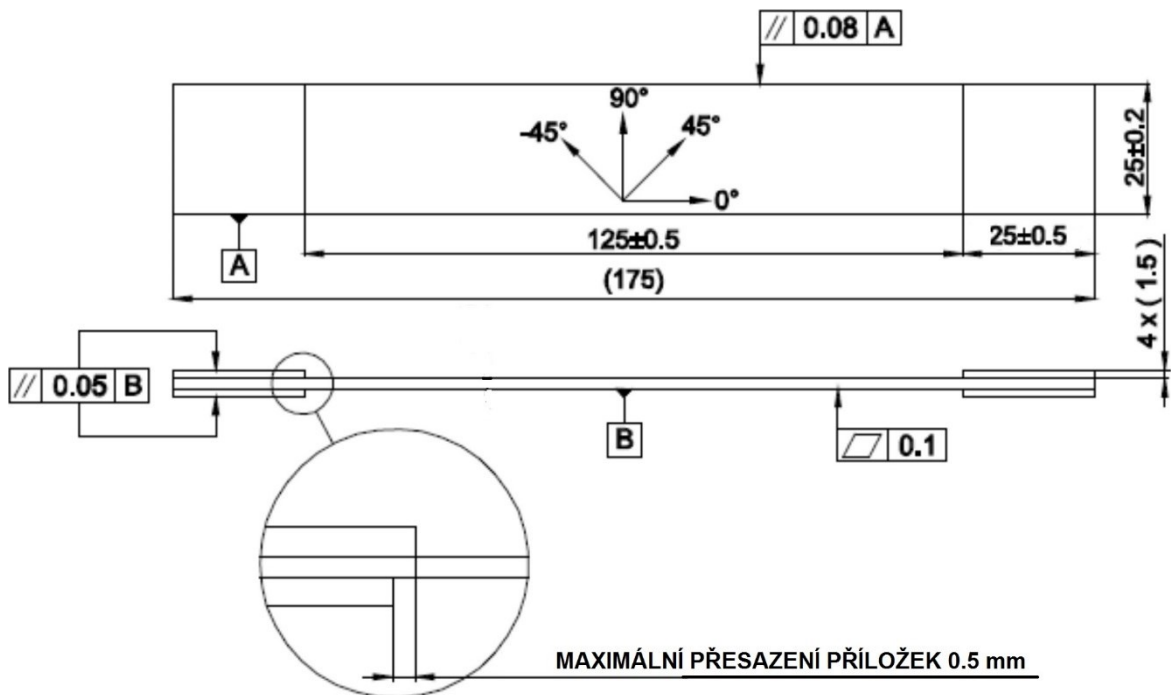
Úkolem příložek je zlepšení adheze vzorku v kleštích trhacího stroje. Jako příložky, byl dle mezinárodní normy ASTM D3039/D3039M použit skleněný laminát, který byl vyroben ze skleněné tkaniny keprové vazby a epoxidové pryskyřice. Výsledná tloušťka příložek dosahuje  $1,6 \pm 0,3$  mm. Příložky byly nařezány pod úhlem  $45^\circ$ .



Obr. 36 Laminátová příložka

### 8.2.4 Nařezání desky a příložek pro lepení

Vzorky byly nařezány na stolní kotoučové pile PK 250 A, jako řezný nástroj byl použit diamantový kotouč. Deska byla zaříznuta ze dvou protilehlých stran tak, aby vzdálenost napříč směru vláken byla  $175 \pm 0,5$  mm. Podél byla deska zaříznuta na rozměr  $150 \pm 2$  mm pro 5 zkušebních tělísek. Příložky byly dle normy nařezány na šířku  $25 -0/+0,5$  mm a délku  $175 \pm 5$  mm pro 5 tělísek. Na závěr byla šířka příložek ofrézována na  $25 \pm 0,2$  mm frézou Bosch GOF 2000 CE, s frézou průměru 8mm.

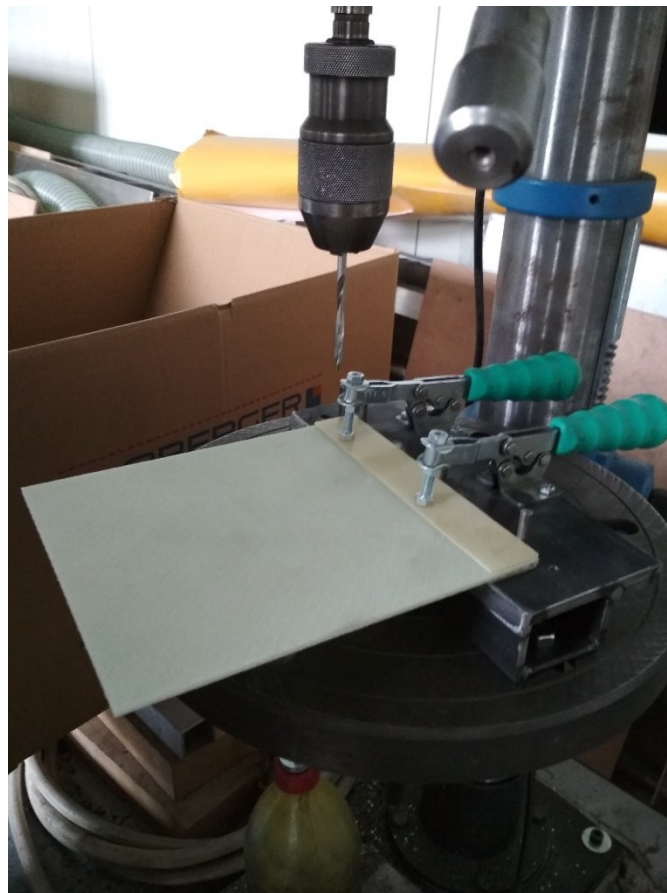


Obr. 37 Výkres příložky

### 8.2.5 Lepení příložek

Dalším krokem bylo zvrtnání příložek spolu se vzorkem, kvůli přesné poloze mezi jednotlivými substráty před lepením. Zvrtnávání probíhalo za pomoci přípravku na sloupové vrtačce.

Bezprostředně před lepením je nutno provést povrchovou úpravu. Napřed byl odmaštěn povrch desky i příložek pomocí izopropylalkoholu. Na lepené desce pomocí lihové fixy byla nakreslena ryska, která určovala konec příložek. Lepené plochy (jak lepená deska, tak příložka) byly obroušeny papírem zrnitosti K400. Lepená deska byla broušena pouze po rysku. Zdrsněný povrch je nutno zbavit prachu za pomoci vysavače a štětce. Pak byl celý povrch důkladně odmaštěn izopropylalkoholem.



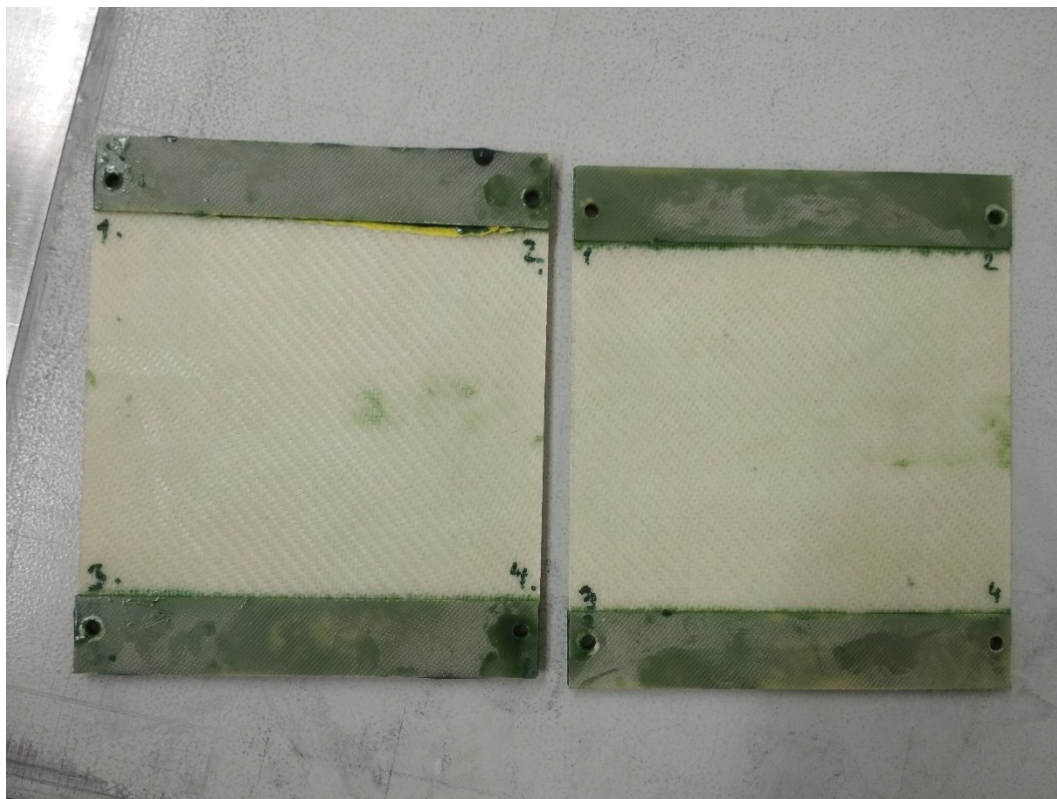
Obr. 38 Zvrtávání příložek se vzorkem

Dále je potřeba ochránit nelepené plochy, k tomuto účelu byla použita lepicí papírová páska, a to v místě kontaktu příložky a nelepené plochy. Vnější strana příložek byla také ošetřena papírovou lepicí páskou, aby styčná plocha nebyla kontaminována lepidlem.

