

Lisování kompozitních dílů pro malosériovou výrobu

Josef Jandouš

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Josef Jandouš**

Osobní číslo: **T21058**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **Prezenční**

Téma práce: **Lisování kompozitních dílů pro malosériovou výrobu**

Zásady pro vypracování

1. Literární rešerše na problematiku lisování kompozitních materiálů, rozdělení, výroba a využití ve strojírenství.
2. Popis aktuální situace využití kompozitů pro výrobu pohledových a strukturálních dílů.
3. Zrealizujte experimentální výrobu zvolené kompozitní aplikace, návrh materiálové skladby, volba technologických podmínek.
4. Zhodnocení kvality dosaženého povrchu, ověření funkčnosti a návrh technologického postupu výroby pro danou aplikaci.
5. Závěr.

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

EHRENSTEIN G. W.: Polymerní kompozitní materiály, Praha, SCIENTIA v Prahe, 351s, 2009, ISBN 978-80-86960-29-6.

LIPTÁKOVÁ, T.: Polymérne konštrukčné materiály. University of Žilina, Žilina, 189 s, 2012, ISBN 978-80-554-0505-6.

STRONG, A., B.: Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods, and Application, Society of Manufacturing Engineers, 1989.

SRINIVASAN, K.: Composite Materials: Production, Properties, Testing and Applications, Alpha Science International Limited, 2009, ISBN 1842654918, 9781842654910.

ŠUBA, O.: Mechanika polymerů a kompozitů, Zlín, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, ISBN 978-80-7454-015-8.

ŠUBA, O.: Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů. Vyd. 3. Zlín, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010, 112 s., ISBN 978-80-7318-948-8.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 4. března 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zaměřuje na základní malosériovou nebo kusovou výrobu kompozitních materiálů. V teoretické části popisuje základní kompozitní materiály, jejich vlastnosti a způsoby výroby. Dále jejich použití v různých průmyslových odvětvích jako je strojírenství, automobilový průmysl a stavebnictví. V praktické části popisuje návrh formy v programu Inventor na 3D tisk a experimentální výrobu kompozitního výrobku pomocí lisování.

Klíčová slova: kompozity, lisování, uhlíková vlákna, 3D tisk

ABSTRACT

The bachelor thesis focuses on basics of small batch or piece production of composite materials. The theoretical part describes the basics composite materials, their properties and production methods. Furthermore, their application in various industries such as engineering, automotive and construction. In the practical part, it describes the design of a mould in Inventor for 3D printing and experimental production of a composite product by moulding.

Keywords: composites, pressure molding, carbon fibers, 3D printing

Poděkování

Děkuji mé vedoucí bakalářské práce, doc. Ing. Soně Rusnákové, Ph.D., za věcné rady a odbornou pomoc při zpracovávání celé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat celé své rodině za podporu při vysokoškolském studiu.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	11
1.1 DEFINICE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ.....	11
1.2 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	11
1.2.1 Matrice	11
1.2.2 Polymerní matrice	12
1.2.3 Keramické matrice	12
1.2.4 Kovové matrice	13
1.2.5 Výztuže	13
1.2.6 Částicové výztuže.....	14
1.2.7 Vláknové výztuže.....	15
1.2.8 Prepregy	16
1.3 MATERIÁLY KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	17
1.3.1 Skleněná vlákna	17
1.3.2 Aramidová (polyamidová, nylonová) vlákna.....	19
1.3.3 Uhlíková (karbonová) vlákna.....	20
1.3.4 Organická vlákna	21
1.3.5 Hybridní vlákna.....	22
1.4 ZPŮSOBY SKLADBY VLÁKEN (VAZEB) KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	22
2 VÝROBA FOREM, JAKÉ FORMY POUŽÍVÁME NA VÝROBU KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	25
2.1 MATERIÁLY FOREM.....	25
3 ZPŮSOBY VÝROBY KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	26
3.1 RUČNÍ LAMINACE	26
3.2 STŘÍKÁNÍ / SPRAY-UP	27
3.3 LISOVÁNÍ ZA STUDENA	27
3.4 LISOVÁNÍ POMOCÍ VAKUA	28
3.5 LISOVÁNÍ V AUTOKLÁVU	29
3.6 LISOVÁNÍ ZA TEPLA A TLAKU (SMC)	29
3.7 DALŠÍ ZPŮSOBY VÝROBY KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	30
4 VYUŽITÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	31
4.1 VYUŽITÍ VE STROJÍRENSTVÍ.....	31
4.1.1 Automobilový průmysl	31
4.1.2 Letecký průmysl.....	32

4.2	VYUŽITÍ VE STAVEBNICTVÍ.....	33
4.3	SPORTOVNÍ PRŮMYSL	33
4.4	VOJENSKÝ PRŮMYSL	34
4.5	MEDICÍNSKÉ APLIKACE	34
4.6	RECYKLACE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ A DOPADY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	35
4.6.1	Recyklace	35
4.6.2	Životní prostředí a udržitelné materiály	36
II	PRAKTICKÁ ČÁST	37
5	CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	38
6	VÝROBA A MODEL FORMY.....	39
6.1	ZKUŠEBNÍ FORMA.....	39
6.2	FORMA ŘADIČKY	41
6.2.1	Modelování a měření rozměrů	41
6.2.2	Tvorba modelu	42
6.2.3	Použitý materiál	43
6.2.4	3D tiskárna	43
6.2.5	Výroba formy	44
6.2.6	Dokončování formy a příprava na lisování	44
6.2.7	Lisování výrobku	45
6.2.8	Lisování výrobku	45
6.2.9	Post processing výrobku	46
6.2.10	Kvalitativní posouzení stavu výrobku.....	47
6.2.11	Použitelnost formy pro další výroby	48
	KONKRÉTNÍ APLIKACE LISOVÁNÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	50
6.3	TISKÁRNA KONKRÉTNÍ APLIKACE.....	50
6.4	MOŽNOST JINÉHO MATERIÁLŮ FORMY	50
6.5	VÝPOČET CENY MATERIÁLU	50
6.6	KONKURENCESCHOPNOST NA TRHU	51
	ZÁVĚR	52
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	52
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	56
	SEZNAM TABULEK.....	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ	58
	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

ÚVOD

Kompozitní materiály jsou v dnešní době všude okolo nás, ve veškerých odvětvích a průmyslech. Můžeme se s nimi setkat přes strojírenství, stavebnictví, automobilový průmysl, až po medicínské aplikace. Kompozitní materiály jsou využívány na takto vysoké úrovni hlavně z důvodu využití dobrých samostatných vlastností dvou materiálů a jejich propojení mezi sebou a tím vytvoření jednoho materiálu s velmi dobrou pevností a odolností.

Kompozitní materiály se vyrábí množstvím různých metod, ale nejstaršími a nejpoužívanějšími jsou lisování a ruční laminace. Kde poměrně velkou část ceny tvoří formy na samotné lisování. Pro náš experiment byla zvolena metoda 3D tištěné formy, kde je její cena řádově nižší.

Kromě technologií vhodných pro malosériovou výrobu a prototypovou výrobu se v dnešní době začal prosazovat 3D tisk. Jedná se o nanášení tenkých jednotlivých vrstev převážně polymerního materiálu (ale už i kovových slitin) na sebe a díky tomu vytvoření samotného modelu.

Teoretická část nám popisuje rozdělení jednotlivých materiálů, jejich vlastnosti a použití a výrobu forem pro výrobu kompozitu.

Praktická část je zaměřena již na samotné modelování, nejprve zkušební formy pro lisování, aby se zjistily možnosti pro další dokončování výrobku a poté výroba samotné formy pro daný výrobek. Dále popisuje výrobu a dokončovací proces výrobku z uhlíkového vlákna. V poslední části se zabývá použitelností formy pro další použití a proveditelností výroby.

V závěru se věnujeme experimentální výrobě, kvalitativnímu posouzení jak stavu finálního výrobku, tak stavu formy a její další možné použití pro lisování dalších kusů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

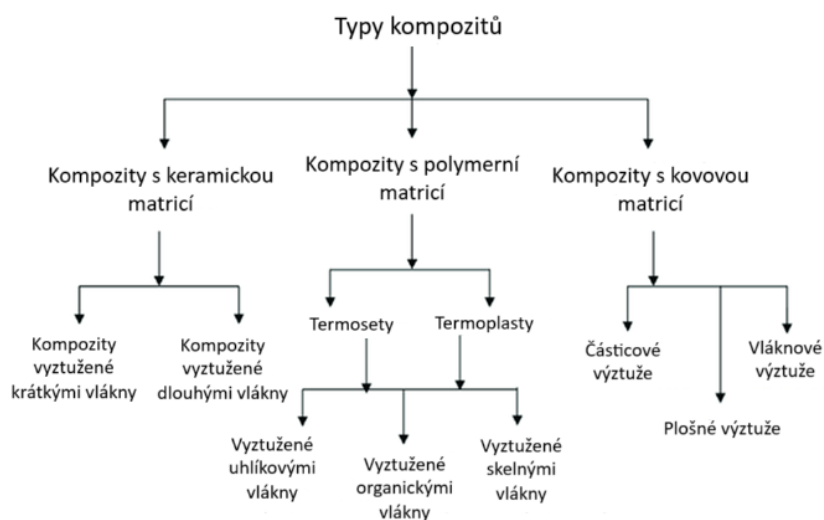
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Typický kompozitní materiál je složen z dvou nebo více materiálů (namixovaných a propojených) na makroskopické úrovni. Např. beton se skládá z cementu, písku, šterku a vody. Pokud se složení objevuje na mikroskopické úrovni (molekulární úrovni), nový materiál se bude nazývat slitina pro oceli a polymer pro plasty. [1]

1.1 Definice kompozitních materiálů

Obecně se kompozitní materiál skládá z výztuže (vlákna, částic nebo výplněmi) vloženého do matrice (polymery, kovy, keramiky nebo jiné materiály) Matrice drží výztuž a vytváří požadovaný tvar, zatímco výztuž zlepšuje celkové mechanické vlastnosti matrice. Při správném návrhu nám nový materiál vykazuje lepší pevnost, než jakou by vykazoval každý materiál samostatně. [1]

1.2 Rozdělení kompozitních materiálů



Obrázek 1 Typy kompozitů dle druhu matrice [2]

1.2.1 Matrice

Matrice slouží jako pojivo pro výztuže a určuje nám fyzický tvar a rozměry výrobku. Hlavním účelem je rozdělit (přenést) napětí aplikované na kompozitní materiál do výztuže a dodat výztuži deformační stabilitu při tepelném a mechanickém namáhání, matrice také chrání výztuž před nepříznivými vlivy, jako je například počasí. Rozdělení kompozitních materiálů dle typu matrice je znázorněno na obrázku 1. [1]

1.2.2 Polymerní matrice

Kompozity s polymerní matricí (PMC) se skládají z termoplastického nebo termosetového plastu jako matrice s jednou nebo více výztuhami, například uhlíkem, sklem, ocelí a přírodního vlákna. Z polymerů se vyrábějí kvalitní součásti z důvodu jednoduchosti zpracování daných materiálů.

Nabízejí širokou škálu vlastností. Mezi některé z nich patří vysoká pevnost, nízká hmotnost, vynikající rázové, tlakové a únavové vlastnosti, nákladově efektivní postupy výroby a výroby nástrojů, vynikající chemická a korozní odolnost dostupná za nízkou cenu a dobré mechanické vlastnosti.

Polymerní matrice tedy patří k nejvíce rozšířeným typům matric.

Mezi známé prodejce polymerních matric v České republice např. firmy Havel-composites, prefa-kompozity, grm-systems a další.

Mezi světové prodejce patří například firmy Easycocomposites, Gurit, Hexcel a další.

[3]

1.2.3 Keramické matrice

Kompozity s keramickou matricí (CMC) jsou směsí keramických částic, vláken a nití z jiné keramiky a s matricí z jiných materiálů.

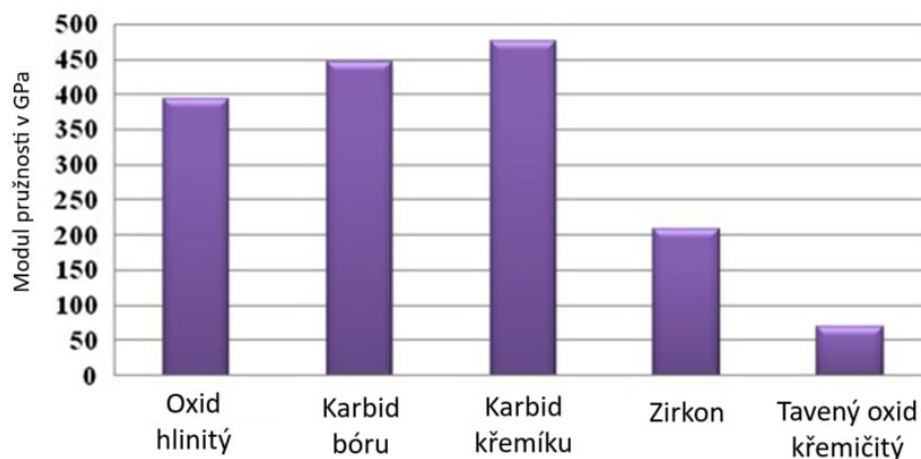
Materiály s keramickou matricí mají výjimečnou odolnost proti korozi, vysoké teploty tání, vynikající pevnost v tahu a stabilitu při vysokých teplotách.

Hlavními cíli při výrobě CMC je zvýšit houževnatost, protože monolitická keramika je sama o sobě křehká.

CMC – kompozity s keramickou matricí jsou buď na bázi oxidů nebo bez oxidů, pro příklad srovnání modulu pružnosti několika typů keramických matric znázorněných na obr.2 .

Díky svým odolnostem proti korozi a odolnosti vůči vysokým teplotám, lze použít keramické matrice například v letectví a kosmonautice, petrochemickém průmyslu, automobilovém průmyslu či energetice.