Jednotlivé složky lepidla PL 20 byly zamíchány dle technického listu v poměru 100:40 a lepidlo bylo nanášeno rovnoměrně po obou lepených plochách. Deska byla poté ustavena a zafixována pomocí posuvných dorazů. Ustaveny byly i příložky a následně byly zafixovány závažím tak, aby rozteč mezi nimi byla  $125 \pm 0,5$  mm. Po 10 minutách, po vytlačení přebytku lepidla, byly přetoky setřeny a byla stržena papírová krycí páska. Příložky byly nechány

k vytvrzení den při pokojové teplotě. Druhý den byla deska otočena a bylo provedení zbylých příložek stejným způsobem.

Další den po lepení proběhlo odstranění zbývající papírové pásky z příložek a desky byly dotvrzeny v sušárně po dobu jedné hodiny při 100°C.



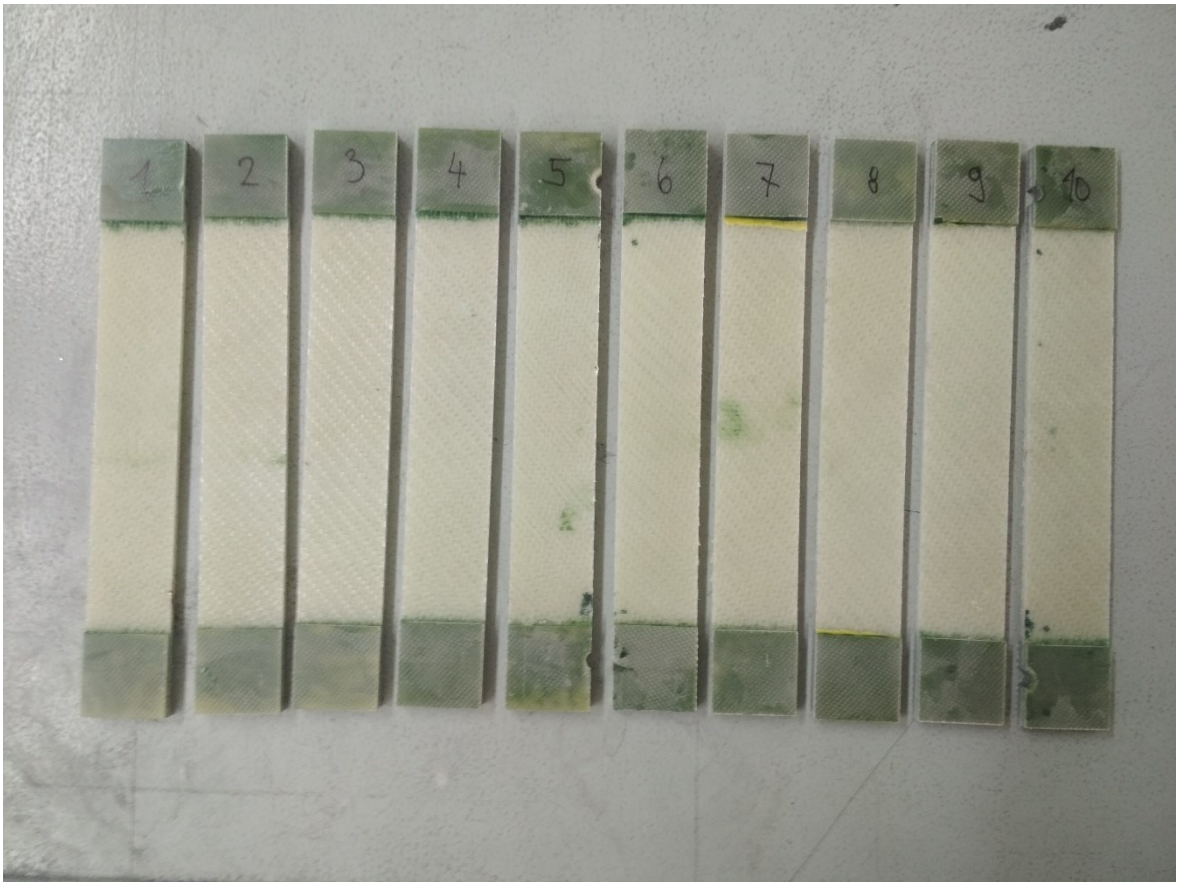
Obr. 39 Vzorky po nalepení příložek

### 8.2.6 Řezání a popis zkušebních vzorků dle výkresu

Nejdříve byly začištěny přetoky lepidla a potom byly desky rozřezány  $25,4 \pm 0,2$  mm na stolní kotoučové pile PK 250A s diamantovým kotoučem s rozměry  $\varnothing 150 \times 2,45$ . Hrany byly dokončeny frézováním na rozměr  $25 \pm 0,2$  mm. K frézování byla použita stolní frézka Bosch GOF 2000 CE, s frézou průměru 8 mm. Po nařezání a frézování byly čitelně popsány výrobním a pořadovým číslem.



U jednotlivých tělísek byla změřena tloušťka a šířka pomocí mikrometru ve třech bodech. Dále byla změřena rovnoběžnost pomocí úchytkoměru, a to na jednom tělísku z celé sady.



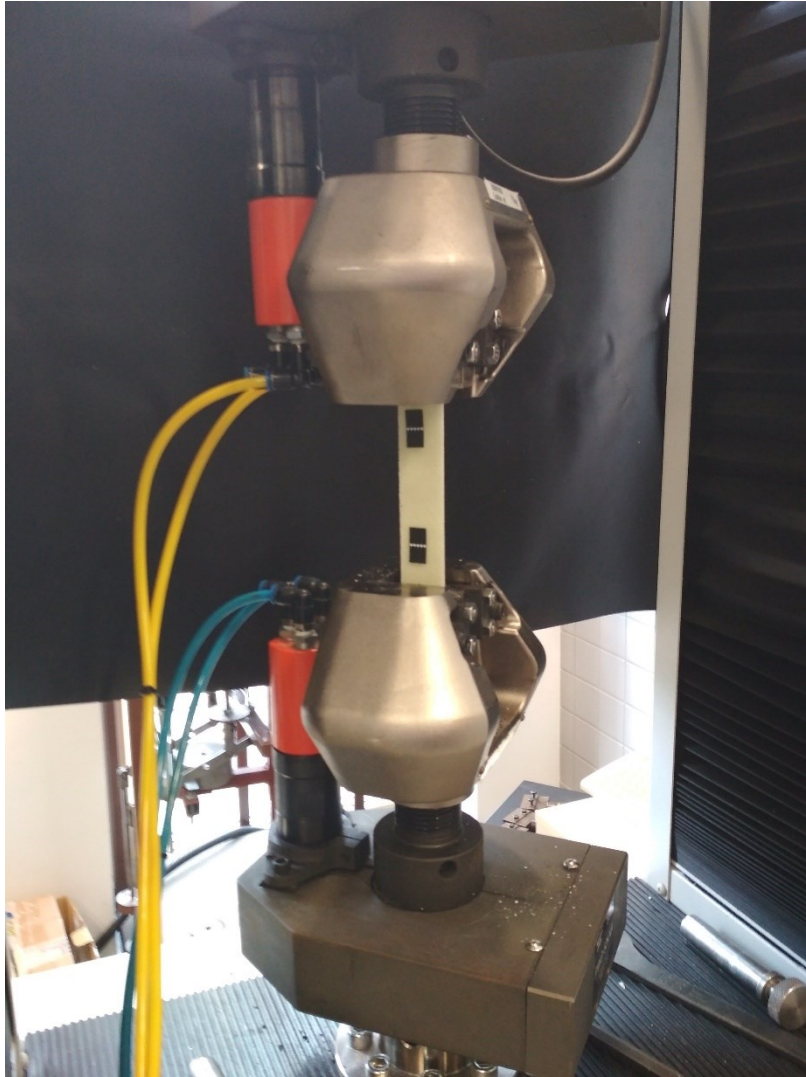
Obr. 40 Nařezané a označené vzorky

### 8.2.7 Postup měření

Před měřením byly vzorky ponechány v klimatizované místnosti při teplotě  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  po dobu 24 hodin. Před měřením bylo nutno změřit šířku a tloušťku tělíska ve 3 místech a potom vypočítán aritmetický průměr.

Nejprve byl změřen „slepý“ vzorek metodou Tah zkušební, a byla tak zjištěna maximální pevnost v tahu, která činila 443 MPa. Podle tohoto parametru byla následně zvolena pro měření dalších vzorků metoda Tah s průtahoměrem.