Mezi firmy využívající keramické matrice patří například Kyocera Corporation, Saint-Gobain, Siemens AG a další. [3], [4]



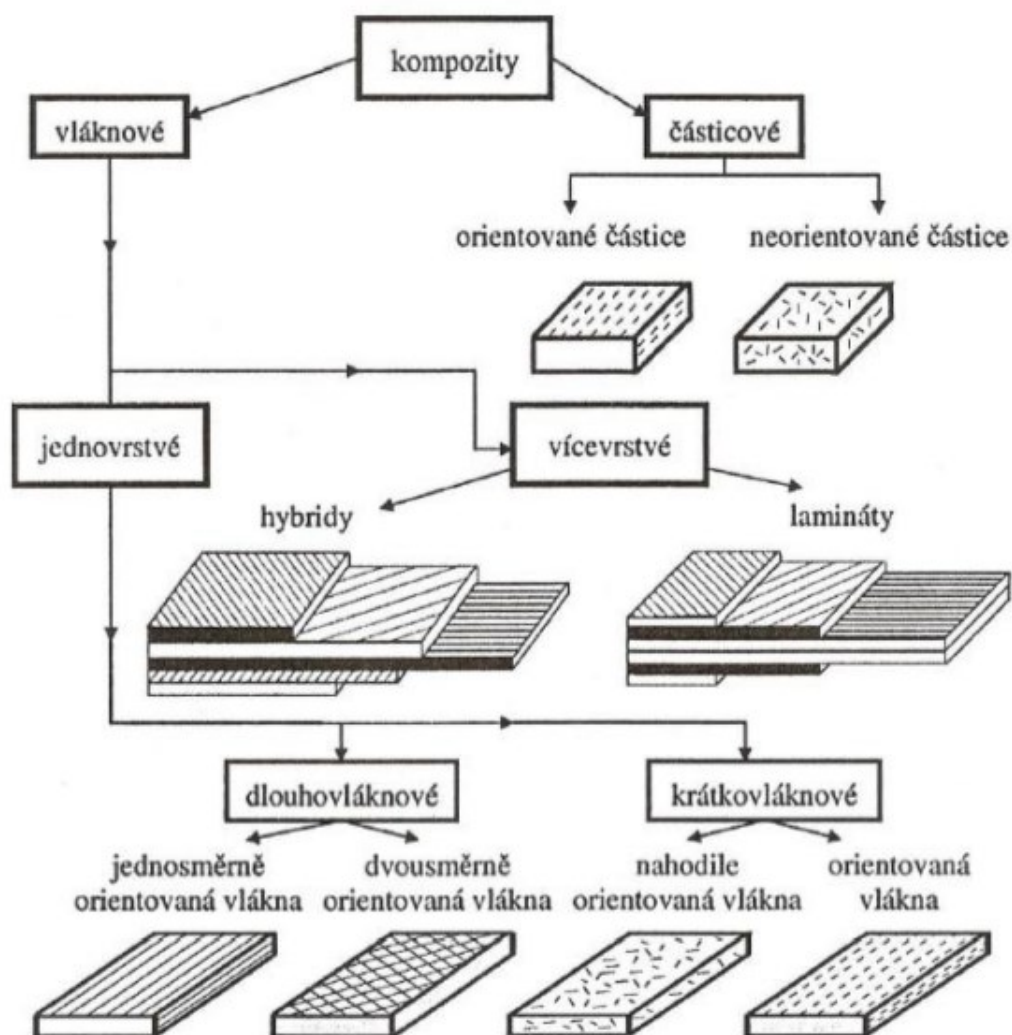
Obrázek 2 Modul pružnosti několik typů keramických matic [3]

1.2.4 Kovové matrice

Kompozity s kovovou maticí (MMC) jsou všeobecně uznávány jako pokročilé materiály. Jsou lepší než konvenční materiály z hlediska lepších mechanických a tepelných vlastností, které zahrnují – dobrá odolnost proti opotřebení a výjimečná tepelná vodivost. V současné době jsou nejpoužívanější maticové kovy jako je hliník, měď, železo, hořčík, nikl a titan. Díky svým vlastnostem jsou využívány hlavně v oboru výroby forem pro vstřikování polymerů. Kovových matic využívají například firmy Meusbeurger, Hasco a další. [3], [4]

1.2.5 Výztuže

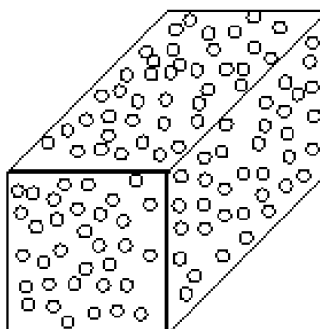
Úkolem výztuhy je zlepšit mechanické vlastnosti kompozitu. (rozdělení znázorněno na Obrázku 3) Obvykle je výztuž také i hlavním nosným prvkem kompozitu.



Obrázek 3 Rozdělení kompozitních materiálů dle výztuže [5]

1.2.6 Částicové výztuže

V porovnání s vláknovými kompozity jsou kompozity na bázi částic méně účinné z hlediska zpevnění. Kompozity vyztužené částicemi se využívají tam, kde je vyžadována vysoká odolnost proti opotřebení, např. na povrchu vozovek. Výhodou částicemi vyztužených kompozitů je jejich nízká cena a snadná výroba a tvarování. Velmi dobrým příkladem je beton, kde je kamenivo z hrubé horniny nebo šterku vloženo do matrice z cementu. Kamenivo zde zajišťuje tuhost a pevnost, zatímco cement působí jako pojivo, které drží strukturu pohromadě. [6]

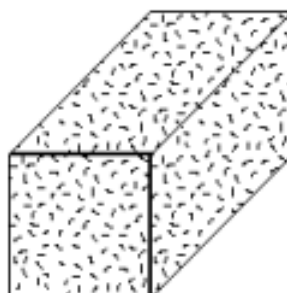


Obrázek 4 Částicově vyztužené kompozity [1]

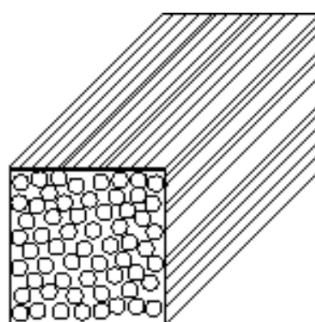
1.2.7 Vlákňové výztuže

V kompozitních materiálech s vláknovou výztuží se díky rozptýlené fázi syntetických vláken, jako je sklo, uhlík, čedič a kevlar, v kompozitní struktuře zlepšily vlastnosti materiálu, jako je vysoká pevnost, tuhost a odolnost vůči chemikáliím, teplotě a opotřebení. V současné době získalo použití výztuže z přírodních vláken mezi výzkumníky obrovskou popularitu. Chemicky upravená přírodní vlákna vykazují lepší rázovou houževnatost a únavovou pevnost, navíc jsou hojně dostupná za levné ceny, jsou biologicky odbouratelná, tudíž ekologická a ve srovnání se syntetickými vlákny mají nízkou hustotu.

Na základě druhu vláknové výztuže lze kompozity dále rozdělit jak lze vidět obrázcích 5,6. [1], [6]



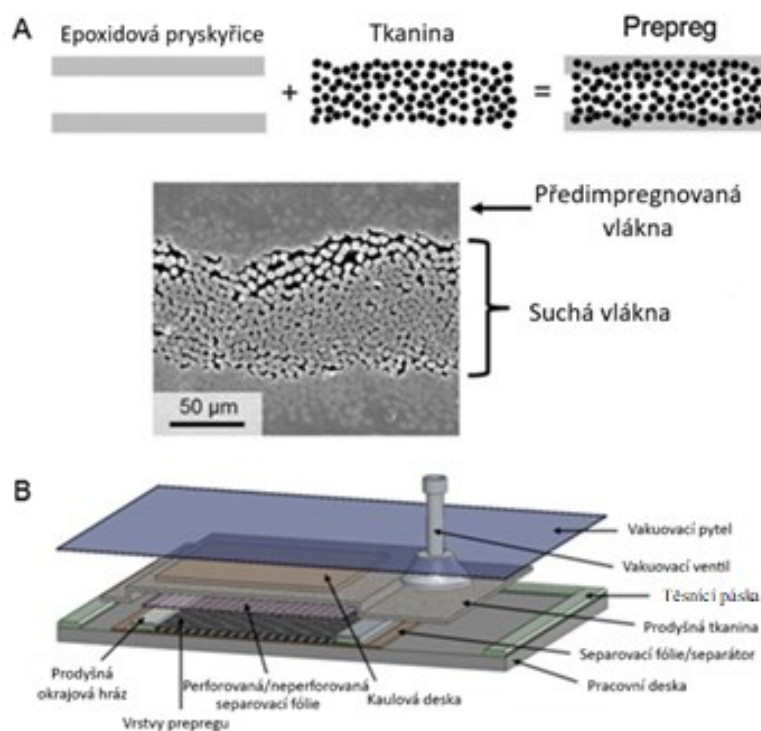
Obrázek 5 Kompozity vyztužené krátkými (náhodnými) vlákny [1]



Obrázek 6 Kompozity vyztužené dlouhými vlákny (kontinuální vlákna) [1]

1.2.8 Prepregy

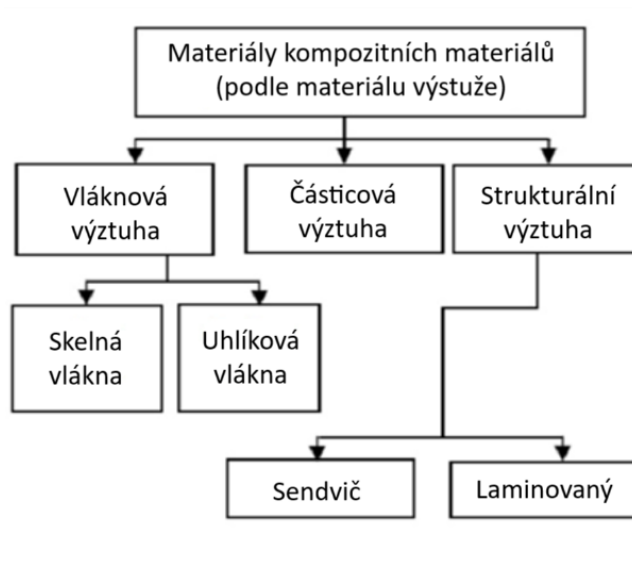
Termín "prepreg" byl odvozen od těžkopádnějšího výrazu "předimpregnovaný materiál". Když byla tato technologie poprvé vyvinuta počátkem padesátých let se tento termín obecně vztahoval na materiály na bázi tkaniny a epoxidové pryskyřice. V současné době je k dispozici celá řada vyztužených materiálů, je mnohem širší a tento termín se používá pro předimpregnovaný papír pro výztuže impregnované termoplasty a pro deskové lisovací materiály (SMC). Prepregy se vyrábějí pomocí speciálních technologických zařízení. Tyto technologie a materiály jsou však natolik různorodé, že popíšeme pouze "klasický" proces výroby prepregů, tj. nanášení roztoku ponořením výztuže za účelem její impregnace. Termínem "prepreg" se proto rozumí meziprodukt. Produkt, který se skládá z výztuže a částečně zesíťovaného polymeru, tj. předvytvrzené pryskyřice, vhodného k tvarování pro výrobu hotového výrobku. [7]



Obrázek 7 A- Schéma a mikrostruktura vrstvení prepreg materiálu

B- Schéma vrstvení ve výrobě [7]

1.3 Materiály kompozitních materiálů



Obrázek 8 Druhy kompozitních materiálů (podle materiálu výztuže) [8]

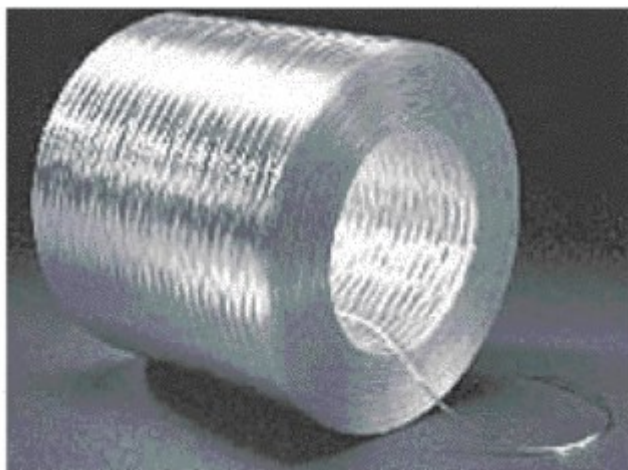
1.3.1 Skleněná vlákna

Textilní skleněná vlákna (GF – Glass Fiber) je společný název pro tenká vlákna ($\varnothing 3,5$ až 24nm) s pravidelným kruhovým průřezem, tažená z roztavené skloviny a používaná pro textilní účely (obrázky 9,10,11- zobrazují typy meziproduktů ze skleněných vláken).

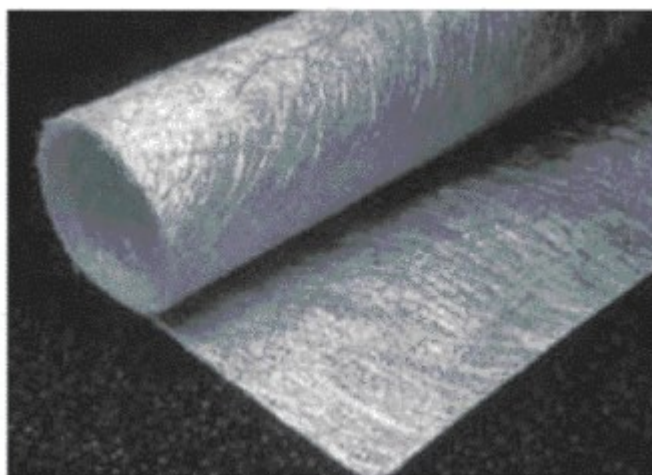
Skleněná vlákna z bezalkalické skloviny jsou vynikajícím elektrickým izolantem s vysokou prostupností pro záření, proto se označují jako E-vlákna (elektrická) a jejich sklovina jako E-sklovina. Je to nejčastěji používaný druh skloviny pro výrobu vláken, který postupně jako standartní typ obsadil téměř 90 % trhu.

Sklovina s vyšším obsahem SiO_2 , MgO a Al_2O_3 má o 40 až 70% vyšší pevnost a označuje se v USA jako S-sklovina, v Evropě jako R-sklovina a v Japonsku jako T-sklovina.

Skleněná vlákna se vyrábějí tažením z trysek. Ve sklářské peci se při teplotě asi 1400°C roztaví křemičitý písek, vápenec, kaolin, dolomit, kyselina boritá a kazivec na E-sklovinu, několik dní se číří a pak se vede v tekutém stavu kanálky předpecí do spřádacích trysek. [9]



Obrázek 9 Skleněný roving [10]



Obrázek 10 Rohož vyztužená sklem [10]



Obrázek 11 Sekané skleněné vlákno [10]

1.3.2 Aramidová (polyamidová, nylonová) vlákna

Aramidová vlákna (AF – Aramid Fiber) (obrázek 12) 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 mají vzhledem k vysoké orientaci molekul záporný teplotní součinitel a součinitel délkové tepelné roztažnosti ve směru vláken, podobně jako vlákna uhlíková.

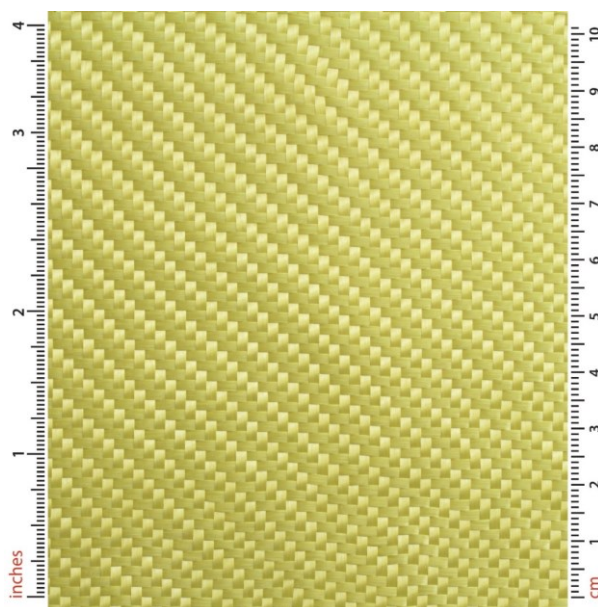
Aramidové vlákno má mnoho vynikajících vlastností, avšak také některé nevýhody. Např.

-Je to nejlehčí vyztužující vlákno, ($\rho = 1,45 \text{ g} \cdot \text{cm}^3$) z čeho plyne vysoká měrná pevnost v tahu.

-Mez pevnosti v tlaku ve směru vláken je výrazně nižší než mez pevnosti v tahu. Aramidové kompozity jsou proto velmi vhodné pro lehké konstrukce s převažujícím tahovým namáháním, nikoli však pro konstrukce namáhané ohybem nebo tlakem.

-Jako každé organické vlákno nejsou příliš odolná proti vysokým teplotám. Ve formě kompozitu odolávají teplotě až 300 °C, neroztaví se však, a jsou proto vhodná pro protipožární ochranné obleky.

-Vytvrzené konstrukční prvky z aramidových kompozitů se obtížně obrábějí. [9]



Obrázek 12 Aramidové vlákno 300g 2x2 keprová vazba [11]

1.3.3 Uhlíková (karbonová) vlákna

Uhlíková vlákna (CF – Carbon Fiber) jsou technická vlákna s extrémně vysokou pevností a tuhostí, ale s nízkou tažností. Výchozí organické suroviny ve vláknitém tvaru jsou nejprve karbonizovány. Přitom se odštěpí téměř všechny prvky až na uhlík. Se stoupající teplotou, a tím se zvyšující grafitizací se zlepšují mechanické vlastnosti. Uhlíková vlákna se skládají z více než 90 % uhlíku, <7% dusíku, <1% kyslíku, a <0,3% vodíku. Mají průměr mezi 5 a 10 nm.

Výchozí surovinou pro výrobu uhlíkových vláken jsou tři materiály:

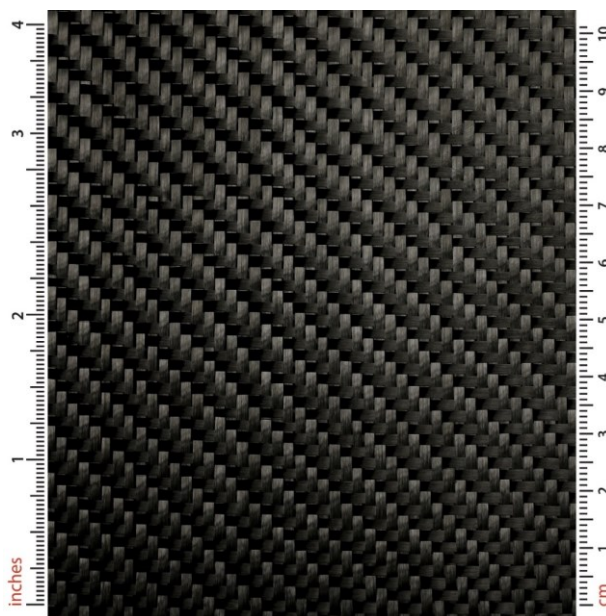
-Celulóza – vyrobená vlákna však mají méně dokonalou strukturu, používají se převážně jako izolační materiál pro vysoké teploty“

-Polyakrylonitril (PAN) - používá se od r.1980 stále častěji, vlákna z něj vyrobená jsou považována za standartní vlákna

Smola – ze které se nákladným způsobem připravují vlákna, jejichž konečná cena je vzhledem k nízké ceně výchozí suroviny příznivá. Tato vlákna mají velmi vysokou hodnotu E-modulu a velice dobré tepelné a elektrické vlastnosti. Na trhu mají pouze malý podíl. [9]

-Sekaná uhlíková vlákna

Sekaná vlákna produkují větší množství pevnosti v tlaku. Sekaná vlákna jsou obvykle k dispozici v délkách od 0,125mm až 5 mm délky vláken, což umožňuje vrstvení vrstev do laminátu, který lze vytvrzovat. [10]



Obrázek 13 Karbonové vlákno 200g 2x2 keprová vazba [11]



Obrázek 14 Sekané uhlíkové vlákno [11]

1.3.4 Organická vlákna

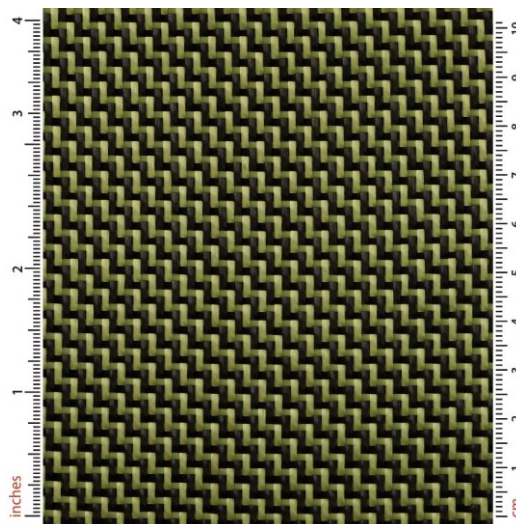
Pro vyztužování plastů jsou ze všech přírodních vláken vhodná pouze vlákna rostlinná, která mají jako základ celulózu. Mezi ně patří len, konopí, juta, ramie a bavlna. Jejich výhodou je odolnost proti stárnutí a čichová nezávadnost při měnících se klimatických podmínkách. Vzhledem k nízké měrné hmotnosti jsou tato přírodní rostlinná vlákna zajímavou surovinou pro lehké konstrukce. [9]



Obrázek 15 550g 2x2 keprová tkanina z lněných vláken [11]

1.3.5 Hybridní vlákna

V těchto tkaninách jsou využity kladné vlastnosti různých vláken při jejich kombinaci ve tkanině, např. rázová houževnatost aramidových vláken s tuhostí uhlíkových vláken (obrázek 16) nebo mez pevnosti v tlaku tlustších skleněných vláken. [9]



Obrázek 16 Karbon-kevlarová tkanina 210g 3x1 keprová vazba [11]

1.4 Způsoby skladby vláken (vazeb) kompozitních materiálů

Příze – vyrábí se spřádáním z vláken a zpracovává se dále na tkaniny, pásy a pletené výrobky viz. (obrázek 17a)

Nitě (sekaná příze) – vyrábějí se jedno – nebo víceštrukturové, skládají se z jedné nebo více přízí, které jsou společně spředeny viz. (obrázek 14)

Roving (pramenec) – skládá se z 20 až 60 konců, sdružených z rovnoběžně uložených nestočených vláken nebo tažených přímo z taveniny. Zpracovává se buď sekáním nebo tkaním, navíjením nebo tažením nekonečného pramence viz. (obrázek 17b)



Obr.17 a) Skelná příze

b) Uhlíkový roving [11], [12]

Spředený roving – vyrábí se z vláken stočených kolem podélné osy viz. (obr. 18a)

Rohože ze sekaných pramenců – netkané plošné výrobky o hmotnosti 300 až 900g.m⁻². Vyrábějí se z 25 nebo 50mm dlouhých sekaných vláken nepravidelně plošně uložených. Vlákná jsou uložena do vrstev, postříkána pojivem a po vysušení v pásové sušárně spojena tak, že je možno vzniklou rohož navíjet do rolí, které jsou připraveny pro okamžité použití. Viz. (obr. 18b)

Rohože z kontinuálních vláken – Skládají se z nekonečných vláken, která jsou uložena nepravidelně bez jakékoli orientace ve smyčkách v několika vrstvách a jsou vzájemně spojena pojivem. Tvarují se lépe než rohože ze sekaných pramenců. Viz (obr. 18c)

Povrchové (závojové) rohože – netkané plošné výrobky z vláken, které se poskládají do povrchové vrstvy laminátu s vysokým obsahem pryskyřice, aby se zamezilo vzniku trhlin

Krátká vlákna – mletá a na jednotlivá elementární vlákna rozptýlená vlákna o různé délce, používaná pro vyztužení termoplastů



Obr.18a) Spředený roving b) Skelná rohož c) Krátká skelná vlákna [11] [12]

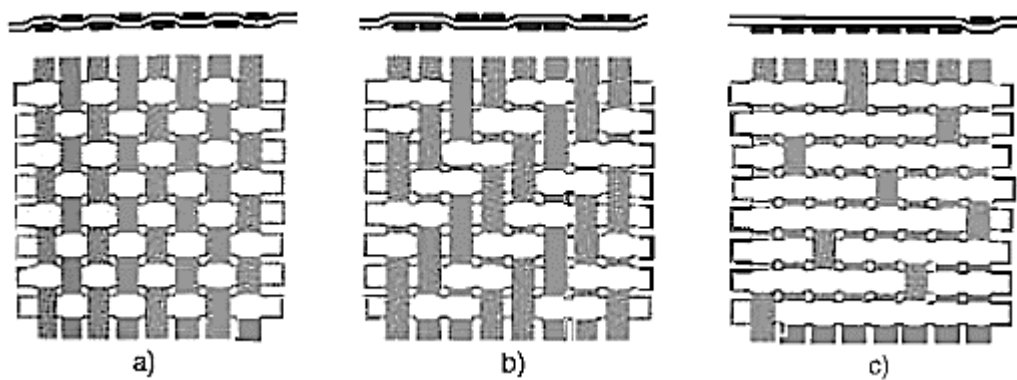
Tkaniny – plošné výrobky z vláken nebo pramenců uložených pravoúhle v útku a osnově, které působí výztužně ve dvou směrech. Zvýšením pevnosti vláken v osnově vznikají rozdílné typy křížení vláken, které se nazývají vazby.

Druhy vazeb:

Plátňová vazba- jednoduchá základní vazba. (viz. Obrázek 19a)

Keprová vazba-vyšší pevnost a tuhost laminátu způsobená menším zvlněním vláken (viz. Obrázek 19b).

Atlasová (saténová) vazba – má menší vychýlení vláken než keprová vazba, umožňuje dosáhnout velmi hladkého povrchu (viz. Obrázek 19c). [9]



Obrázek 19a) Plátnová vazba b) Keprová vazba c) Atlasová (saténová) vazba [9]

2 VÝROBA FOREM, JAKÉ FORMY POUŽÍVÁME NA VÝROBU KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Při výrobě formy pro kompozitní materiály je potřeba dbát na mnoho faktorů ovlivňujících volbu materiálu a typu formy, jako jsou například.

Typ použitého kompozitního materiálu – záleží na typu použité pryskyřice – epoxidová, polyesterová nebo vinylesterová (případně termosetové).

Požadované vlastnosti formy – pevnost, rozměrová stabilita, odolnost, tepelná odolnost, korozivzdornost a možnost povrchové úpravy.

Metoda výroby – záleží na využití formě výroby tedy pokud se bude jednat o ruční kladení, lisování, vstřikování nebo složitější metody.

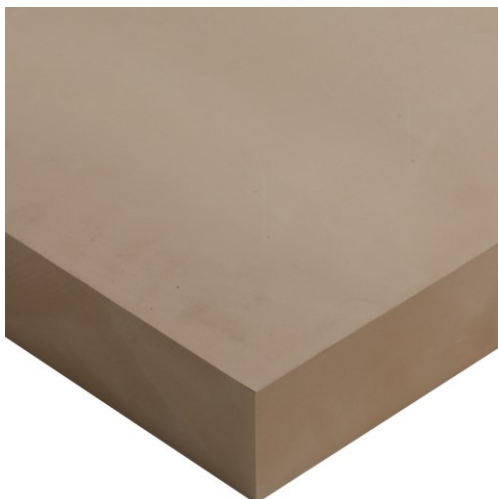
Ekonomické faktory – je potřeba využít forem dostatečné výdrže, ale tak aby byly cenově co nejnižší. [9], [11], [12]

2.1 Materiály forem

Formy mohou být dle použití vyrobeny z kovových nebo nekovových materiálů.

Kovové formy – nejběžnějším materiálem je ocel nebo hliník, ale mohou být vyrobeny i z různých slitin.

Nekovové formy – většinou jednodušší formy s jednodušším způsobem výroby například ze dřeva, speciální sádry, polyuretanu (viz obr.20), překližky a pěnových tmelů nebo také jiných levnějších kompozitních materiálů (skelná rohož a polyesterová pryskyřice), než je námi vyráběný výrobek. [9], [11], [12]



Obrázek 20 Vysokohustotní polyuretanová modelovací deska [11]

3 ZPŮSOBY VÝROBY KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

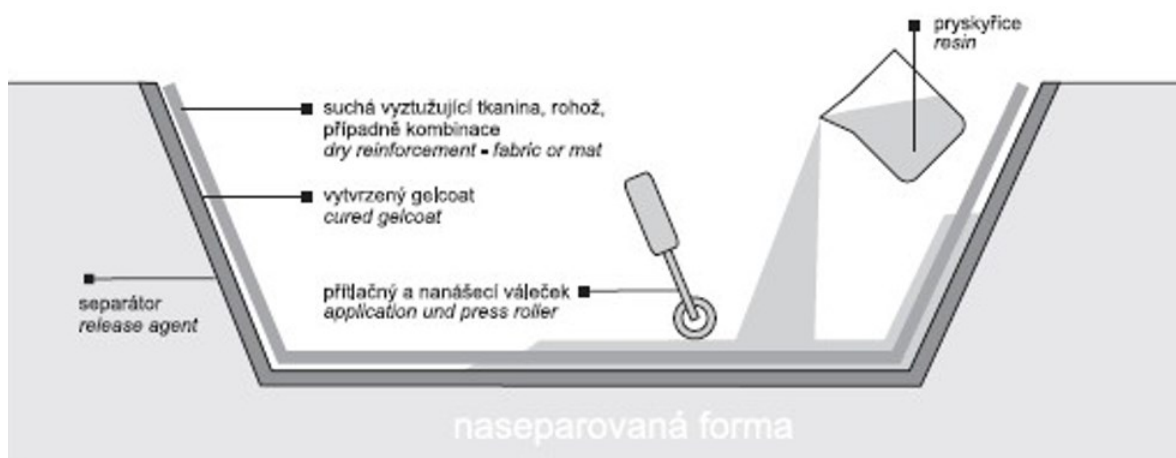
V následující kapitole budou popsány nejčastější metody výroby kompozitních materiálů. Technologie pro výrobu různých druhů výrobků se může velmi lišit dle závislosti na množství, kvalitě povrchu, ale i požadovaných vlastností a členitosti dílů. [9], [12]

3.1 Ruční laminace

Nejstarší a nejjednodušší a stále nejvíce používané technologie, označované jako otevřené technologie, obvykle zahrnují formu (negativní – matrici a pozitivní – patrici), která je obvykle poté opatřena gelcoatovým povlakem. Tak jako můžeme vidět na obrázku 21.

Gelcoat je obvykle barevně formulovaná a nevyztužená vrstva o tloušťce 0,3-1 mm, která se aplikuje buď ručně nebo stříkáním. Slouží k estetickému vzhledu povrchu a zároveň poskytuje ochranu před vlivy prostředí, jako je voda, povětrnost a chemické látky.