Vzorky byly upnuty do kleštin kolmo a v ose stroje tak, aby nepřečnívaly příložky. Stroj pokračuje až po destrukci vzorku, kdy je zaznamenávána pouze dráha příčnicku až do okamžiku, kdy síla klesne rázově o 80 %. V průběhu zkoušky je zaznamenávána velikost síly  $F$  v závislosti na natažení.



Obr. 41 Uchycení vzorku v čelistech trhacího stroje

### 8.2.8 Vyhodnocení tahové zkoušky

Z naměřených hodnot program vyhodnotí maximální pevnost v tahu a modul v tahu, vycházejících ze vzorců

$$F_{tu} = \frac{P_{MAX}}{(W \cdot H)} \quad (1.5)$$

Kde:  $F_{tu}$  maximální pevnost v tahu laminátu [MPa]

$P_{max}$  maximální síla před přetržením [N]

$W$  šířka vzorku [mm]

$H$  tloušťka vzorku [mm]

$$E_{tx} = \frac{\sigma_{tx0,3\%} - \sigma_{tx0,1\%}}{\varepsilon_{tx0,3\%} - \varepsilon_{tx0,1\%}} \quad (1.6)$$

Kde:  $E_{tx}$  modul v tahu laminátu [GPa]

$\sigma_{tx0,3\%}$  napětí v tahu při natažení 0,3% [MPa]

$\sigma_{tx0,1\%}$  napětí v tahu při natažení 0,1% [MPa]

$\varepsilon_{tx0,3\%}$  natažení 0,3%

$\varepsilon_{tx0,1\%}$  natažení 0,1%

Z naměřených hodnot uvedených v Tab. 2 je patrné že hodnoty naměřeného napětí dosahují hodnot od 404MPa do 436MPa. Modul pružnosti byl vlivem nepřesností s optickým průtahoměrem naměřen pouze tři krát.

Tab. 4 Naměřené hodnoty tahové zkoušky

	Max_Síla	Max_Síla	Max_Napětí
Parametry	Elastic	Plocha	Plocha
Jednotky	N/mm <sup>2</sup>	N	N/mm <sup>2</sup>
1	19081,7	28296,9	404,241
2	19184,3	30318,8	433,125
3	-	29318,8	418,839
4	22687,8	28073,4	401,049
5	-	30553,1	436,473
<b>Medián</b>	<b>19184,3</b>	<b>29318,8</b>	<b>418,839</b>

## 9 TESTOVÁNÍ VYROBENÉHO CEPÍNU

Stejnou metodikou, jako byly testovány ergonomické prototypy, byl testován vyrobený prototypový cepín. Pomocí úvazků nahrazujících opory byl cepín upevněn k příčnícům stroje Zwick 1456. Vzhledem k předpokládaným výsledkům byl za testovaný směr zvolen směr horizontální. Zkouška probíhala do úplné destrukce cepínu, maximální požadovanou hranicí bylo dle normy ČSN EN 13089+A1 síla 3470 N potřebná pro ohyb.



Obr. 42 Upevnění cepínu pomocí úvazků



Obr. 43 Deformovaný cepín po zkoušce

Z tabulky 5 jsou patrné výsledky ohybové zkoušky, při které došlo k deformaci cepínu při ohybové síle 2198 N v kombinaci s relativně velkým průhybem, který činil 24,8 mm. Vzhledem k předešlým měřením se nepodařilo naplnit očekávání, dle kterých se měla ohybová síla pohybovat na hranici 3000 N.

Tab. 5 Výsledky horizontálního směru zatěžování cepínu

Síla zatěžování	Prohnutí cepínu
N	mm
2198	24,8

## 10 ÚVAHA

S ohledem na dosažené výsledky a zkušenosti, které byly získány při návrhu a výrobě cepínu se nabízí několik optimalizací jednotlivých částí i procesů, které by vedly k lepším výsledkům, případně by zjednodušily výrobní proces.

### 10.1 Použití jiných materiálů

Vzhledem k dosaženým mechanickým vlastnostem skleněného vlákna, které bylo primárně použito kvůli nízké ceně, aby bylo dosaženo co nejnižších nákladů na výrobu prototypu, by bylo vhodnější využít aramidové vlákno, případně kombinaci těchto vláken. Aramidové kompozity vynikají velmi nízkou měrnou hmotností ve srovnání se skelnými i uhlíkovými kompozity. Aramid by navíc zaručoval díky své nízké průtažnosti a houževnatosti, že by v případě porušení cepínu nedošlo k jeho rozdělení na několik částí, ale zůstal by v jenom kuse, což by nenastalo při použití vlákna uhlíkového, které má taktéž nízkou měrnou hmotnost v kombinaci s vynikajícími mechanickými vlastnostmi, avšak je křehké. Nevýhodou využití aramidového kompozitu by byla hydrofobnost aramidového vlákna a vlákno by muselo být v každém kroku těsně před zpracováním dostatečně dosušeno v sušárně.

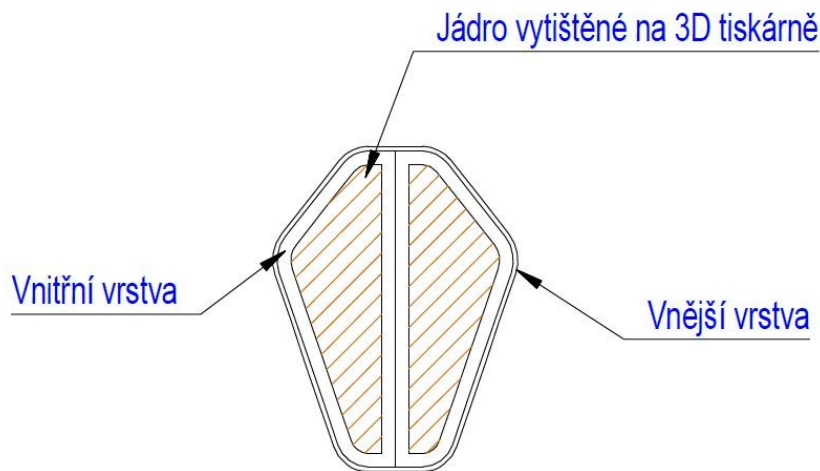
### 10.2 Základní deska

Vhodnější řešení by bylo použití desky, jak je výše uvedeno, z aramidového vlákna. Co se týče mechanických vlastností bylo by zlepšení dosaženo za použití desky lisované z prepregu, u které by byl zaručen nižší obsah pryskyřice a s tím spojen nižší obsah vzduchových bublin. Dalším případným řešením by bylo použití prepregové pásky šířky 30 mm, která by byla uložena do formy, ve tvaru těla cepínu. Tímto způsobem zpracování by nebyla potřeba výsledný tvar jádra následně pálit vodním paprskem a bylo by tím pádem zamezeno po kontaktu vláken s vodou a nebylo by nutno polotovary po vypálení dosušit. Stejně tak by nevznikal žádný odpad.

### 10.3 Pěna

Vzhledem ke komplikovanosti výsledného tvaru pěny a složitosti jejího opracování za pomoci přípravků by se jako snažší řešení jevílo opracování tvaru pěny na CNC stroji. Toto řešení by bylo efektivní, nicméně v rámci kusové výroby by výroba pěnového jádra byla velmi nákladná, oproti ceně samotné pěny, která činí jednotky korun.

Dalším možným řešením by byla konstrukční úprava, kdy by bylo pěnové jádro zcela vynecháno a toto jádro by pouze sloužilo jako forma pro navlečení punčoch. Toto jádro by mohlo být vytištěno na 3D tiskárně za pomoci ve vodě rozpustných materiálů, např. Polyvinylalkohol. Případně by jádro bylo odlito z vosku používaného ve slévárenství na výrobky vyráběné za pomoci technologie vytavitelného modelu. V tomto případě by však byla potřeba výroba přesné formy.

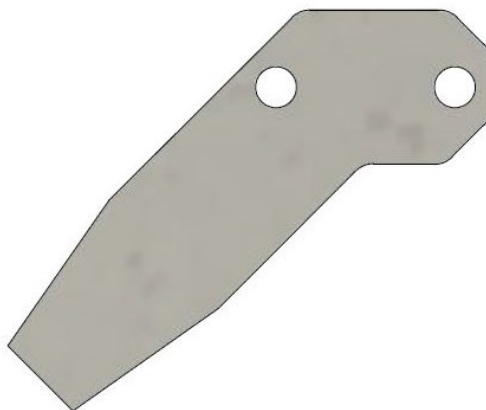


Obr. 44 Návrh složení cepínu při použití vytavitelného jádra

Na jádro by byly pak nataženy punčochy, tak jako při výrobě prototypu a byly by zalaminovány. Po vytvrzení by jádro bylo odstraněno buď namočením ve vodě, v případě použití PVA, případně by bylo vytaveno při dotvrzování v peci, při použití vytavitelných vosků.