Po částečném zatvrdnutí gelcoat vrstvy, kdy už není mazlavá, ale stále může být lepkavá, se nanášejí jednotlivé vrstvy výztuže. Tyto vrstvy se nasycují pryskyřicí, která je aktivována a zaváděna pomocí štětce nebo válečku, aby se odstranily přebytečná pryskyřice a vzduchové bubliny. Laminát obvykle tuhne při běžné teplotě bez potřeby použití tlaku, s výjimkou situací, kdy je třeba vytvořit sendvičovou konstrukci stěny pomocí lehkých jádrových materiálů, jako jsou pěny nebo voštiny, kde se využívá tlaku vakuového lisu pod separační fólií. Pro zlepšení teplotní odolnosti je někdy nezbytné vytvrzení pryskyřice při vyšší teplotě podle doporučení výrobce a dodržení přesného postupného zvyšování teploty. [12], [13]

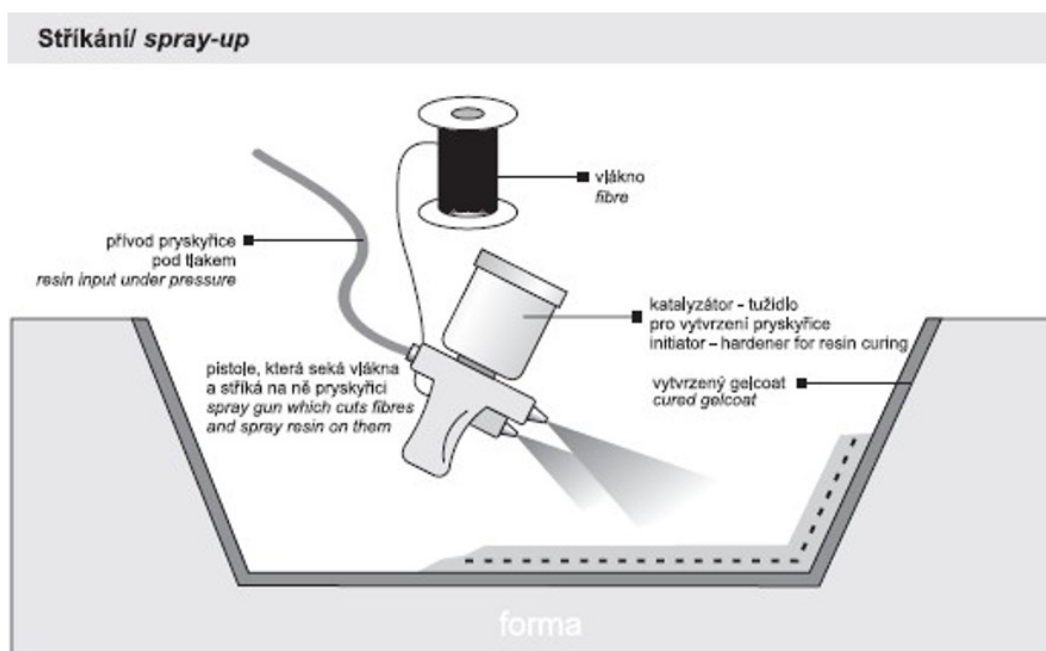


Obrázek 21 Ruční laminace

3.2 Stříkání / Spray-up

Tímto strojním procesem se speciální pistolí se pneumaticky aplikuje sekaný roving spolu s iniciovanou pryskyřicí na formu, jako je vidět na obrázku 22. Tento postup aplikace je často prováděn ručně, ale lze ho také mechanizovat a řídit pomocí počítače.

Formy jsou cenově dostupné a obvykle téměř identické s těmi používanými při ruční aplikaci a jsou také často vyráběné z kompozitních materiálů. Nejprve se ručně nebo pomocí nástřiku nanáší gelcoatová vrstva. Samotné stříkání probíhá v několika vrstvách "mokrý do mokrého" podle požadované tloušťky výrobku. Každá vrstva aplikované směsi se zhušťuje pomocí rýhovaných nebo štětinových válečků různých rozměrů a tvarů, což zároveň pomáhá vytlačet vzduchové bubliny. Stříkání je také součástí tzv. otevřených technologií a je nezbytné provádět ho v dobře větraném prostoru, jako jsou stříkací boxy, zejména kvůli tomu, že tato technologie téměř výhradně využívá polyesterové pryskyřice obsahující styren. [12]



Obrázek 22 Stříkání (Spray-up) [12]

3.3 Lisování za studena

Tento proces probíhá za použití nízkého tlaku v rozmezí 0,3 až 10 kg/cm² při běžných teplotách. Formy nejsou ohřívány, což umožňuje použití ekonomicky výhodných materiálů (jako je laminát, plech nebo hladké dřevotřískové lamino). Používají se dvoudílné formy, což znamená, že hotový výlisek má hladký povrch na obou stranách. Tlak se obvykle vytváří

pomocí šroubových svěrek nebo hydraulických válců, buď v jednoduchých rámových konstrukcích nebo ve vícepodlažních nízkotlakých lisovacích strojích. [12]

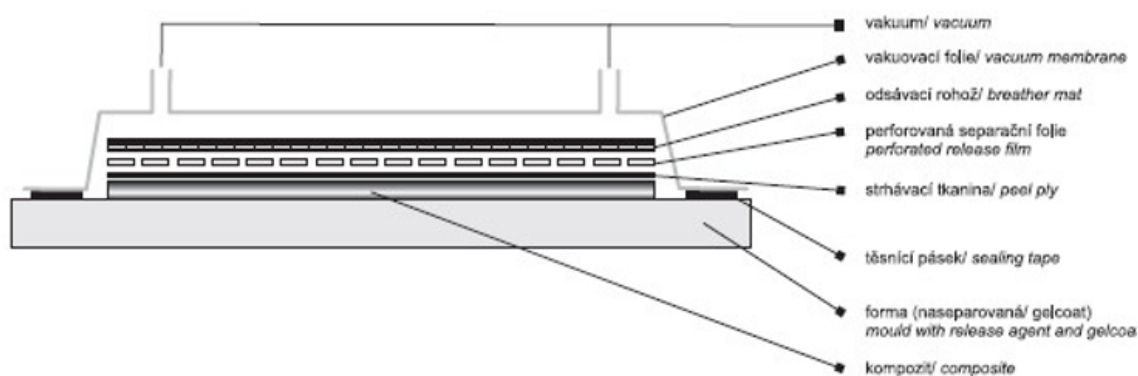
3.4 Lisování pomocí vakua

Pokud je potřeba zvýšit množství výztuže a odstranit nadbytečnou pryskyřici pro zlepšení mechanických vlastností nebo začlenit pevné sendvičové materiály, jako jsou pěny nebo voštiny, je použit přítlak vakuem. Postup tohoto procesu je popsán na obrázku 23.

Při použití měkkých sendvičových materiálů, které je třeba impregnovat pryskyřicí, lze také využít vakuum, avšak s menším podtlakem.

Prosycená výztuž se aplikuje do formy podobně jako při ručním kladení. Na vrchní konstrukční vrstvy se následně pokládá tzv. odtrhová tkanina z umělých vláken, která usnadňuje další operace (laminování, lepení, úpravy povrchu) tím, že ji lze po ztuhnutí snadno odstranit a pokračovat na povrchu s dalšími úkony bez nutnosti odmašťování, broušení nebo drhnutí. Poté následují perforované separační fólie a odsávací rohož, která absorbují nadbytečnou pryskyřici a zároveň umožňují odstranění vzduchových bublin pomocí vakuového odsávání. Nakonec je aplikována pružná vakuovací fólie nebo pryžová plachta, která je utěsněna podél obvodu formy těsnícím materiálem ve formě pásky nebo hmoty nebo oboustranným lepicím páskem, aby se zajistila funkce vakua. Evakuace vzduchu a vytváření tlaku se provádí s relativně nízkým tlakem přibližně 0,3-0,9 baru, a formy mohou být relativně jednoduché a cenově nenáročné, podobně jako u technologie ručního kladení. Většinou se vytvrzování vakuové formě provádí při běžné teplotě, ale pokud jsou použity prepregy, je nutné dosáhnout stanovené vytvrzovací teploty umístěním formy do vyhřívaného tunelu nebo vytápěné komory. [12]

Lisování pomocí vakua/ vacuum bagging



Obrázek 23 Lisování vakuem [12]

3.5 Lisování v autoklávu

Lisování v autoklávu slouží většinou pro výrobu velkorozměrných kompozitních dílů. Využívá prepregy, které se vytvrzují za pomoci tepla a tlaku v autoklávu. Díky tomu vznikají lehké a pevné struktury s velmi dobrým poměrem výztuže přes 60%.

Postup: Prepregy se ručně nebo roboticky vloží do formy a pečlivě rozválečkují. Forma se vloží do autoklávu a utěsní. Odčerpá se vzduch a aplikuje tlak (cca 5-6 bar). Materiál se zahřeje a vytvrdne.

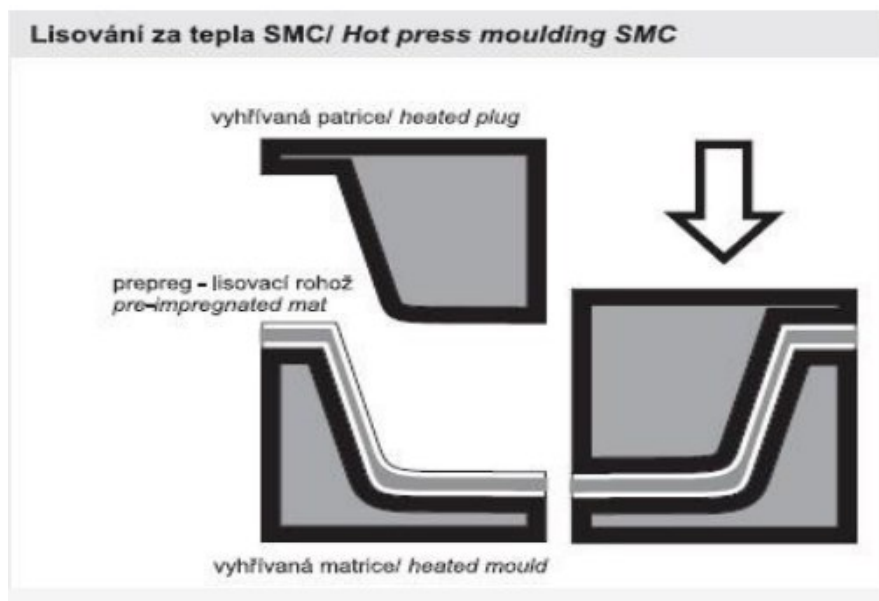
Výhody: Nízká hmotnost (díky prepregům), možnost výroby složitých tvarů.

Nevýhody: Vysoká cena prepregů, náročná technologie, dlouhá doba výroby, energeticky náročná. [12]

3.6 Lisování za tepla a tlaku (SMC)

Lisování za tepla a tlaku (obrázek 24) patří mezi velmi efektivní technologie pro výrobu kompozitních dílů v sériích o stovkách až tisících kusů. Využívá se pro výrobu malých až středně velkých dílů v leteckém, automobilovém průmyslu, ale také i v dalších průmyslových odvětvích.

Postup: Směs prepregů se vloží do kovové formy. Forma se zahřeje s stlačením hydraulickým lisem. Za působení tepla a tlaku dojde k vytvrzení materiálu a vyplnění celé dutiny. [12]



Obrázek 24 Lisování za tepla SMC [12]

Materiály:

Prepregy – lisovací rohože (impregnované listy se sekanými vlákny).

DMC – lisovací těsta (hustší směs než s kratšími vlákny, pro výrobu složitějších dílů).

BMC – lisovací směsi (předmíchaná směs s plnivem a aditivy, pro výrobu dílů s velkým obsahem plniv a pro snazší manipulaci).

Výhody: krátký výrobní cyklus, vysoká reprodukovatelnost, možnost automatizace.

Nevýhody: velké vstupní pořizovací náklady na lisy a formy. [12]

3.7 Další způsoby výroby kompozitních materiálů

Mezi další způsoby výroby kompozitních materiálů patří:

Injektážní a infuzní technologie, vysokotlaké vstřikování, vakuo-injekční technologie (RTM), tažení (pultruze) a další. [12]

4 VYUŽITÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

V následujících kapitolách jsou popsány všechny obory, převážně ze strojírenství, kde se podrobněji popisuje použití a využití kompozitních materiálů, jak pro součásti ke snížení hmotnosti, tak na zlepšení vlastností dané struktury pomocí kompozitních materiálů nebo kvůli složitosti výroby jinými obráběcími způsoby.

4.1 Využití ve strojírenství

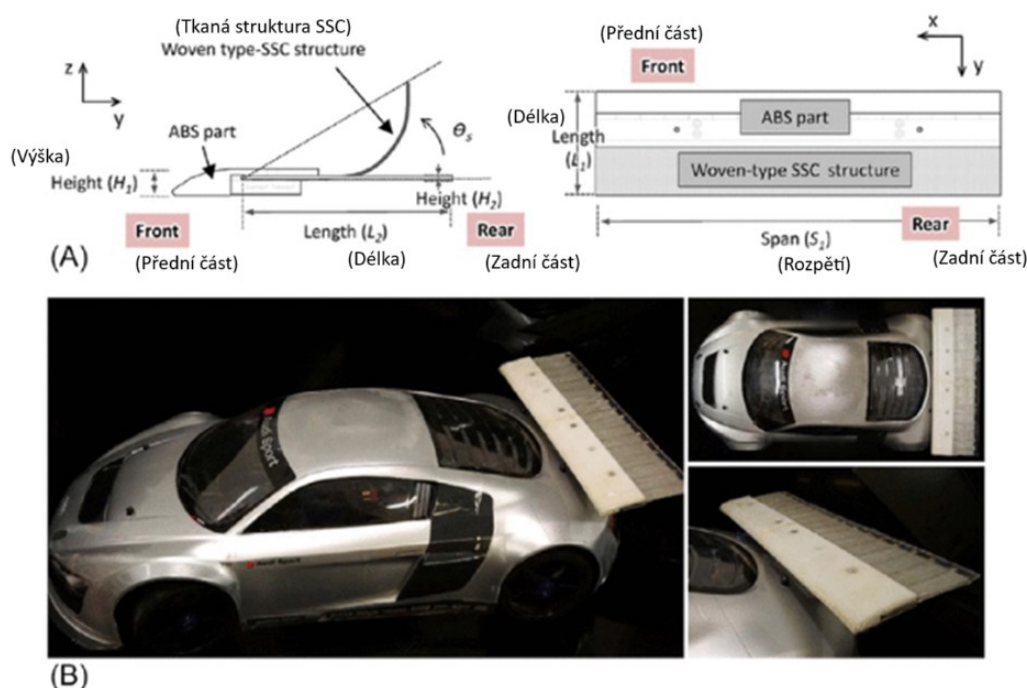
Díky své nízké hmotnosti a vysoké pevnosti jsou kompozitní materiály využívány v mnoha odvětvích strojírenství. Jakožto pro snížení hmotnosti, ale i ke zvýšení tuhosti dané konstrukce. Volí se také díky poměrné jednoduchosti výroby složitější dílů (např. oproti konvenčnímu obrábění) a ochrany vůči vnějším vlivům (nepodléhá korozi). [9] [12]

4.1.1 Automobilový průmysl

V automobilovém průmyslu existují některé aplikace morfních konstrukcí, např.:

- Pružné těsnění mezi panely karoserie, které snižují odpor.
- Tvarově přizpůsobivé díly karoserie, které zlepšují aerodynamiku a estetiku Viz obrázek 25.

Chillara a spol. navrhli morfující lemy blatníků, které jsou definovány jako rozšíření blatníku za účelem zakrytí kol. Tato omezení lze řešit použitím adaptivních lemů blatníků, které zůstávají při vysokých rychlostech v rovině pro optimální aerodynamiku a dynamickou účinnost, a přechází do klenutého tvaru, aby se přizpůsobily řízení auta při nízké rychlosti. [14]



Obrázek 25 Morfující zadní spoiler vyrobený z měkkých kompozitů s tkaným SMA (A) rozměr morfujícího automobilového spoileru a (B) morfující spoiler u (v měřítku) modelu automobilu. [14]

4.1.2 Letecký průmysl

Výhody vyšší pevnosti v poměru k hmotnosti a vyšší tuhosti kompozitů v porovnání s kovovou konstrukcí. Je v leteckém průmyslu dobře známá, zejména v oblasti ve světě komerčních leteckých společností. Její větší využití v konstrukcích letadel je přímým odrazem přínosu v podobě snížení provozních nákladů na let a s tím spojené snížení spotřeby paliva. Kromě snížení provozních nákladů, hledají letecké společnosti způsoby, jak snížit náklady na údržbu. Většina poškození letadel s hliníkovou konstrukcí je připisována korozi. Nekovová kompozitní konstrukce má vynikající odolnost vůči korozi. Konstrukce je odolnější vůči poškození, díky absenci otvorů pro upevňovací prvky. V důsledku jeho hojného používání vedlo u leteckých společností k tomu, že snižuje náklady na údržbu a náklady na kontrolu.

Použití kompozitních materiálů v konstrukci letadel má za následek, že se v průběhu let postupně rozšiřovalo. Jako nosnou konstrukci letadla začali výrobci zpočátku používat kovové kompozity a sendvičové konstrukce, kde hliníkové voštinové jádro bylo spojeno mezi dvěma hliníkovými plechy.

V současné době Airbus A380 (viz. Obrázek 26) a Boeing 787 hodlají používat kompozity na konstrukce křídel a trupu, kde budou výhody spočívat v úspoře hmotnosti a paliva. Airbus A380 bude mít tlakovou přepážku, podlahu horní paluby a středový box křídla z CFRP a horní panely trupu budou vyrobeny z CFRP a z hliníku vyztuženého skleněnými vlákny (GLARE). A380 bude mít přibližně 12 % hmotnosti kompozitní konstrukce. Pro srovnání, Boeing 787 bude používat 51 % kompozitní konstrukce (podle hmotnosti). [15], [16]



Obrázek 26 Celokompozitová ocasní sestava letounu Airbus A380 s korunou trupu [16]

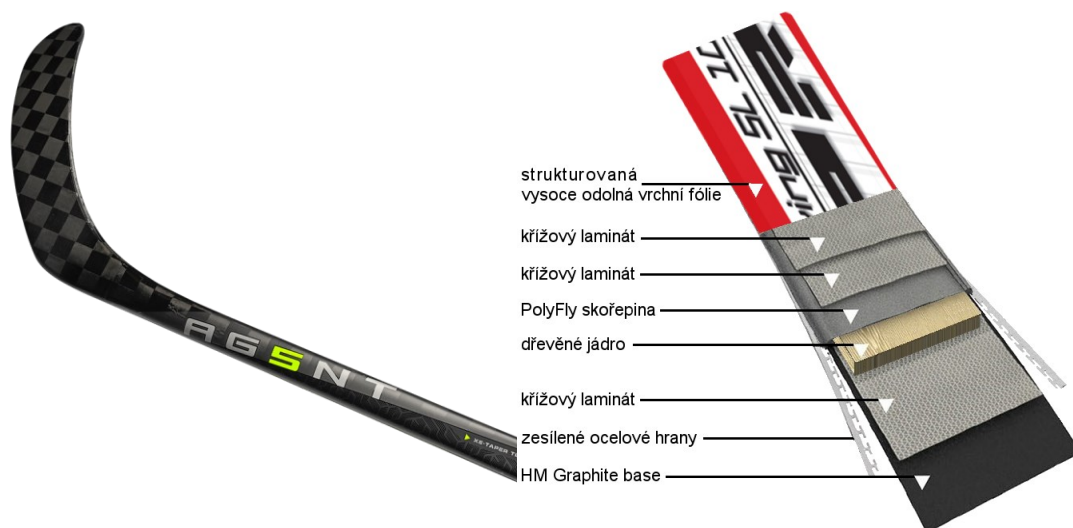
4.2 Využití ve stavebnictví

Konkrétní využití kompozitních materiálů ve stavebnictví je téměř všude okolo nás, jako jsou například OSB desky, dřevotřísky, překližky, nosníky, dřevoplastové kompozity, ale mnoho dalších. [17]

4.3 Sportovní průmysl

Nejdominantnější roli převzaly kompozitní materiály v hokeji, kde tvoří kompozitní hokejky (obrázek 27a) téměř většinu trhu, jak profesionálních, tak amatérských hráčů. Nejen hokejky jsou vyráběny z kompozitu, také helmy mohou být vyráběny z kompozitních materiálů.

Použití kompozitních materiálů je také v lyžařství (obrázek 27b), které využívá především tuhosti v podélném směru, ale i odolnosti a životnosti celkově. [18] [19] [20] [21]



Obrázek 27a) Kompozitová hokejka [22] b) Řez sjezdovou lyží [23]

4.4 Vojenský průmysl

Mezi výrobky často vyráběné z kompozitních materiálů patří také neprůstřelné vesty. Neprůstřelné vesty (nebo také balistické vesty) nám slouží na ochranu osob v oblasti trupu, proti úplnému nebo částečnému zastavení palných zbraní proti člověku. Jedná se dle americké normy NIJ STD 0101.04 nebo 0.6 o vrstvu nejčastěji aramidových vláken, Polyetylenu nebo kombinace obou materiálů.

Tloušťka vest se může lišit dle použitého materiálu a typu použití, ale obvykle se pohybuje v rozmezí od:

6–8 mm – proti běžným pistolovým nábojům

10–12 mm – proti puškovým nábojům

15–20 mm – proti puškovým nábojům vyšších ráží a brokovnicím

[24], [25]

4.5 Medicínské aplikace

Výrobky z netkané textilie lze přizpůsobit tak, aby splňovaly požadavky následujících specifikací medicínských aplikací.

- osobní zdravotnické/hygienické prostředky, jako jsou chirurgické pláště, masky, ubrousky, operační roušky a lůžkoviny

- neimplantovatelné lékařské obvazy, včetně obvazů na rány a obinadel
- implantovatelné zdravotnické výrobky, včetně scaffoldů pro regeneraci tkání a ortopedické struktury.

Specifické příklady využití

Chirurgické obličejové masky se obvykle skládají ze tří vrstev netkané textilie SMS. tkaniny, kde materiál funguje jako filtr. Konstrukce většiny chirurgických masek obsahuje tři záhyby/sklady, které umožňují uživateli rozšířit masku tak, aby zakryla obličej. oblast pod nosem a pod bradou. Tato konstrukce může být dostatečná k ochraně. nositele v prašném prostředí, ale tyto výrobky nejsou příliš účinné, pokud se jedná o ochranu proti prachu. v ochraně před pandemickými chorobami přenášenými vzduchem nebo v prostředí plném prachu a aerosolů. [26]

4.6 Recyklace kompozitních materiálů a dopady na životní prostředí

4.6.1 Recyklace

Z praktického hlediska je recyklace kompozitů obtížná a je ztížená kvůli

- Technickým možnostem: proveditelnost pro manipulace s masovým množstvím.
- Ekonomika: konečné náklady a recyklace/virtualizace polymeru určují úspěch nebo neúspěch metody.
- Ekologické předpisy: recyklace musí globálně snížit bilanci znečištění oproti skládkování
- Nevratnost makromolekulárního vazbení u termosetových polymerů.

Velmi rozšířeným se tedy stává opětovné použití, využití na jiné výrobky např. lavičky, lávky nebo mosty z listů větrných turbín jako je vidět na obrázku 28. [27], [28]



Obrázek 28 Visutá lávka z listů větrných turbín [28]

4.6.2 Životní prostředí a udržitelné materiály

Udržitelné materiály musí zachovat budoucnost budoucím generacím a z ideálního hlediska tedy musí:

- pocházet z obnovitelných zdrojů a obsahovat nejvyšší přijatelnou míru recyklovaného materiálu (recyklátu) - Naproti tomu většina plastů pochází z fosilních zdrojů, které nejsou obnovitelné v lidském časovém měřítku.
- Spotřebovávají co nejméně energie, což snižuje znečištění, náklady a šetří palivo.
- Vypouštějí co nejnižší množství plynů, výparů a dalších látek, což snižuje znečištění.
- Produkovat co nejnižší množství odpadů, což snižuje spotřebu surovin a energie a snižuje znečištění, minimalizuje spotřebu materiálu.
- Mají co nejdelší životnost, což snižuje spotřebu surovin, energie, znečištění a snižuje množství odpadu po skončení životnosti.
- Snadno se recyklují a efektivně znovu používají. [27] [28]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Hlavním cílem bakalářské práce je zjistit proveditelnost nahrazení komerčně vyráběných a drahých forem pro lisování kompozitů za formy vytištěné na komerčně dostupných 3D tiskárnách, její znovu použití pro více kusů. Dále kvalitativní a funkční posouzení stavu námi vylisovaného výrobku.

Praktická část se bude skládat z následujících částí:

1. Experimentální ověření výroby zkušebního dílu pomocí lisování, jeho broušení a povrchová úprava.
2. Experimentální výroba zadaného výrobku řadičky, návrh formy pro lisování. Lisování řadičky, její broušení a povrchová úprava. Návrh technologického postupu.
3. Kvalitativní a funkční posouzení stavu výrobku.
4. Kvalitativní a funkční posouzení stavu formy pro použití na další výrobu.
5. Finanční proveditelnost výroby danou metodou, její konkurenceschopnost a případné možnosti změn.
6. Závěr

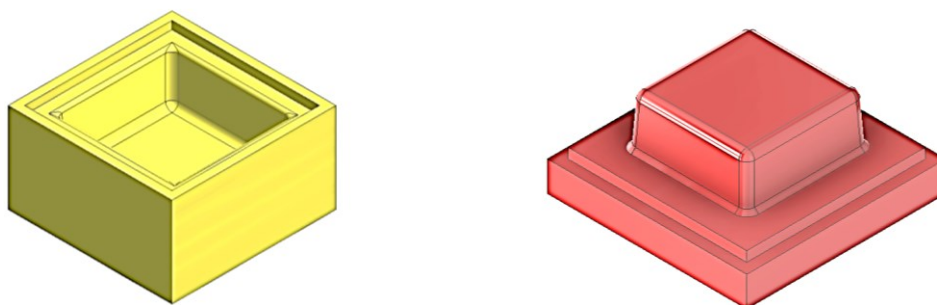
6 VÝROBA A MODEL FORMY

Pro zkoušku postupů výroby formy, lisování a postprocesu byla vytvořena zkušební forma. Příprava 3D modelu, G-kódu pro 3d tisk zkušební formy, a lisování daného výrobku je popisován v následující kapitole 6.1.

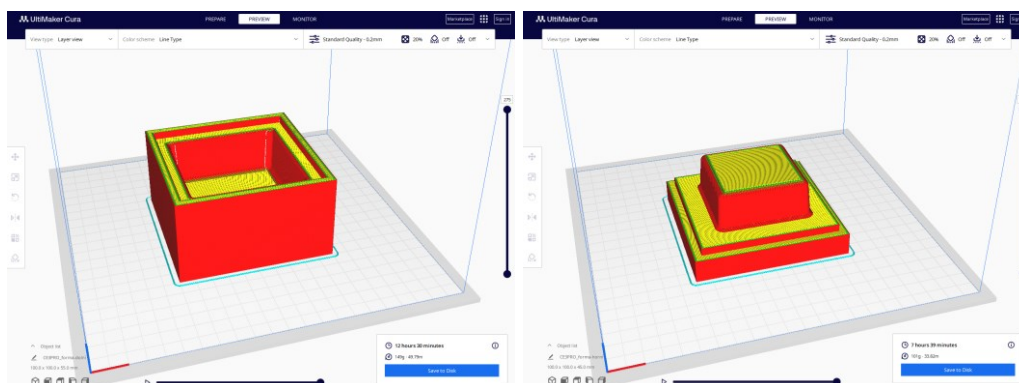
Porovnávání, měření stoupání závitu, tisk řadičky pro porovnání velikosti, modelování a tisk formy pro formu řadičky je popisován v následující kapitole 6.2.

6.1 Zkušební forma

Zde se nehledělo na finální výrobek, jedná se pouze o krabičku o rozměrech 70 mm x 70 mm, jde nám pouze o zkoušku lisování, tlaků, a vzhledu finální výrobku, (celkovou) proveditelnosti výroby. Na obrázcích 29a,b) a 30a,b) jsou vidět 3D modely zkušební formy a příprava kódu na 3D tisk.



Obrázek 29a) Spodní část zkušební formy b) - Horní část zkušební formy



Obrázek 30a) Příprava G-kódu spodní formy b) Příprava G-kódu horní formy



Obrázek 31a) Naplnění formy, mix epoxid – drcené uhlíkové vlákno (levý)

Obrázek 31b) Lisování pomocí svorek - rovnoměrný, co největší stisk (pravý)



Obrázek 32a) Výlisek focený ihned po vytáhnutí z formy (levý)

Obrázek 32b) Výlisek po vybroušení a vyleštění (pravý)

Vytištěná forma na 3D tiskárně byla naplněna drceným uhlíkovým vláknem a směsí složek epoxidové pryskyřice (obrázek 31a). Forma byla poté uzavřena a pevně stisknuta truhlářskými svorkami (obrázek 31b).

Po vyndání výlisku z formy byly obroušeny přetoky (materiál který při lisování unikl mezi mezery formy) (obrázek 32a). Finální kus byl přetřen jednou vrstvou čisté epoxidové pryskyřice a vybroušen a vyleštěn do výsledné podoby (obrázek 32b).

6.2 Forma Řadičky

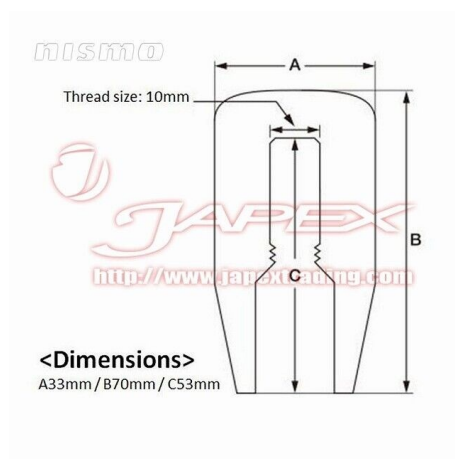
Forma byla vytvořena díky videím na easycomposites.com. Pomocí známého modelu byl vytvořen model řadičky. Ten po vytisknutí na 3D tiskárně byl z ohledu použitelnosti příliš malý a byl tedy zvětšen přibližně o 20% (jak lze vidět na obrázku 33).