## 10.4 Příložky

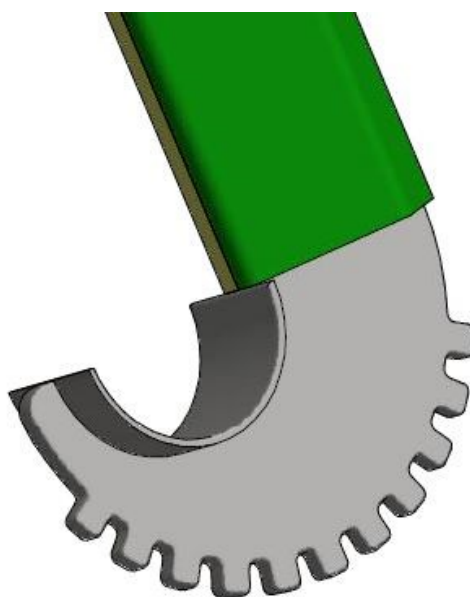
Geometrie příložek vyrobeného prototypu splňuje jak požadavky na tvar, tak na mechanické vlastnosti. V rámci odlehčení celého výrobku by však mohly být vyrobeny například z titanu. Tato úprava by byla velmi nákladná, kvůli vysokým cenám titanových polotovarů. Další úpravou, zlepšující umístění těžiště cepínu spolu se zvýšením koeficientu bezpečnosti by byla úprava příložek tak, aby byla lepená styčná plocha větší, zároveň by mohly být příložky pronýtovány k nosné desce.



Obr. 45 Upravená příložka

### 10.5 Změna designu cepínu

Na základě získaných zkušeností a dosažení výsledků by se jako optimální řešení jevila úprava designu cepínu, a to hned několika částí. První částí by byla úprava opěrné části, kde by došlo nahrazení komplikované opěrné části končící rovně ve směru topůrka. Opěrná část by byla nahrazena vlepěným plechem, který by měl tvar nynější opěrky, avšak jeho konec by byl zakončen hroty, případně zoubkováním, které by bránilo případnému poškození této části při pádu, či kontaktu se skálou. Případná síla mající vliv na deformaci této části by byla přenesena do lepeného spoje a těla, kde by byla utlumena. Jako opěrná část by sloužil plech, který by byl přivařen v horizontálním směru na plech s hrotem. Tento plech by měl vhodný rádius, aby do něj bylo možno opřít hřbet dlaně a získat tak jistý úchop cepínu.



Obr. 46 Úprava opěrné části



Další úpravou by bylo zploštění nynějšího bočního rádiusu. Tato úprava by dle předpokladů plnila funkci vyztužujícího prvku, který by zachoval výhody tohoto typu ergonomie a zároveň by byly zlepšeny mechanické vlastnosti celku.



Obr. 47 Upravený design cepínu

## 10.6 Cenová bilance výroby prototypu cepínu

Z Tab.3 jsou patrné náklady na výrobu prototypu cepínu. Cena je v závěru násobena koeficientem 1,3; který zohledňuje ztráty při výrobě, ať už se jedná o prořez materiálu, či o vyšší množství pryskyřice, kterou bylo nutno namíchat. V cenové bilanci nejsou zohledněny náklady na vynaloženou práci spolu s hodinovým fondem potřebným pro vývoj tohoto prototypu. Pokud by se jednalo o vyšší sérii, dalo by se předpokládat, že náklady na výrobu by rapidně klesly, a to vlivem menších cen materiálů, které subdodavatelé prodávají ve vyšším množství, stejně tak vlivem zefektivnění technologií použitých pro výrobu samotnou.

Tab. 6 Cenová bilance nákladů na výrobu prototypu

	Surovina	Cena za jednotku	Počet	Měrná jednotka	Reálná spotřeba	Reálná cena	
Ergonomický návrh	Pálení vodní paprsek překližka	503	3	ks	3,0	503	
	Extrudovaný polystyren	90	0,75	m <sup>2</sup>	0,1	10,08	
	Skelná punčocha průměr 25 mm	415	5	bm	3,2	265,6	
	Epoxidová pryskyřice LG 120	947	3	kg	0,045	14,344	
	Tužidlo HG 353	444	1	kg	0,016	7,0614	
Výroba prototypu	Skelná tkanina EE 390 T	829	10	m <sup>2</sup>	4,5	371,39	
	Epoxidová pryskyřice LG 120	947	3	kg	1,7	551,53	
	Tužidlo HG 353	444	1	kg	0,6	271,51	
	Pálení laser + vodní paprsek	981	12	ks	2,0	163,5	
	Skelná punčocha průměr 25 mm	415	5	bm	3,2	265,6	
	Extrudovaný polystyren	90	0,75	m <sup>2</sup>	0,03	3,36	
	Celková cena materiálu	-	-	-	-	2427	
	Koeficient spotřeby materiálu	-	-	-	1,3	3155,1	
	Spotřební materiál				230	3385,1	
	<b>Konečná cena prototypu [KČ]</b>						<b>3385,1</b>

## ZÁVĚR

V první části praktické části této diplomové práce byl proveden návrh ergonomie průřezu lezeckého cepínu určeného pro technické lezení. Byly vyrobeny tři prototypy za pomoci výpalků z překližky, extrudovaného polystyrenu a skelné punčochy v kombinaci s expoxidovou pryskyřicí, doporučenou pro výrobu lezeckých pomůcek. Poté byly jednotlivé prototypy testovány a porovnány, avšak vzhledem k dosaženým výsledkům byl navržen i čtvrtý typ průřezu, jehož návrh vycházel ze zkušeností, které byly získány při výrobě a testování prototypů.

Na základě vybraného profilu byl proveden návrh celého cepínu, včetně vhodných způsobů výroby jednotlivých komponent.

Třetí část této práce se věnuje popisu realizace návrhu lezeckého cepínu, jednotlivým úkonům, které bylo potřeba provést, a to od základní nosné části, výrobu ocelových příložek, ve kterých je následně uchycen hrot, po úpravu pěny, její lepení na základní tvar, kdy je celek zalaminován do skelných punčoch.

Další část seznamuje čtenáře se zkoušením mechanických vlastností nosného jádra, je provedena pyrolýza, ke zjištění objemu výztuže vůči pryskyřici a na předchystaných vzorcích u nichž je popsán postup jejich přípravy a následně provedena tahová zkouška. Po testování vzorků jádra cepínu byla realizovaná zkouška ohybem vyrobeného prototypu cepínu, vycházející z normy ČSN EN 13089+A1. Tato norma určuje testování cepínů a ostatních pomůcek podobného charakteru určených pro horolezce.

Závěrečná kapitola je věnována jednotlivým komponentům, jejich možným úpravám či změnám postupů při jejich výrobě, která by vedla k celkovému zefektivnění výroby cepínu či ke zvýšení mechanických vlastností, případně by snížila ekonomické náklady nutné pro jeho výrobu. Úplný závěr této diplomové práce je věnován kalkulaci, kterou je poukazováno na finanční náročnost celého projektu.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [2] EHRENSTEIN, Gottfried W. a R. P. THERIAULT. *Polymeric materials: structure, properties, applications*. Cincinnati, OH: Hanser Gardner Publications, 2001. ISBN 15-699-0310-7.
- [3] D. AGARWAL, Bhagwan, Lawrence J. BROUTMAN, Lubomír SODOMKA, Richard BAREŠ, Jan JAVORNICKÝ a Jaroslava ZEMÁNKOVÁ. *Vláknové kompozity*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [4] CHUNG, Deborah D.L. *Composite materials science and applications*. 2nd ed. London: Springer, 2010. ISBN 978-184-8828-315.
- [5] WANBERG, John. *Composite materials: fabrication handbook 2*. Stillwater, MN: Wolfgang Pub, 2010. ISBN 978-192-9133-932.
- [6] KOŘÍNEK, Zdeněk. Kompozity [online]. [cit. 2014-12-20]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/zkorinek>
- [7] HARPER, Charles A. *Handbook of plastics, elastomers, and composites*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c2002, xii, 884 p. ISBN 00-713-8476-6.
- [8] JANČÁŘ, Josef. ÚCHM FCH VUT BRNO. *Úvod do materiálového inženýrství kompozitů*. Brno, 1999.
- [9] MAŇAS, Lukáš. *Prototyp kompozitního podmotorového klínu pro motocykl*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015, 101 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/33654>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Rusnáková, Soňa.
- [10] SUCHÁČEK, Petr. *Vývoj technologie výroby kapoty lokomotivy technologií vakuové infuze*. Zlín, 2013. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.
- [11] ZAVADIL, Radek. *Využití kompozitních materiálů pro sportovní aplikace*. Zlín, 2014. Bakalářské práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing.

Soňa Rusnáková, Ph.D.