Obrázek 33 Vlevo originální velikost řadičky Nismo s reálnou velikostí, vpravo zvětšený model

6.2.1 Modelování a měření rozměrů

Pro inspiraci tvaru byl použit originální tvar rukojeti řadiček firmy Nissan – přesněji řady Nismo (obrázek 34a,b). Díky válcovému tvaru se spodním zkosením a horním mírným zaoblením má velmi dobrou ergonomii a její velikost má vliv i na rozpoložení váhy při řazení. Tento specifický typ řadiček byl použit u vozů Nissan (300,350,370, jejich varianty a dalších). [29] [30]



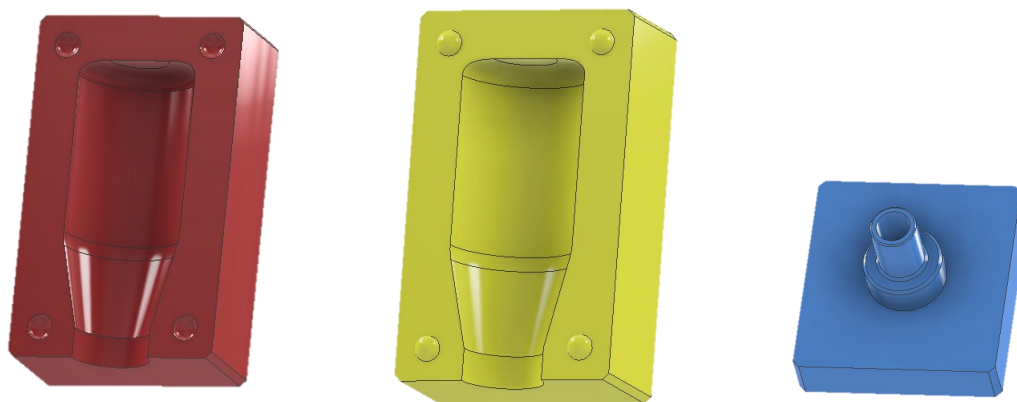
Obrázek 34a) Model a rozměry řadičky b) Fotka originální řadičky [29] [30]

Stoupání závitu na ocelové části řadící páky bylo s neobvyklými rozměry změřeno M12x1,25, tedy pro lisovací formu byl vybrán šroub s šestihrannou hlavou ČSN: 021101 M12x1,25x100. Jak lze vidět na měření stoupání na obrázku 35.



Obrázek 35 Měření stoupání závitu pomocí měrky závitů

6.2.2 Tvorba modelu



Obrázek 36a) Forma levý bok b) Forma pravý bok c) Vrchní část formy

Model formy (obrázek 36a,b,c) byl vytvořen jako negativ vymodelovaného tvaru řadičky (obrázek 37b), kde byl daný tvar vytisknut původně v originální velikosti (Obrázek 33-vlevo), ale z důvodu nevyhovujícího tvaru a hlavně velikosti byl model zvětšen (Obrázek 37a) z původních 70mm výšky na 90mm a průměr z $\varnothing 33\text{mm}$ na $\varnothing 40\text{mm}$. Výsledná složená forma ze všech částí měla tedy rozměry 70mm x 70mm x 130mm.



Obrázek 37a) 3D model řadičky b) Vytisknutá maketa řadičky

6.2.3 Použitý materiál



Obrázek 38 Filament PLA použitý při výrobě obou forem, jak zkušební tak finální formy řadičky [31]

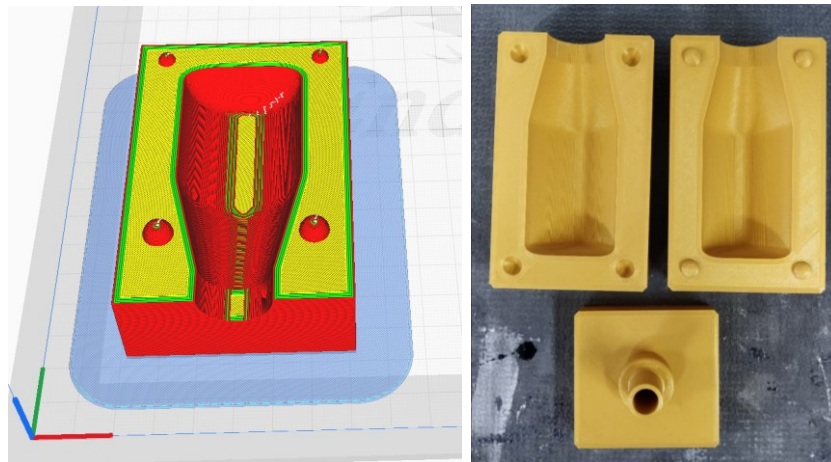
Použitý materiál jak na formu tak na makety řadičky byl použit materiál PLA- polyaktid od firmy Creality3D (rozdíl je pouze v barvě materiálu) (obrázek 38a,b). [31]

6.2.4 3D tiskárna

K 3D tisku bylo použito 3D tiskárny značky Creality model Ender 3 Pro kupované v roce 2021. Tiskárna má mírné úpravy pro zkvalitnění tisku specificky – značkovou kvalitnější trysku s přesným průměrem tisku 0,4mm, základní deskou upravující chod krokových motorů os X a Y, a uchycení a vedení filamentu do tiskárny – původní plastové- nové hliníkové.

6.2.5 Výroba formy

Nastavení 3D tiskárny bylo ponecháno na programovém nastavení programu Cura, pro materiál PLA- polyaktid. Vlevo (obrázek 39a) můžete vidět fotku 3D modelu z programu Cura s rozděleným modelem na jednotlivé vrstvy přímo na 3D tisk. Vpravo (obrázek 39b) je již vytištěná forma připravená na lisování.



Obrázek 39a) Příprava G-kódu pro tisk

b) Vytištěná forma řadičky

6.2.6 Dokončování formy a příprava na lisování



Obrázek 40a) Navoskované části formy b) Navoskovaný závit c) Použitý separační vosk

Na formu a šroub bylo před lisováním naneseno 5-6 tenkých vrstev separačního vosku (obrázek 40a,b). Ten nám slouží k tomu, aby výlisek byl jednoduše vyjmut z formy bez poškození jak výrobku samotného tak všech částí formy. Použitý vosk lze vidět na obr. 40c).

6.2.7 Lisování výrobku



Obrázek 41a) Mixování epoxidu a uhlíkového vlákna b) Sevržení formy svorkami

Po namixování daného poměru dle výrobce 100:30 epoxidové pryskyřice, bylo vše pečlivě promícháno aby se uhlíková vlákna nasýtila pryskyřicí (obrázek 41a). Poté byla forma naplněna a uzavřena pomocí svorek (obrázek 41b)

6.2.8 Lisování výrobku



Obrázek 42- Řadička ihned po vyjmutí z formy

Samotné lisování výrobku probíhalo až do vytvrzení epoxidové pryskyřice (tedy i s rezervou), byla forma ponechána za pokojové teploty po dobu 48 hodin. Teprve za tuto dobu byla řadička vyjmuta z formy (obrázek 42).

6.2.9 Post processing výrobku



Obrázek 43a) Řadička obroušená od otřepů b) Nanášení čirého epoxidu c) Tuhnutí epoxidu

Vylisovaný výrobek se musel obrousit od vylisovaných otřepů (obrázek 43a). Po důkladném odmaštění a očištění od prachu a zbytku separačního vosku bylo na výlisek nanесeny 3 vrstvy čirého epoxidu (lze vidět na obrázcích 43b,c) pro sjednocení povrchu, odstranění bublin a zvýšení lesku.

Samotná uhlíková vlákna by bez vrstvy čistého epoxidu nebo vrstvy laku vytvářely pouze matný povrch.

Výrobek byl poté ručně obroušen pomocí smirkového papíru od drsnosti 120 až po drsnost 2000. Po postupném vybroušení byl potřen leštící pastou a vyleštěn. Pro další ochranu byla nanесena vrstva ochranného vosku.

6.2.10 Kvalitativní posouzení stavu výrobku



Obrázek 44 Výrobek řadičky nasazený na kulise řazení vozu Toyota



Obrázek 45a) Boční fotografie hotového výrobku b) Horní fotografie hotového výrobku

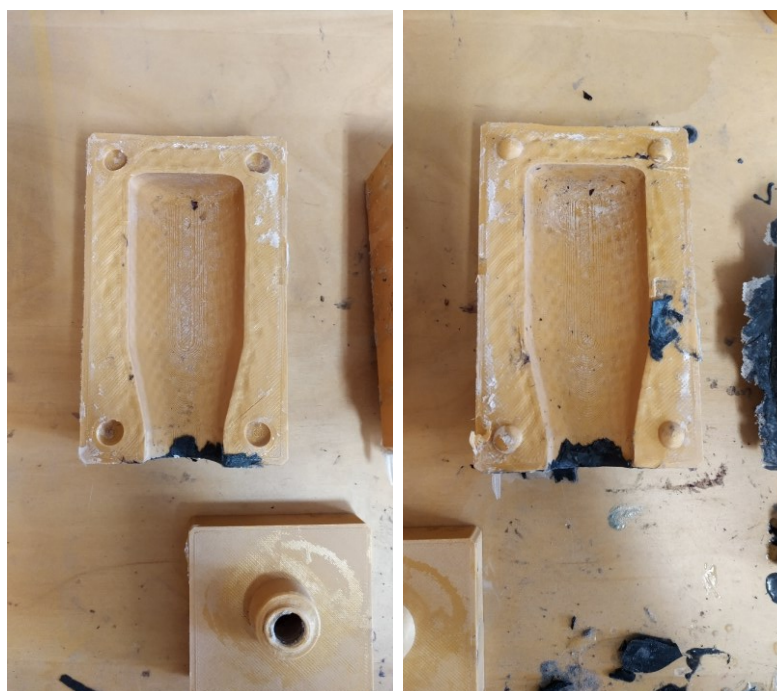
Tvarově byl vytvořen velmi kvalitní kus řadičky (obrázky 45a,b). Vrstva čistého epoxidu vypadá že byla na většině povrchu dostatečná, tedy došlo k odstranění bublin, zocelení povrchu a možnosti dalšího zbrúšení a zleštění pro získání finálního vzhledu. Závit vytvořený pomoci nasazeného šroubu drží velmi dobře na řadicí páce (viz. Obrázek 44).

Mezi povrchovou chybou patří vytvoření malé množství bublinek na spodní – zakryté a nepohledové části řadičky, které by se dalo odstranit další vrstvou čistého epoxidu nebo zamezit tvorbě bublin celkově změnou procesu při natírání čirým epoxidem. Např. by před potíráním byl epoxid vložen do vakua, aby z něj byly odsáty všechny bubliny a poté teprve přetřen náš výrobek.

č.	Posuzovaná vlastnost	Výsledek výroby
1.	Tloušťka	Výsledný průměr odpovídá a vyhovuje
2.	Výška	Výsledná výška vyhovuje
3.	Tvar	Shodný s originálem, vyhovuje
4.	Ergonomie	Na velikost mé ruky vyhovující
5.	Kvalita povrchu – lesk	Povrch je jemně lesklý, méně než očekávaný, ale vyhovující
6.	Kvalita povrchu – barva	Barva povrchu jednolitá, bez nežádáných příměsí, vyhovuje
7.	Kvalita povrchu – bubliny	Povrch na pohledové části bubliny téměř neobsahuje, vyhovuje
8.	Kvalita povrchu – spoj	Nacházející se spoj na pohledové části netvoří zásadní vzhledový problém, vyhovuje
9.	Hmotnost	Při řazení je hmotnost dostatečná, srovnatelná s původní, originální, vyhovuje

Tabulka 1 Posouzení stavu a vlastností při experimentální výrobě

6.2.11 Použitelnost formy pro další výroby



Obrázek 46a) Levá a horní lisovací forma po vyjmutí výrobku b) Pravá lisovací forma po vyjmutí výrobku

Buď z důvodu přehřátí nebo příliš nízké teploty pracovního prostředí se na formě (obrázky 46a,b) po bocích stykových ploch vytvořily malé důlky, formy tedy můžeme použít znovu, ale musí se počítat se zhoršením kvality povrchu a zvětšením odřezu. Tedy post proces samotného výrobku bude mírně vyšší.

Č. Operace	Operace	Pomůcky, nástroje
1.	Očištění povrchu formy	Technický lín, hadřík
2.	Příprava formy - voskování	Separční vosk
3.	Příprava epoxidové pryskyřice	Epoxidová pryskyřice - složky A,B, míchadlo, váha
4.	Příprava uhlíkového vlákna	Váha
5.	Míchání uhlíkového vlákna s pryskyřicí	Míchadlo
6.	Nanášení kompozitní směsi	Štětec, míchadlo
7.	Vytvrzování	-
8.	Vyjmутí z formy	Plochy šroubovák
9.	Ořezání dílu	Modelářská bruska, zalamovací nůž
10.	Broušení povrchu	Smirkový papír
11.	Očištění povrchu dílce	Technický lín, hadřík
12.	Příprava epoxidové pryskyřice	Epoxidová pryskyřice - složky A,B, míchadlo, váha
13.	Nanášení čiré vrstvy epoxidu	Štětec
14.	Broušení povrchu	Smirkový papír
15.	Leštění	Leštící kotouč, leštící pasta
16.	Očištění povrchu	Technický lín, hadřík

Tabulka 2 Postup výroby

KONKRÉTNÍ APLIKACE LISOVÁNÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Nejaktuálnějšími a nejpodobnějšími použitími lisování kompozitních materiálů pomocí 3D tisku popisuje ve videích na stránkách firma Easycomposites, která tímto způsobem rozšiřuje znalost a povědomí o přípravě a výrobě kompozitních materiálu za použití jejich produktů. Firma Easycomposites je jedním z nejznámějších prodejců pro malovýrobce, proto byla zvolena pro nákup materiálů. [32]

6.3 Tiskárna konkrétní aplikace

3D tiskárny jsou využívány obecně na prototypovou výrobu, malosériovou výrobu anebo na výrobu těžce vyrobitelných dílů jinými výrobními postupy.

6.4 Možnost jiného materiálů formy

Z důvodu mírné deformace formy by bylo možno použít lepších materiálů (s větší pevností a výdrží proti tepelným vlivům), jako je například PETG- polyethylentereftalátglykol. PETG má mnohem lepší vlastnosti oproti použitému PLA- polyaktid. Některé firmy používají i plněné 3D tiskové vlákna, které spojují vlastnosti např. uhlíkových vláken a PETG filamentu.

Obecně řečeno PETG má vyšší pevnost a větší tepelnou odolnost.

Formy s větší životností a lepší kvalitou povrchu lze také vytvořit například z jiného druhu kompozitního materiálu (případně přímo prepregu uhlíkových vláken, skelných vláken), problém těchto variant je že už se můžou cenově velmi lišit s 3D tiskem.

[33], [34]

6.5 Výpočet ceny materiálu

Dle přibližného výpočtu pomocí programu Cura (program pro vytváření G-kódu) bylo na výrobu formy použito 320g PLA materiálu (s cenou materiálu zhruba 500,- Kč/kg). Celková doba tisku byla 24 hodin. (spotřebu tedy počítáme přibližně 2 kWh, s cenou elektřiny počítáme 3,74kč/kWh).

Bez ohledu na cenu práce byla celková cena formy (materiál+cena tisku) přibližně 167,- Kč.

[31], [35]

6.6 Konkurenceschopnost na trhu

Díky velmi nízké ceně formy a přípravě pro lisování, lze tvořit cenově dostupné malosériové malé kusy z kompozitních materiálů. Díky velmi specifickému využití nebyly nalezeny žádné weby které by výrobu komerčně prováděly. I na internetu lze najít mnoho výukových videí a postupů vysvětlujících podobné typy výroby. Avšak díky porovnání ceny podobných výrobku s náklady námi vylisované součástky, by výroba mohla být proveditelná a profitabilní. [32]

ZÁVĚR

Teoretická část je rozdělena na 4 základní kapitoly. První kapitola popisuje jednotlivé kompozitní materiály rozdělené dle druhu vláken a matric. Druhá kapitola popisuje výrobu a použití různých materiálů a typů forem pro všechny způsoby výroby kompozitních materiálů. Dále popisuje jednotlivé způsoby výroby kompozitních materiálů a v neposlední řadě jejich využití v různých průmyslových odvětvích.

V praktické části jsem se zaměřil na modelování a výrobu formy 3D tiskem. Popisují vlastnosti použitého materiálu a případné alternativy pro zlepšení celkových vlastností. Další část nám popisuje přípravu zkušebního výrobku, kde bylo cílem zjištění celková proveditelnost jakékoli další výroby tímto způsobem. Zkušební kus nevykazoval žádné větší povrchové vady kromě vytváření drobných bublinek, takže při výrobě finálního výrobku na to byl dbán důraz.

Dále byla popsána experimentální výroba našeho výrobku, také jeho broušení a povrchová úprava pro zkvalitnění vzhledu. Výrobek se povedl i s vytvořením závitů a dosahuje dostatečných kvalit jak povrchu tak váhy.

V neposlední řadě byl porovnán stav před a po výrobě lisováním a zjištěna možnost další výroby touto formou, kde daná forma je mírně poškozená, ale bylo by možné ji případně použít pro výrobu dalšího kusu. Také byla navrhována změna materiálu 3D tištěné formy na PETG s větší pevností.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] REDDY NAGAVALLY, RAHUL. *COMPOSITE MATERIALS - HISTORY, TYPES, FABRICATION TECHNIQUES, ADVANTAGES, AND APPLICATIONS*. Bengaluru, India: Kakatiya Institute of Technology & Science, Warangal, Telangana, India, 2016. ISBN 978-93-86083-69-2.
- [2] SINGH, Balwant, Raman KUMAR a Jasgurpreet SINGH CHOCHAN. Polymer matrix composites in 3D printing. *Materials Today: Proceedings*. 2020, **2020**(333), 1562-1567. ISSN 2214-7853.
- [3] KUMAR SHARMA, Arun, Rakesh BHANDARI, Amit AHERWAR a Ruta RIMAŠAUSKIENE. Matrix materials used in composites: A comprehensive study. *Materials Today: Proceedings 21*. Galgotias Coll Engn & Technol, Greater Noida, INDIA, 2019, **2020**(3), 1559-1562. ISSN 2214-7853.
- [4] CANTOR, Brian, Fionn DUNNE a Ian STONE. *Metal and Ceramic Matrix Composites*. 1. Boca Raton, Florida: Taylor and Francis Group LLC, 2003. ISBN 13:978-1-4200-3397-7.
- [5] LAŠ, Vladislav. *Mechanika kompozitních materiálů*. 1.vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2004. ISBN 80-704-3273-X.
- [6] Recent progress of reinforcement materials: a comprehensive overview of composite materials. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019, **2019**(86), 6354-6374. ISSN 2238-7854.
- [7] CANTEA, T, L.K. GRUNENFELDER a S.R. NUTT. A review of out-of-autoclave prepregs – Material properties, process phenomena, and manufacturing considerations. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2015, **2015**(15), 132-154. ISSN 1359-835X.
- [8] VIJAY, N., V. RAJKUMARA a P. BHATTACHARJEE. Assessment of Composite Waste Disposal in Aerospace Industries. *Procedia Environmental Sciences* [online]. 2016, **35**, 563-570 [cit. 2024-02-06]. ISSN 18780296. Dostupné z: doi:10.1016/j.proenv.2016.07.041
- [9] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [10] CAMPBELL, F.C. *Structural Composite Materials*. 1st. print. Materials park, OH: ASM International, 2010. ISBN 978-1-61503-037-8.
- [11] EASY COMPOSITES LTD. *Easy Composites* [online]. 2022 [cit. 2024-02-12]. Dostupné z: <https://www.easycomposites.eu/>
- [12] HAVEL-COMPOSITES. Technologie výroby kompozitů. In: *Havel-composites* [online]. 2018-2024 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: https://www.havel-composites.com/uploads/files/Technologie%20v%C3%BDroby%20kompozit%C5%AF.pdf?fbclid=IwAR2XdjLKIX4d2ppeG5xGhbV7M3yhl9ngLkOzUAs8tiuC77kYwzrrEZd_3Vg
- [13] WANG, Ru-Min, Shui-Rong ZHENG a Ya-Ping ZHENG. *Polymer matrix composites and technology*. 1st ed. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2011. ISBN 978-0-85709-222-9.
- [14] IT-MENG, LOW a YU DONG. *COMPOSITE MATERIALS Manufacturing, Properties, and Applications*. 1st. Matthew Deans, 2021. ISBN 978-0-12-820512-9.

- [15] *Damage and Repair of Aerospace Composite Materials*. 1st ed. Warrendale, Pennsylvania, USA: SAE International, 2020. ISBN 978-0-7680-0098-6.
- [16] IRVING, Philip a Constantinos SOUTIS. *Polymer Composites in the Aerospace Industry*. 2nd ed. Cranfield, United Kingdom: Matthew Deans, 2020. ISBN 978-0-08-102679-3.
- [17] REJL, Oldřich. *Kompozitní materiály ve stavebnictví* [online]. 2013 [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/stresni-okna/9909-kompozitni-materialy-ve-stavebnictvi>
- [18] *CO TVOŘÍ LYŽI ANEB TUHOST, FLEXE, HMOTNOST A MATERIÁLY* [online]. 2023 [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://snow.cz/clanek/3654-co-tvori-lyzi-aneb-tuhost-flexe-hmotnost-a-materialy>
- [19] TOBIÁŠ, Jiří. *Základní rozdíly mezi holemi a jejich složení* [online]. 2016 [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://hokejman.cz/navody/zakladni-rozdily-holemi-slozeni/>
- [20] *VÝBĚR HOKEJOVÝCH HOLÍ* [online]. 2024 [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://www.tempish.com/cz/poradna/rady-a-tipy/hokejove-hole/vyber-hokejovych-holi>
- [21] *Vše o helmách na motorku* [online]. 2024 [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://www.motogaraz.cz/blog/novinky/vse-o-helmach-na-motorku#:~:text=Jde%20o%20kompozitn%C3%AD%20sm%C4%9Bs%20aramidov%C3%BDch,pr%C5%AFrazu%20je%20dokonce%20je%C5%A1t%C4%9B%20p%C5%99evy%C5%A1uj%C3%AD.>
- [22] BAUERHOCKEY. *Hůl BAUER* [online]. 2024 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.bauerhockey.cz/hul-bauer-s22-ag5nt-grip-stk-int-5557-1060698>
- [23] PUJCOVNA-PISEK. *Lyže* [online]. 2024 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://pujcovna-pisek-cz.webnode.cz/lyze-v-pujcovne/>
- [24] STRIKEFACE.CZ. *TEORIE O KRYCÍ PLOŠE BALISTICKÝCH PLÁTŮ* [online]. 2020 [cit. 2024-04-16]. Dostupné z: <https://www.strikeface.cz/blog/kryci-plocha-balistickych-platu/>
- [25] U.S. DEPARTMENT OF JUSTICE. *Ballistic Resistance of Body Armor*. 1. Washington, DC 20531: National Institute of Standards and Technology, 2008.
- [26] DIPAYAN, Das a Pourdeyhimi BEHNAM, ed. *Composite nonwoven materials*. 1st online ed. United Kingdom: Elsevier, 2014. ISBN 978-0-85709-770-5.
- [27] GOODSHIP, Vannessa. *Management, recycling and reuse of waste composites*. 1st ed. Great Abington, Cambridge: Woodhead publishing, 2010. ISBN 978-1-84569-766-2.
- [28] MASON, Hannah. COMPOSITEWORLD. *Recycling end-of-life composite parts: New methods, markets* [online]. 2021, 28.1.2023 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.compositesworld.com/articles/recycling-end-of-life-composite-parts-new-methods-markets>
- [29] Z1 MOTORSPORT INC. *Nismo Black Aluminum Shift Knob* [online]. 2019 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.z1motorsports.com/manual-transmission/nismo/nismo-black-aluminum-shift-knob-p-2919.html>
- [30] JAPEX LTD. [online]. 2024 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: http://www.japextrading.com/index_en.html
- [31] CREALITY. *Ender 1.75mm PLA+ 3D Printing Filament 1kg* [online]. 2024, 2024 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: https://store.creality.com/eu/products/ender-1-75mm-pla-3d-printing-filament-1kg-4l99?spm=..collection_0bb59cd2-5dea-4621-925e-

- 900bcd072f82.albums_1.1&spm_prev=..collection_f039d777-5efa-459f-ae24-276dcb248e28.header_1.1
- [32] EASY COMPOSITES LTD. *Easy Composites* [online]. 2024 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.easycomposites.eu/learning>
- [33] PRUSA3D. *Prusament PETG Carbon Fiber* [online]. 2024 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/prusament-petg-carbon-fiber-black-1kg/>
- [34] CREALITY. *CR-PETG 3D Printing Filament* [online]. 2024 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: https://store.creality.com/eu/products/cr-petg-3d-printing-filament-1kg?cfb=4e6ce5c5-f008-4524-8da3-20b8584b2979&ifb=4e6ce5c5-f008-4524-8da3-20b8584b2979&scm=search.v39.101.102.103.104&score=1&ssp=&spm=..search.search_1.1
- [35] ENERGIE123. *Cena elektřiny* [online]. 2024 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/#:~:text=Cena%201%20kWh%20pro%20rok,3%2C78%20K%C4%8D%20%2F%20kWh.>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PMC – Polymer matrix composites (kompozity s polymerní matricí)

CMC – Ceramic matrix composites (kompozity s keramickou matricí)

MMC – Metal matrix composites (kompozity s kovovou matricí)

AF – Aramid fiber (aramidová vlákna)

CF – Carbon Fiber (uhlíková vlákna)

PAN – Polyakrylonitril

SMC – Lisování za tepla

DMC – lisovací těsta

BMC – Lisovací směsi

RTM – Vakuo-injekční technologie

PLA – Polyaktid

PETG – Polyethylentereftalátglykol

CFRP – Carbon fiber reinforced plastic (plast vyztužený uhlíkovými vlákny)

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Posouzení stavu a vlastností při experimentální výrobě.....	48
Tabulka 2 Postup výroby	49

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Typy kompozitů dle druhu matrice	11
Obrázek 2 Modul pružnosti několik typů keramických matric	13
Obrázek 3 Rozdělení kompozitních materiálů dle výztuže	14
Obrázek 4 Částicově vyztužené kompozity	15
Obrázek 5 Kompozity vyztužené krátkými (náhodnými) vlákny	15
Obrázek 6 Kompozity vyztužené dlouhými vlákny (kontinuální vlákna)	15
Obrázek 7 A- Schéma a mikrostruktura vrstvení prepreg materiálu, B- Schéma vrstvení ve výrobě	16
Obrázek 8 Druhy kompozitních materiálů (podle materiálu výztuže)	17
Obrázek 9 Skleněný roving	18
Obrázek 10 Rohož vyztužená sklem	18
Obrázek 11 Sekané skleněné vlákno	18
Obrázek 12 Aramidové vlákno 300g 2x2 keprová vazba	19
Obrázek 13 Karbonové vlákno 200g 2x2 keprová vazba	20
Obrázek 14 Sekané uhlíkové vlákno	21
Obrázek 15 550g 2x2 keprová tkanina z lněných vláken	21
Obrázek 16 Karbon-kevlarová tkanina 210g 3x1 keprová vazba	22
Obrázek 17a) Skelná příze	22
Obrázek 17b) Uhlíkový roving	22
Obrázek 18a) Spředený roving	23
Obrázek 18b) Skelná rohož	23
Obrázek 18c) Krátká skelná vlákna	23
Obrázek 19a) Plátňová vazba	24
Obrázek 19b) Keprová vazba	24
Obrázek 19c) Atlasová (saténová) vazba	24
Obrázek 20 Vysokohustotní polyuretanová modelovací deska	25
Obrázek 21 Ruční laminace	26
Obrázek 22 Stříkání (Spray-up)	27
Obrázek 23 Lisování vakuem	29
Obrázek 24 Lisování za tepla SMC	30
Obrázek 25 Morfující zadní spoiler vyrobený z měkkých kompozitů s tkaným SMA (A) rozměr morfujícího automobilového spoileru a (B) morfující spoiler u (v měřítku) modelu automobilu	32
Obrázek 26 Celokompozitová ocasní sestava letounu Airbus A380 s korunou trupu	33
Obrázek 27a) Kompozitová hokejka	34

Obrázek 27b) Řez sjezdovou lyží	34
Obrázek 28 Visutá lávka z listů větrných turbín.....	36
Obrázek 29a) Spodní část zkušební formy	39
Obrázek 29b) Horní část zkušební formy	39
Obrázek 30a) Příprava G-kódu spodní formy.....	39
Obrázek 30b) Příprava G-kódu horní formy.....	39
Obrázek 31a) Naplnění formy – mix epoxid – drcené uhlíkové vlákno.....	40
Obrázek 31b) Lisování – pomocí svorek - rovnoměrný, co největší stisk	40
Obrázek 32a) Výlisek focený ihned po vytáhnutí z formy	40
Obrázek 32b) Výlisek po vybroušení a vyleštění	40
Obrázek 33 vlevo originální velikost řadičky Nismo s reálnou velikostí, vpravo zvětšený model	41
Obrázek 34a) Model a rozměry řadičky	41
Obrázek 34b) Fotka originální řadičky	41
Obrázek 35 Měření stoupání závitu pomocí měřky závitů	42
Obrázek 36a) Forma levý bok	42
Obrázek 36b) Forma pravý bok.....	42
Obrázek 36c) Vrchní část formy.....	42
Obrázek 37a) 3D model řadičky	43
Obrázek 37b) Vytisknutá maketa řadičky.....	43
Obrázek 38 Filament PLA použitý při výrobě obou forem, jak zkušební tak finální formy řadičky	43
Obrázek 39a) Příprava G-kódu pro tisk.....	44
Obrázek 39b) Vytisknutá forma řadičky.....	44
Obrázek 40a) Navoskované části formy	44
Obrázek 40b) Navoskovaný závit.....	44
Obrázek 40c) Použitý separační vosk	44
Obrázek 41a) Mixování epoxidu a uhlíkového vlákna	45
Obrázek 41b) Sevření formy svorkami.....	45
Obrázek 42 Řadička ihned po vyjmutí z formy	45
Obrázek 43a) Řadička obroušená od otřepů	46
Obrázek 43b) Nanášení čirého epoxidu.....	46
Obrázek 43c) Tuhnutí epoxidu	46
Obrázek 44 Výrobek řadičky nasazený na kulise řazení vozu Toyota	47
Obrázek 45a) Boční fotografie hotového výrobku	47
Obrázek 45b) Horní fotografie hotového výrobku	47

Obrázek 46a) Levá a horní lisovací forma po vyjmutí výrobku.....	48
Obrázek 46b) Pravá lisovací forma po vyjmutí výrobku.....	48