- [12] ZATLOUKAL, Roman. *Technologie výroby řadicí páky pro sportovní automobily*. Zlín, 2010. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.
- [13] ŠIŠKA, Miroslav. *Studium adheze uhlíkových kompozitů z tkaniny KORDCARBON*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 82 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/28673>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Rusnáková, Soňa.
- [14] BĚLAŠKA, Václav. *Návrh designu, volba materiálu a experimentální testování prototypu holenního chrániče*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015, 90 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/33656>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Rusnáková, Soňa.
- [15] MOTÁŇ, Filip. *Lisování uhlíkových kompozitů*. Zlín, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.
- [16] Kompozity. FSI VUT v Brně. [online]. [cit. 2012-11-18]. Dostupné z: <http://delta.fme.vutbr.cz/mikromechanika/kompozityA4.pdf>
- [17] HAHN, Filip. *Kompozity na bázi přírodních vláken* [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická, 2013 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/21464>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. Ústav chemie materiálů. Vedoucí práce Radek Přikryl.
- [18] *Thermoplastic Composites: A Technology on the Rise*. [Http://compositesmanufacturingmagazine.com](http://compositesmanufacturingmagazine.com) [online]. 2014 [cit. 2014-10-14]. Dostupné z: <http://compositesmanufacturingmagazine.com/2012/07/exponential-growth-expected-thermoplastic-composites/>
- [19] *Exponential Growth Expected for Thermoplastic Composites*. [Http://compositesmanufacturingmagazine.com](http://compositesmanufacturingmagazine.com) [online]. 2012 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://compositesmanufacturingmagazine.com/2012/07/exponential-growth-expected-thermoplastic-composites/>
- [20] *Aerospace and industrial composites: Now on divergent paths?* [online]. <https://www.compositesworld.com>, 0016n. 1. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z:

<https://www.compositesworld.com/articles/aerospace-and-industrial-composites-now-on-divergent-paths>

- [21] *A Natural Fit: Advances in Biobased Fibers* [online]. 2014 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://compositesmanufacturingmagazine.com/2014/10/advances-in-biobased-fibers-are-moving-the-green-composites-market-forward/>
- [22] *What is resin infusion (or vacuum infusion)?*. VACMOBILES.COM. [online]. [cit. 2013-02-17]. Dostupné z: [http://www.vacmobiles.com/resin\\_infusion.html](http://www.vacmobiles.com/resin_infusion.html)
- [23] Cepín [online]. 2010 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://horolezeckametodika.cz/ucebnice/vystroj-a-vyzbroj/cepin>
- [24] ČSN EN 13089+A1. *Horolezecká výzbroj – Nářadí do ledu – Bezpečnostní požadavky a metody zkoušení*. Praha: Český normalizační ústav, 2006.
- [25] PETZL NOMIC [online]. In: . [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.petzl.com/US/en/Sport/Ice-axes/NOMIC>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

HT	High-tensile
HM	High-modulus
RTM	Resin Transfer Moulding
F	Síla [N]
E	Modul pružnosti [MPa]
mm	Milimetr
μm	Mikrometr
Tg	Teplota skelného přechodu
MPa	Megapascal
g	Gram
m <sup>2</sup>	Metr čtverečný
kg	Kilogram
mb	Metr běžný

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Schéma ruční laminace [1] .....	13
Obr. 2 Schéma vakuové infuze [10] .....	14
Obr. 3 Schéma tváření v autoklávu [1] .....	16
Obr. 4 Schéma RTM [1] .....	17
Obr. 5 Schéma stříkání [12] .....	18
Obr. 6 Schéma pultruze [10] .....	19
Obr. 7 Výroba skleněných vláken [1] .....	24
Obr. 8 Výroba aramidového vlákna [1] .....	25
Obr. 9 Výroba uhlíkového vlákna z PAN-vláken [13] .....	27
Obr. 10 Uhlíkový kryt Škoda Fabia S2000 .....	34
Obr. 11 Lyže z uhlíkového kompozitu společnosti Elan .....	35
Obr. 12 popis jednotlivých částí cepínu .....	37
Obr. 13 Porovnání jednotlivých typů částí dle normy [24] .....	38
Obr. 14 Ukázka metodiky testování násady dle ČSN EN 13089+A1 [24] .....	38
Obr. 15 Cepín pro technické lezení Petzl Nomic .....	41
Obr. 16 Navržené geometrie cepínu .....	42
Obr. 17 Lepení ergonomických prototypů .....	43
Obr. 18 Vybroušené ergonomické prototypy – zleva typ A, B, C .....	43
Obr. 19 Ergonomické prototypy po zalaminování - zleva typ A, B, C .....	44
Obr. 20 Výsledná navržená geometrie průřezu .....	45
Obr. 21 Detail opěrného zobáčku .....	46
Obr. 22 Lepený spoj zatěžovaný smykem .....	47
Obr. 23 Schéma namáhání lepeného spoje .....	48
Obr. 24 Detail lepeného spoje .....	49
Obr. 25 Naseparovaná forma .....	50
Obr. 26 Pracoviště pro řezání výztuže .....	51
Obr. 27 Nalaminovaná nosná deska .....	52
Obr. 28 nosná deska před vakuováním .....	53
Obr. 29 Základní geometrie výpalku .....	54
Obr. 30 Příločky po opracování .....	55
Obr. 31 Spleené substráty .....	55
Obr. 32 Detail vybroušeného jádra .....	56



Obr. 33 Polotovar po přilepení jádra .....	57
Obr. 34 Cepín po slepení (vlevo) a po dobroušení .....	58
Obr. 35 Vzorek před pyrolýzou (vlevo) a po pyrolýze.....	59
Obr. 36 Laminátová příložka .....	60
Obr. 37 Výkres příložky .....	61
Obr. 38 Zvrtávání příložek se vzorkem .....	62
Obr. 39 Vzorky po nalepení příložek.....	63
Obr. 40 Nařezané a označené vzorky .....	64
Obr. 41 Uchycení vzorku v čelistech trhacího stroje.....	65
Obr. 42 Upevnění cepínu pomocí úvazků .....	67
Obr. 43 Deformovaný cepín po zkoušce .....	68
Obr. 44 Návrh složení cepínu při použití vytavitelného jádra.....	70
Obr. 45 Upravená příložka.....	71
Obr. 46 Úprava opěrné části .....	71
Obr. 47 Upravený design cepínu .....	72

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Porovnání vlastností skelných a přírodních vláken [1] .....	28
Tab. 2 Výsledky zkoušky ohybem prototypů .....	45
Tab. 3 Výsledky zkoušky ohybem prototypů .....	45
Tab. 4 Naměřené hodnoty tahové zkoušky.....	66
Tab. 5 Výsledky horizontálního.....	68
Tab. 6 Cenová bilance nákladů na výrobu prototypu .....	73

**SEZNAM PŘÍLOH**

Tato diplomová práce obsahuje několik technických listů jako přílohy. Jedná se o technické listy surovin, které byly použity při výrobě prototypu lezeckého cepínu.

Příloha I: TECHNICKÝ LIST LEPIDLA LETOXIT PL 20

Příloha P II: TECHNICKÝ LIST PRYSKYŘICE LG 115, LG 120, LG 150

Příloha P III: TECHNICKÝ LIST SEPARÁTORU DEMOULDNT 851

Verze: 4. července 2013

**Popis**

Letoxit PL 20 je dvousložkové, za pokojové teploty vytvrditelné pastovité epoxidové lepidlo o vysoké pevnosti. Je určeno pro lepení nejrůznějších kovových materiálů, voštin, vlákný vyztužených kompozitů, dřeva, pryže a skla. Je možné lepit tyto materiály i navzájem. Lepený spoj má velmi dobré mechanické vlastnosti v teplotním rozmezí  $-75^{\circ}\text{C}$  až  $+80^{\circ}\text{C}$ . Lepidlo obsahuje inhibitor koroze.

**Vzhled**

Složka A: tixotropní žlutá pasta  
Složka B: modrá až fialová kapalina

**Míchání**

Lepidlo se připravuje k aplikaci tak, že 100 hmotnostních dílů složky A a 40 hmotnostních dílů složky B se spolu míchá až do dosažení stejnoměrného odstínu. Je možno použít automatické míchací zařízení. Pro zaručení maximální pevnosti lepeného spoje je třeba dodržet přesnost u složky B v rozmezí  $\pm 5\%$ .

**Životnost směsi**

Vzhledem k exotermní reakci obou složek po zamíchání závisí životnost směsi na množství navážky, na teplotě směsi a na použité nádobě. Přibližně se dá říci, že životnost je:

pro 50g směsi při  $25^{\circ}\text{C}$  2 hodiny  
pro 100g směsi při  $25^{\circ}\text{C}$  1 hodinu

**Úprava povrchu**

Lepené povrchy materiálů musí být zbaveny všech mechanických nečistot a mastnot a musí být suché. Příprava povrchu lepených dílů zásadně ovlivňuje pevnost lepeného spoje. Pro některé materiály jsou doporučeny speciální úpravy povrchu.

**Nanášení lepidla**

Lepidlo nanášíte na oba lepené povrchy použitím špachtle, štětce nebo vytlačovací pistole. Optimální pevnosti lepeného spoje se dosáhne při tloušťce spáry 0,1-0,2 mm, tj. při aplikaci lepidla v množství ca.  $150\text{g}/\text{m}^2$ .

**Vytvrzování**

4 až 5 hodin po smíchání obou složek dochází při teplotě  $25^{\circ}\text{C}$  k vytvoření gelu a po 24 hodinách je možno s lepenými díly manipulovat. Po 4 až 5 dnech dosáhne lepidlo 90% konečné pevnosti. Plná pevnost je dosažena po 1 až 2 týdnech při pokojové teplotě. Vytvrzování může být urychleno zvýšením teploty. Plné pevnosti se pak dosáhne za 4 hodiny při vytvrzování za teploty  $50^{\circ}\text{C}$  nebo už za 1 hodinu při teplotě  $120^{\circ}\text{C}$ .

**Vlastnosti vytvrzeného slepeného spoje**

Pevnost ve smyku (při zatěžování tahem dle ČSN 66 8510):

teplota při zatěžování	pevnost
$-75^{\circ}\text{C}$	10-22 MPa
$+20^{\circ}\text{C}$	34-40 MPa
$+40^{\circ}\text{C}$	19-26 MPa
$+60^{\circ}\text{C}$	5-10 MPa
$+80^{\circ}\text{C}$	4-7 MPa

Pevnost v odlupování (podle ČSN 66 8516):

**5M**

Na Záhonech 1177  
688 04 KUNOVICE  
Česká republika

tel: +420 572 433 711  
fax: +420 572 433 700  
email: 5M@5M.cz

www.5M.cz  
LETOXIT® je registrovaná ochranná známka

## TECHNICKÝ LIST

+20°C

2-4 N/mm

**Balení**

Lepidlo je dodáváno v balení po 1,4 kg a v jeho násobcích. Složka A je balena v plechovkách nebo polyetylenových dózách, složka B ve polyetylenových lahvích v odpovídajícím poměru.

**Skladování**

Obě komponenty lepidla se skladují v uzavřených obalech v suchých skladech, odděleně od sebe, mimo přímé sluneční záření, při teplotě +10°C až +25°C. Při teplotě 20°C je životnost minimálně 1 rok.

**Bezpečnost při práci**

viz bezpečnostní list

**Výrobce a dodavatel**

5M s.r.o.  
Na Záhonech 1177  
686 04 Kunovice  
Czech Republic

**Letoxit®** je zapsaná ochranná známka společnosti 5M s.r.o.

**5M**

Na Záhonech 1177  
686 04 KUNOVICE  
Česká republika

tel: +420 572 433 711  
fax: +420 572 433 700  
email: 5M@5M.cz

www.5M.cz  
LETOXIT® je registrovaná ochranná známka

# PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST PRYSKYŘICE LG 115, LG 120, LG 150



## TECHNICKÝ LIST

Strana 1/3

Datum vydání: 09.01.2005

Datum revize: 12.11.2015

Verze: 3.0

Laminační pryskyřice

### LG 115, LG 120, LG 150

Tužidla HG 351, HG 353, HG 356, HG 357, HG 358, HG 359

## 1. Popis

Laminační pryskyřice LG 115	je standardní epoxid na bázi modifikované epoxidové pryskyřice typu bis. A a dvoufunkčního reaktivního ředidla.
Laminační pryskyřice LG 120	je nízkoviskózní varianta LG 115 se zvýšenou flexibilitou vytvářeného laminátu, na bázi modifikované epoxidové pryskyřice typu bis. A a dvoufunkčního reaktivního ředidla.
Laminační pryskyřice LG 150	je standardní pryskyřice nízké viskozity na bázi bisphenolu A. Viskozita: 1100 - 1300 mPas/s při 25°C. Při dlouhodobějším skladování pod 15°C může dojít ke zkrystalizování. Krystalizaci lze odstranit ohřevem na cca 40 – 50°C.
Tužidlo HG 351	je tužidlo s 15ti minutovou dobou zpracovatelnosti na bázi urychlené směsi polyaminů.
Tužidlo HG 353	je tužidlo s 50ti minutovou dobou zpracovatelnosti na bázi urychlené směsi polyaminů.
Tužidlo HG 356	je tužidlo s 2 až 3 hodinovou dobou zpracovatelnosti na bázi směsi polyaminů.
Tužidlo HG 357	je tužidlo s cca 4 hodinovou dobou zpracovatelnosti na bázi směsi polyaminů.
Tužidlo HG 358	je tužidlo s 5 až 6 hodinovou dobou zpracovatelnosti na bázi směsi polyaminů.
Tužidlo HG 359	je tužidlo s 6 až 8 hodinovou dobou zpracovatelnosti na bázi směsi polyaminů.

## 2. Použití

Používá se pro laminaci za zvýšené, ale i pokojové teploty, k přípravě komposit s dobrou tepelnou odolností a výbornými mechanickými vlastnostmi. Systém je předurčen k výrobě náročných kompozitních dílců jednoduchou technologií, např. ruční laminací za pokojové teploty. Systémy jsou použitelné pro všechny běžně používané výtuzje, jako jsou například skleněná, uhlíková nebo aramidová vlákna, sendvičové materiály atd.. Systém je kompatibilní se všemi běžnými polyesterovými gelcoaty a nátěrovými hmotami. Přesto doporučujeme jednotlivé kombinace nejprve předem vyzkoušet.

### 2.1 Pracovní postup

Se systémem doporučujeme pracovat v rozmezí teplot 15 – 30°C běžnými zpracovatelskými postupy pro výrobu kompozitů. Vlhkost vzduchu při zpracování by dlouhodobě neměla přesahovat 45-50% a krátkodobě 60%. To zamezí bělení povrchů laminátů vlivem působení vodních par.

## Laminační pryskyřice LG 115, LG 120, LG 150 + Tužidla HG 351, HG 353, HG 356, HG 357, HG 358, HG 359

### Vytvrzení:

Tento systém byl navržen tak, aby dostatečně vytvrzoval i při pokojové teplotě od 15 - 30°C, proto může být úspěšně zpracováván i při pokojové teplotě bez následného tepelného vytvrzení. Doba zpracovatelnosti je cca 15 minut až 8 hodin minut při pokojové teplotě. (Dle použitého typu tužidla)

Vytvrzováním při pokojové teplotě (cca 23°C) po dobu 48 hodin lze dosáhnout tepelného odporu až 50°C. Při vytvrzení za tepla lze dosáhnout teplotní odolnosti až 80 - 100°C.

Gel time: (nános do vrstvy 1 mm při různých teplotách)

LG 115, 120, 150	HG 351	HG 353	HG 356	HG 357	HG 358	HG 359
při 25°C	pod 1 hodinu	2 hodiny	cca 5-6 hodin	cca 6-8 hodin	cca 9-12 hodin	cca 14-16 hod.
při 50°C	15 minut	30 minut	1 hodina	70-80 minut	2hodiny	>2 hodiny

### Poměr míchání, pryskyřice + tužidlo:

	LG 115, LG 120, LG 150 + HG 351/HG 353/ HG 356/ HG 357/ HG 358/ HG 359
Složky váhové	100 : 35
Složení objemové	100 : 43

## 2.2 Technické parametry

Vlastnosti:		LG 115	LG 120	LG 150			
Hustota	g/cm <sup>3</sup> (25°C)	1,18 - 1,23	1,17 - 1,22	1,14 - 1,18			
Viskozita	mPa.s (25°C)	900 - 1200	700 - 900	1100 - 1500			
Ekvivalent epoxidu	Mol/kg	175 - 185	173 - 178	170 - 180			
Index epoxidu	-	0,55 - 0,57	0,56 - 0,58	0,55 - 0,56			
Barva	Gardner	max 3	max 3	max 3			
		HG 351	HG 353	HG 356	HG 357	HG 358	HG 359
Hustota	g/cm <sup>3</sup> (25°C)	0,98	0,96	0,97	0,96	0,97	0,98
Viskozita	mPa.s (25°C)	100 - 120	120 - 160	50 - 80	80-120	70-100	30-50
Vodíkový ekvivalent	-	62	62	62	60	60	60
Barva	Gardner	max 3	max 3	max 3	max 2	max 2	max 2

Podrobnosti pro zpracování:	LG 115	LG 120	LG 150	HG 351, 353, 356	HG 357, 358, 359
Průměrná hodnota epoxidu	0,56	0,57	0,56	-	-
Průměrný ekvivalent aminu	-	-	-	62	60

## 3. Skladování a balení

Pryskyřice mohou být skladovány po dobu nejméně 24 měsíců a tužidla 12 měsíců v pečlivě utěsněných kontejnerech. Při teplotách pod + 15°C mohou pryskyřice a tužidla zkrystalizovat. Krystalizace je patrná jako

**Laminační pryskyřice LG 115, LG 120, LG 150 + Tužidla HG 351, HG 353, HG 356, HG 357, HG 358, HG 359**

zamlžení či změna tekuté podoby obsahu kontejneru na pevnou. Před zpracováním se musí krystalizace zahřáním odstranit. Pomalu zahřejete až do přibližně 50 - 60°C ve vodní lázni nebo peci a mícháním či potřásáním uvedete obsah kontejneru do původního stavu bez jakékoli vady na kvalitě. Zpracovávejte pouze výrobky zcela jednotné barvy. Před zahřáním lehce kontejner otevřete, aby došlo k vyrovnání tlaku. Během zahřívání buďte opatrní. Nezahřívajte nad otevřeným ohněm! Při míchání používejte bezpečnostní pomůcky (rukavice, brýle, respirátor).

**4. Kontakt**

<b>Výrobce/Dovozce:</b>	GRM Systems s.r.o. Slatinky 158 783 42 Olomouc (Slatinice) CZECH REPUBLIC	Tel.: +420 585 431 734 Fax: +420 585 431 994 www.grm-systems.cz info@grm-systems.cz
<b>Technický servis:</b>	Zbyněk Gofroj	Tel.: +420 777 766 706 zbynek@grm-systems.cz

**Poznámka:**

Tento technický list byl vytvořen na základě našich nejnovějších poznatků a podle nejlepšího vědomí a svědomí. Jelikož nejsme schopni kontrolovat správnost použití našich výrobků, nemůžeme garantovat ani výsledky. Přesto jsme ochotni vždy konzultovat a poradit.



# PŘÍLOHA P III: TECHNICKÝ LIST SEPARÁTORU DEMOULANT 851



BUILDING TRUST



**Safety data sheet**  
according to 1907/2006/EC, Article 31

Page 1/8

Printing date 24.10.2016

Version number 20

Revision: 24.10.2016

## SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

- **1.1 Product identifier**
- **Trade name: DEMOULANT 851**
- **1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against**  
No further relevant information available.
- **1.3 Details of the supplier of the safety data sheet**
- **Manufacturer/Supplier:**  
AXSON FRANCE  
15 Rue de l'Équerre - F-95310 SAINT OUEN L'AUMONE  
Tél. +33 (0)1 34 40 34 60
- **Further information obtainable from:** DPT HSE - +33 (0)1 34 40 34 60 - [safety@axson.com](mailto:safety@axson.com)
- **1.4 Emergency telephone number:** ORFILA : +33 (0)1 45 42 59 59

## SECTION 2: Hazards identification

- **2.1 Classification of the substance or mixture**
- **Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008**  
Flam. Liq. 2      H225 Highly flammable liquid and vapour.  
Skin Irrit. 2      H315 Causes skin irritation.  
STOT SE 3      H336 May cause drowsiness or dizziness.  
Asp. Tox. 1      H304 May be fatal if swallowed and enters airways.  
Aquatic Chronic 2      H411 Toxic to aquatic life with long lasting effects.

- **2.2 Label elements**
- **Labelling according to Regulation (EC) No 1272/2008**  
The product is classified and labelled according to the CLP regulation.
- **Hazard pictograms**



GHS02 GHS07 GHS08 GHS09

- **Signal word** Danger
- **Hazard-determining components of labelling:**  
Naphtha (petroleum), hydrodesulfurized light dearomatized  
Hydrocarbons, C9-C10, n-alkanes, isoalkanes, cyclics, <2% aromatics
- **Hazard statements**  
H225 Highly flammable liquid and vapour.  
H315 Causes skin irritation.  
H336 May cause drowsiness or dizziness.  
H304 May be fatal if swallowed and enters airways.  
H411 Toxic to aquatic life with long lasting effects.
- **Precautionary statements**  
P210      Keep away from heat/sparks/open flames/hot surfaces. No smoking.  
P241      Use explosion-proof electrical/ventilating/lighting equipment.  
P261      Avoid breathing dust/fume/gas/mist/vapours/spray.  
P301+P310      IF SWALLOWED: Immediately call a POISON CENTER/ doctor.  
P303+P361+P353      IF ON SKIN (or hair): Remove/Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/shower.

(Contd. on page 2)

en

Trade name: **DEMOULANT 851**

P501

Dispose of contents/container in accordance with local/regional/national/international regulations.

(Contd. of page 1)

**SECTION 3: Composition/information on ingredients****3.2 Chemical characterisation: Mixtures**

Description: Mixture of substances listed below with nonhazardous additions.

**Dangerous components:**

CAS: 92045-53-9 EINECS: 295-434-2	Naphtha (petroleum), hydrodesulfurized light dearomatized Flam. Liq. 2, H225; Asp. Tox. 1, H304; Aquatic Chronic 2, H411; Skin Irrit. 2, H315; STOT SE 3, H336	50-100%
EC number: 927-241-2 Reg.nr.: 01-2119471843-32	Hydrocarbons, C9-C10, n-alkanes, isoalkanes, cyclics, <2% aromatics Flam. Liq. 3, H226; Asp. Tox. 1, H304; STOT SE 3, H336; Aquatic Chronic 3, H412	2.5-10%
EC number: 918-481-9 Reg.nr.: 01-2119457273-39	Hydrocarbons, C10-C13, n-alkanes, isoalkanes, cyclics, < 2% aromatics Asp. Tox. 1, H304	≤ 5.0%
CAS: 1330-20-7 EINECS: 215-535-7 Reg.nr.: 01-2119488216-32	xylene (mix) Flam. Liq. 3, H226; Acute Tox. 4, H312; Acute Tox. 4, H332; Skin Irrit. 2, H315	≤ 1.0%
CAS: 100-41-4 EINECS: 202-849-4 Reg.nr.: 01-2119489370-35	ethylbenzene Flam. Liq. 2, H225; STOT RE 2, H373; Asp. Tox. 1, H304; Acute Tox. 4, H332	≤ 0.3%

**SECTION 4: First aid measures****4.1 Description of first aid measures**

- After inhalation: Supply fresh air; consult doctor in case of complaints.
- After skin contact: Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly.
- After eye contact: Rinse opened eye for several minutes under running water.
- After swallowing: Do not induce vomiting; call for medical help immediately.
- 4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed No further relevant information available.
- Hazards Danger of pulmonary oedema.
- 4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed  
If swallowed or in case of vomiting, danger of entering the lungs.

**SECTION 5: Firefighting measures****5.1 Extinguishing media****Suitable extinguishing agents:**

- CO<sub>2</sub>, powder or water spray. Fight larger fires with water spray or alcohol resistant foam.
- For safety reasons unsuitable extinguishing agents: Water with full jet
- 5.2 Special hazards arising from the substance or mixture No further relevant information available.
- 5.3 Advice for firefighters
- Protective equipment: Wear self-contained respiratory protective device.
- Additional information  
Cool endangered receptacles with water spray.

(Contd. on page 3)

cn

4 page 2/10

**Safety data sheet**  
according to 1907/2006/EC, Article 31

Printing date 24.10.2016

Version number 20

Revision: 24.10.2016

**Trade name: DEMOULANT 851**

(Contd. of page 2)

Dispose of fire debris and contaminated fire fighting water in accordance with official regulations.

**SECTION 6: Accidental release measures**

- **6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures**  
Wear protective equipment. Keep unprotected persons away.
- **6.2 Environmental precautions:** Prevent seepage into sewage system, workpits and cellars.
- **6.3 Methods and material for containment and cleaning up:**  
Absorb with liquid-binding material (sand, diatomite, acid binders, universal binders, sawdust).  
Dispose contaminated material as waste according to item 13.
- **6.4 Reference to other sections**  
See Section 7 for information on safe handling.  
See Section 8 for information on personal protection equipment.  
See Section 13 for disposal information.

**SECTION 7: Handling and storage**

- **7.1 Precautions for safe handling** Ensure good ventilation/exhaustion at the workplace.
- **Information about fire - and explosion protection:**  
Keep ignition sources away - Do not smoke.  
Protect against electrostatic charges.
- **7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities**
- **Storage:**
  - **Requirements to be met by storerooms and receptacles:** Store in a cool location.
  - **Information about storage in one common storage facility:** Store away from foodstuffs.
  - **Further information about storage conditions:** Keep receptacle tightly sealed.
- **7.3 Specific end use(s)** No further relevant information available.

**SECTION 8: Exposure controls/personal protection**

- **Additional information about design of technical facilities:** No further data; see item 7.
- **8.1 Control parameters**
- **Ingredients with limit values that require monitoring at the workplace:**  
The product does not contain any relevant quantities of materials with critical values that have to be monitored at the workplace.
- **Additional information:** The lists valid during the making were used as basis.
- **8.2 Exposure controls**
- **Personal protective equipment:**
- **General protective and hygienic measures:**  
The usual precautionary measures are to be adhered to when handling chemicals.  
Immediately remove all soiled and contaminated clothing  
Wash hands before breaks and at the end of work.  
Avoid contact with the skin.  
Avoid contact with the eyes and skin.
- **Respiratory protection:**  
Short term filter device:



Filter A2 (organic vapours)

(Contd. on page 4)

**Safety data sheet**  
according to 1907/2006/EC, Article 31

Printing date 24.10.2016

Version number 20

Revision: 24.10.2016

Trade name: DEMOULANT 851

(Contd. of page 3)

**Protection of hands:**

Avoid direct contact with the chemical/ the product/ the preparation by organisational measures.



Protective gloves

The glove material has to be impermeable and resistant to the product/ the substance/ the preparation.

Selection of the glove material on consideration of the penetration times, rates of diffusion and the degradation

**Material of gloves**

Nitrile rubber, NBR

Neoprene gloves

The selection of the suitable gloves does not only depend on the material, but also on further marks of quality and varies from manufacturer to manufacturer. As the product is a preparation of several substances, the resistance of the glove material can not be calculated in advance and has therefore to be checked prior to the application.

**Penetration time of glove material**

The exact break through time has to be found out by the manufacturer of the protective gloves and has to be observed.

**Eye protection:**

Safety glasses

Tightly sealed goggles

**Body protection:** Protective work clothing**SECTION 9: Physical and chemical properties****9.1 Information on basic physical and chemical properties****General Information****Appearance:**

<b>Form:</b>	Fluid
<b>Colour:</b>	Whitish
<b>Odour:</b>	Mineral-oil-like

**Change in condition****Boiling point/Boiling range:** > 45 °C**Flash point:** -4 °C**Self-igniting:** Product is not selfigniting.**Danger of explosion:** Product is not explosive. However, formation of explosive air/vapour mixtures are possible.**Vapour pressure at 50 °C:** < 110 kPa**Density at 20 °C:** 0.76 g/cm<sup>3</sup>**Solubility in / Miscibility with water:**

Not miscible or difficult to mix.

**organic solvents:** Miscible with many organic solvents.**Solvent content:****Organic solvents:** 636.72 g/litre (84%)

(Contd. on page 5)

**Safety data sheet**  
according to 1907/2006/EC, Article 31

Printing date 24.10.2016

Version number 20

Revision: 24.10.2016

Trade name: DEMOULANT 851

- 9.2 Other information No further relevant information available.

(Contd. of page 4)

**SECTION 10: Stability and reactivity**

- 10.1 Reactivity No further relevant information available.
- 10.2 Chemical stability
- Thermal decomposition / conditions to be avoided: No decomposition if used according to specifications.
- 10.3 Possibility of hazardous reactions Reacts with oxidising agents.
- 10.4 Conditions to avoid No further relevant information available.
- 10.5 Incompatible materials: No further relevant information available.
- 10.6 Hazardous decomposition products: No dangerous decomposition products known.

**SECTION 11: Toxicological information**

- 11.1 Information on toxicological effects
- Acute toxicity Based on available data, the classification criteria are not met.
- Primary irritant effect:
- Skin corrosion/irritation  
Frequent contacts may destroy the skin natural protection.  
Causes skin irritation.
- Serious eye damage/irritation Based on available data, the classification criteria are not met.
- Respiratory or skin sensitisation Based on available data, the classification criteria are not met.
- CMR effects (carcinogenicity, mutagenicity and toxicity for reproduction)
- Germ cell mutagenicity Based on available data, the classification criteria are not met.
- Carcinogenicity Based on available data, the classification criteria are not met.
- Reproductive toxicity Based on available data, the classification criteria are not met.
- STOT-single exposure  
May cause drowsiness or dizziness.
- STOT-repeated exposure Based on available data, the classification criteria are not met.
- Aspiration hazard  
May be fatal if swallowed and enters airways.

**SECTION 12: Ecological information**

- 12.1 Toxicity
- Aquatic toxicity: No further relevant information available.
- 12.2 Persistence and degradability No further relevant information available.
- Other information: The product is not easily biodegradable.
- 12.3 Bioaccumulative potential No further relevant information available.
- 12.4 Mobility in soil No further relevant information available.
- Ecotoxicological effects:
- Remark: Toxic for fish
- Additional ecological information:
- General notes: Toxic for aquatic organisms
- 12.5 Results of PBT and vPvB assessment
- PBT: Not applicable.
- vPvB: Not applicable.
- 12.6 Other adverse effects No further relevant information available.

(Contd. on page 6)

**Safety data sheet**  
according to 1907/2006/EC, Article 31

Printing date 24.10.2016

Version number 20

Revision: 24.10.2016

Trade name: DEMOULANT 851

(Contd. of page 5)

**SECTION 13: Disposal considerations****- 13.1 Waste treatment methods****- Recommendation**

Dispose of the product by burning in a suitable incinerator or bury in an approved landfill following all applicable local and/or national regulations.

**- Uncleaned packaging:****- Recommendation:**

Empty containers may not be disposed of unless any remaining material adhering to the internal walls has been removed.

Disposal must be made according to official regulations.

**SECTION 14: Transport information****- 14.1 UN-Number****- ADR, IMDG, IATA**

UN1993

**- 14.2 UN proper shipping name****- ADR**

1993 FLAMMABLE LIQUID, N.O.S. (vapour pressure at 50 °C not more than 110 kPa) (Hydrocarbons, C9-C10, n-alkanes, isoalkanes, cyclics, <2% aromatics), ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS

**- IMDG**

FLAMMABLE LIQUID, N.O.S. (Hydrocarbons, C9-C10, n-alkanes, isoalkanes, cyclics, <2% aromatics), MARINE POLLUTANT

**- IATA**

FLAMMABLE LIQUID, N.O.S. (Hydrocarbons, C9-C10, n-alkanes, isoalkanes, cyclics, <2% aromatics)

**- 14.3 Transport hazard class(es)****- ADR, IMDG****- Class**

3 Flammable liquids.

**- Label**

3

**- IATA****- Class**

3 Flammable liquids.

**- Label**

3

**- 14.4 Packing group****- ADR, IMDG, IATA**

II

**- 14.5 Environmental hazards:**

Product contains environmentally hazardous substances: Naphtha (petroleum), hydrodesulfurized light dearomatized  
Yes

**- Marine pollutant:**

Symbol (fish and tree)

**- Special marking (ADR):**

Symbol (fish and tree)

**- 14.6 Special precautions for user**

Warning: Flammable liquids.

**- Danger code (Kemler):**

33

(Contd. on page 7)

GH

**Safety data sheet**  
according to 1907/2006/EC, Article 31

Printing date 24.10.2016

Version number 20

Revision: 24.10.2016

**Trade name: DEMOULANT 851**

(Contd. of page 6)

- EMS Number:	F-E, <u>S-E</u>
- Stowage Category	B
- 14.7 Transport in bulk according to Annex II of Marpol and the IBC Code	Not applicable.
- Transport/Additional information:	
-----	
- ADR	
- Limited quantities (LQ)	1L
- Excepted quantities (EQ)	Code: E2 Maximum net quantity per inner packaging: 30 ml Maximum net quantity per outer packaging: 500 ml
- Transport category	2
- Tunnel restriction code	D/E
-----	
- IMDG	
- Limited quantities (LQ)	1L
- Excepted quantities (EQ)	Code: E2 Maximum net quantity per inner packaging: 30 ml Maximum net quantity per outer packaging: 500 ml
- UN "Model Regulation":	UN 1993 FLAMMABLE LIQUID, N.O.S. (VAPOUR PRESSURE AT 50 °C NOT MORE THAN 110 KPA) (HYDROCARBONS, C9-C10, N-ALKANES, ISOALKANES, CYCLICS, <2% AROMATICS), 3, II, ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS

**SECTION 15: Regulatory information**

- 15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture
- Directive 2012/18/EU
- Named dangerous substances - ANNEX I None of the ingredients is listed.
- Seveso category  
E2 Hazardous to the Aquatic Environment  
P5c FLAMMABLE LIQUIDS
- Qualifying quantity (tonnes) for the application of lower-tier requirements 200 t
- Qualifying quantity (tonnes) for the application of upper-tier requirements 500 t
- REGULATION (EC) No 1907/2006 ANNEX XVII Conditions of restriction: 3
- National regulations:
- Waterhazard class: Water hazard class 2 (Self-assessment): hazardous for water.
- 15.2 Chemical safety assessment: A Chemical Safety Assessment has not been carried out.

**SECTION 16: Other information**

This information is based on our present knowledge. However, this shall not constitute a guarantee for any specific product features and shall not establish a legally valid contractual relationship.

- Relevant phrases  
H225 Highly flammable liquid and vapour.  
H226 Flammable liquid and vapour.  
H304 May be fatal if swallowed and enters airways.  
H312 Harmful in contact with skin.  
H315 Causes skin irritation.  
H332 Harmful if inhaled.

(Contd. on page 8)

GN

**Safety data sheet**  
according to 1907/2006/EC, Article 31

Printing date 24.10.2016

Version number 20

Revision: 24.10.2016

**Trade name: DEMOULANT 851**

(Contd. of page 7)

*H336 May cause drowsiness or dizziness.*

*H373 May cause damage to organs through prolonged or repeated exposure.*

*H411 Toxic to aquatic life with long lasting effects.*

*H412 Harmful to aquatic life with long lasting effects.*

**Abbreviations and acronyms:**

*ADR: Accord européen sur le transport des marchandises dangereuses par Route (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road)*

*IMDG: International Maritime Code for Dangerous Goods*

*IATA: International Air Transport Association*

*GHS: Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals*

*EINECS: European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances*

*ELINCS: European List of Notified Chemical Substances*

*CAS: Chemical Abstracts Service (division of the American Chemical Society)*

*PBT: Persistent, Bioaccumulative and Toxic*

*vPvB: very Persistent and very Bioaccumulative*

*Flam. Liq. 2: Flammable liquids – Category 2*

*Flam. Liq. 3: Flammable liquids – Category 3*

*Acute Tox. 4: Acute toxicity – Category 4*

*Skin Irrit. 2: Skin corrosion/irritation – Category 2*

*STOT SE 3: Specific target organ toxicity (single exposure) – Category 3*

*STOT RE 2: Specific target organ toxicity (repeated exposure) – Category 2*

*Asp. Tox. 1: Aspiration hazard – Category 1*

*Aquatic Chronic 2: Hazardous to the aquatic environment - long-term aquatic hazard – Category 2*

*Aquatic Chronic 3: Hazardous to the aquatic environment - long-term aquatic hazard – Category 3*

**\* Data compared to the previous version altered.**

cm