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkres radičky

Příloha P II: Výkres Forma levá

Příloha P III: Výkres Forma pravá

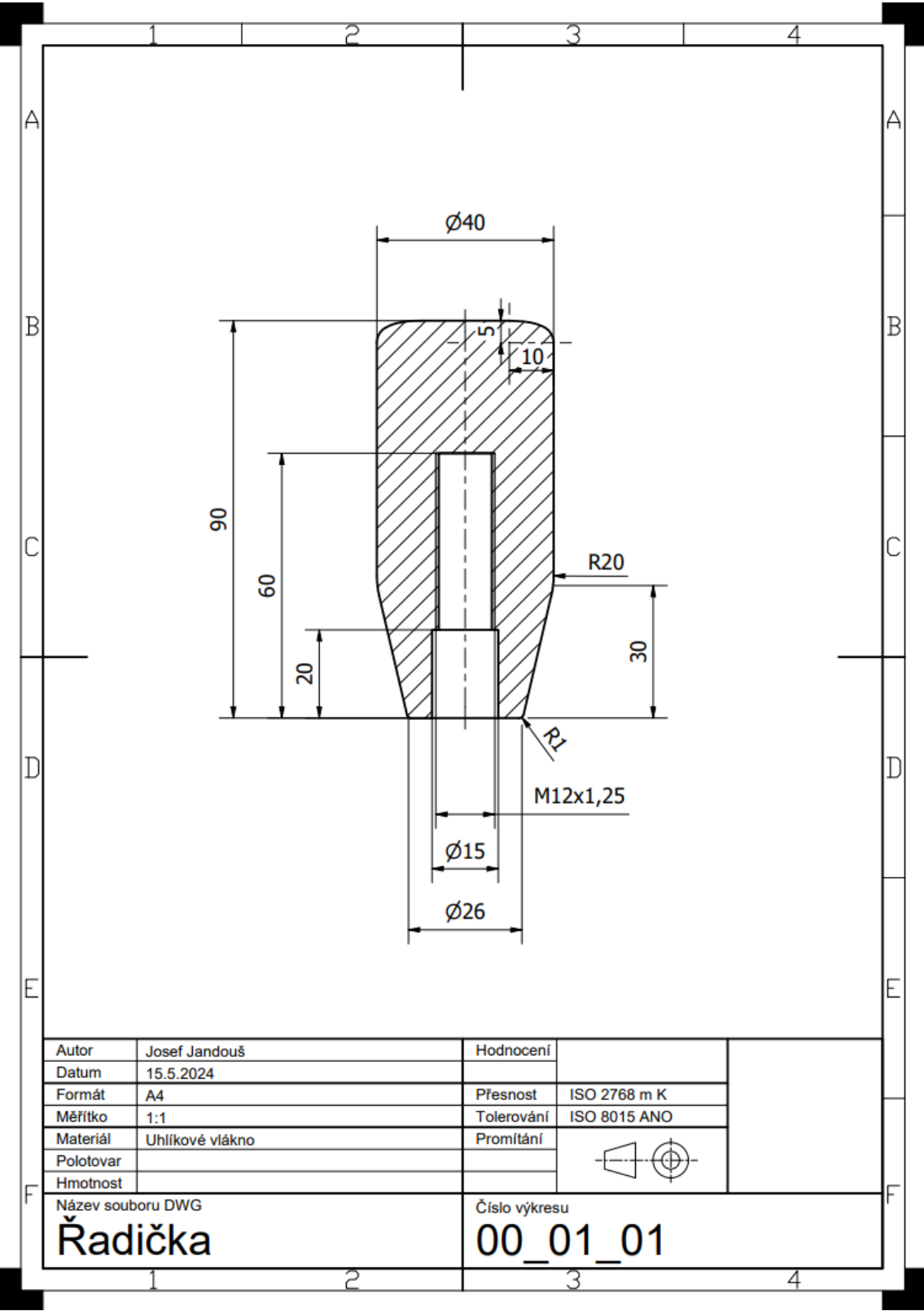
Příloha P IV: Výkres Forma vrchní

Příloha P V: Technologický list separačního vosku

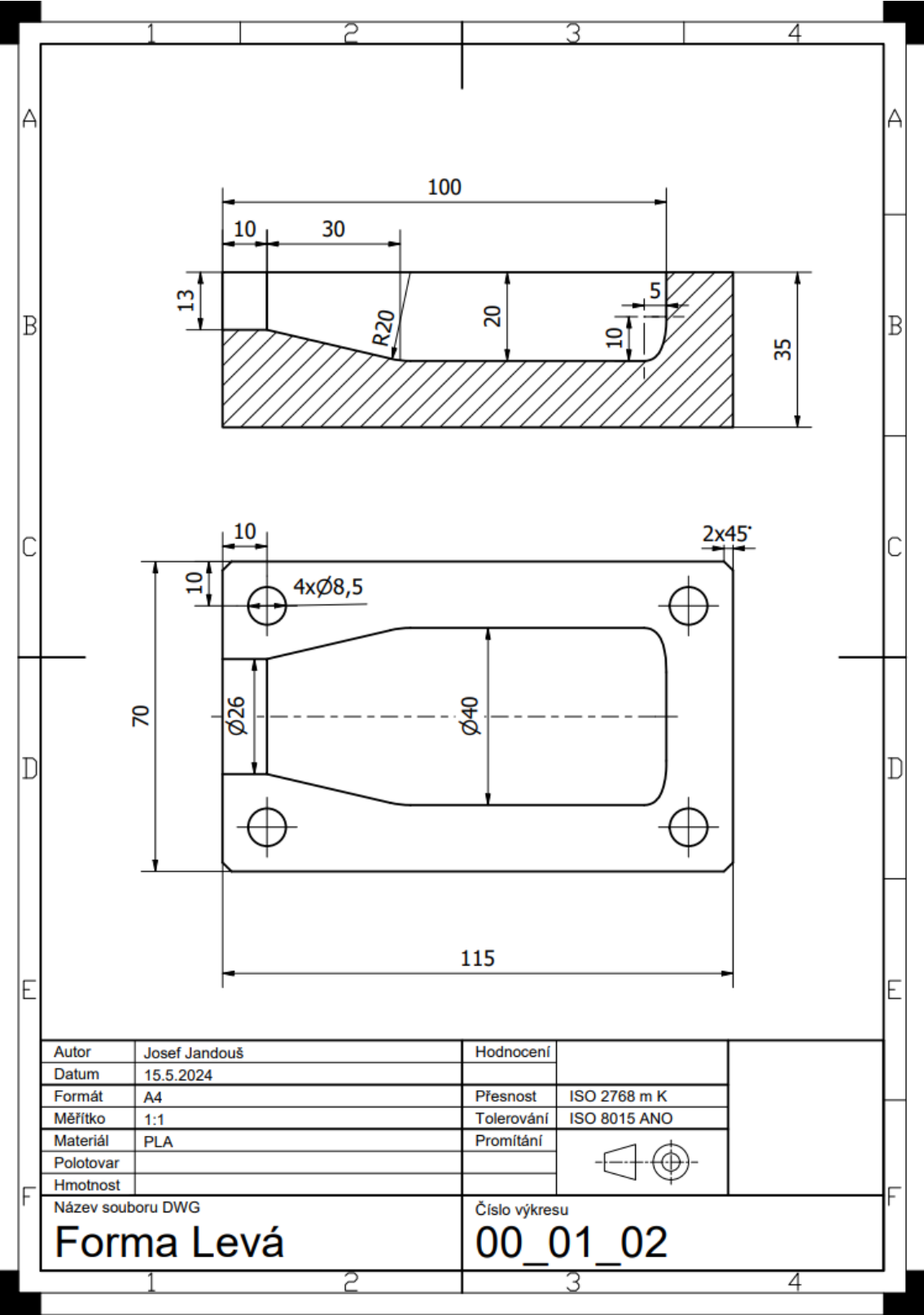
Příloha P VI: Technologický list uhlíkových vláken

Příloha P VII: Technologický list epoxidové pryskyřice

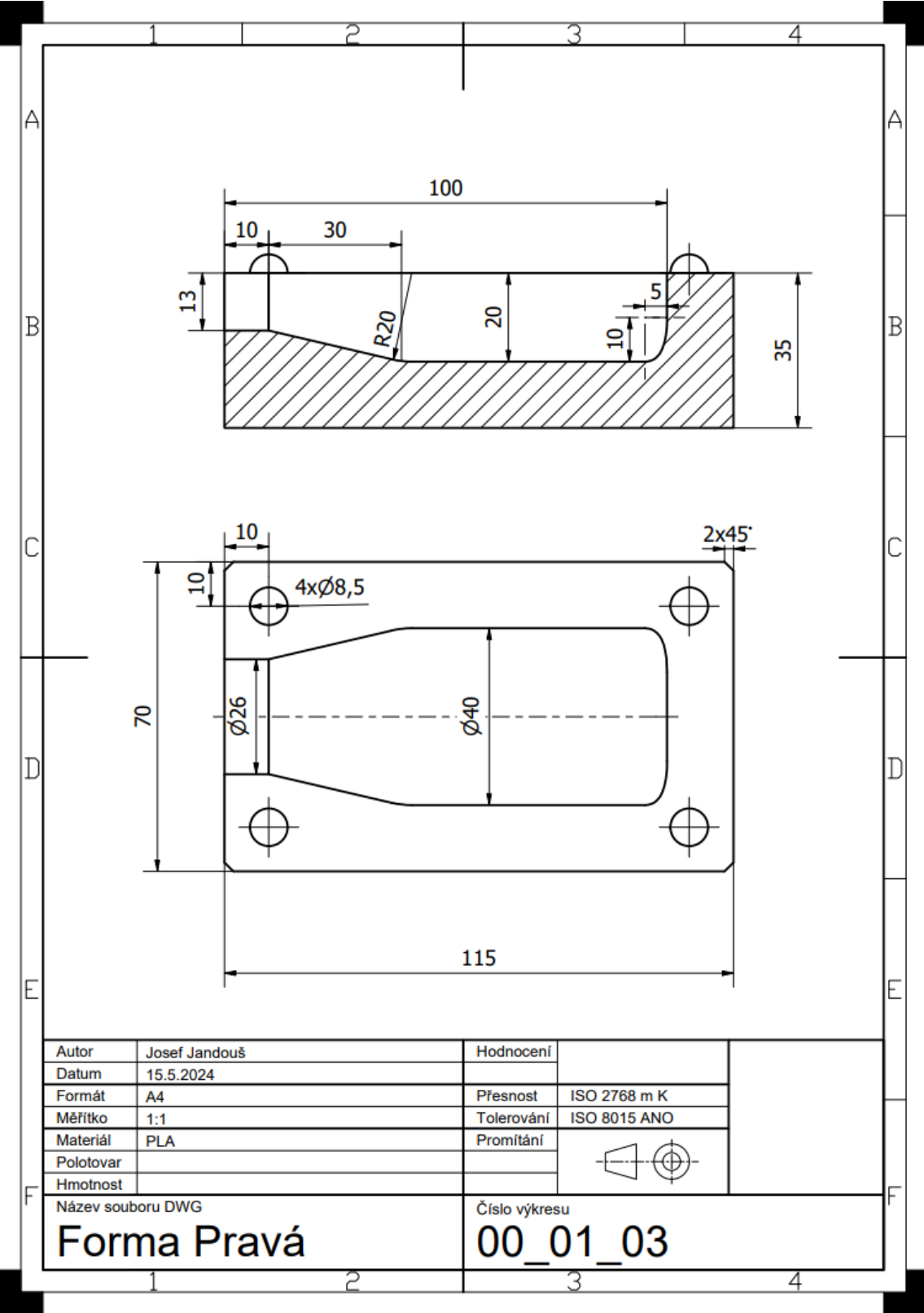
PŘÍLOHA P I: VÝKRES ŘADIČKY



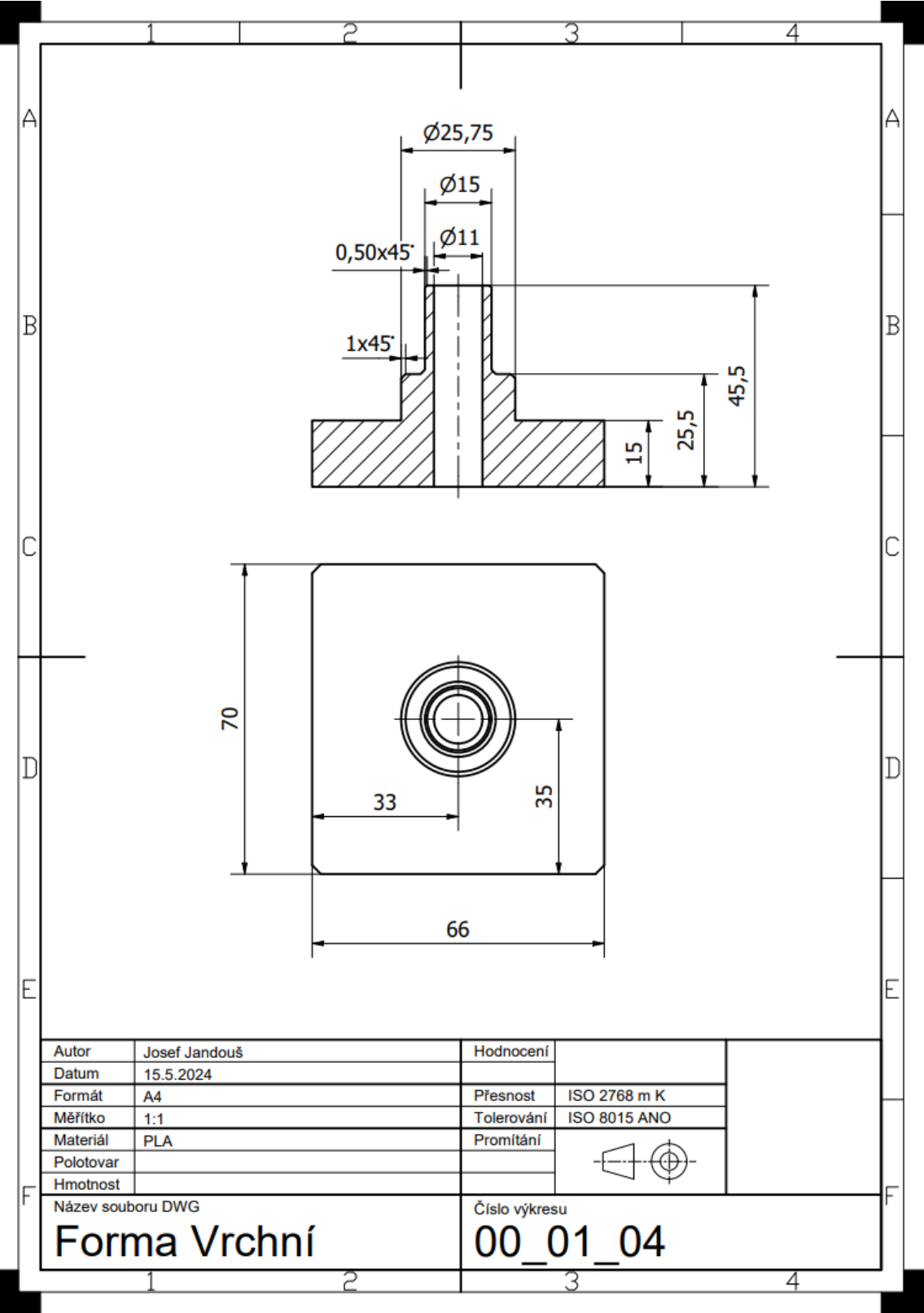
PŘÍLOHA P II: VÝKRES FORMA LEVÁ



PŘÍLOHA P III: VÝKRES FORMA PRAVÁ



PŘÍLOHA P IV: VÝKRES FORMA VRCHNÍ



PŘÍLOHA V: TECHNOLOGICKÝ LIST SEPARAČNÍHO VOSKU



RW4 High Build Spray Wax Release Agent

Safety Data Sheet

according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH) with its amendment Regulation (EU) 2015/830 Revision
date: 29/11/2022 Version: 10.0

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

1.1. Product identifier

Product form : Mixture
Trade name : RW4 High Build Spray Wax Release Agent
Product code : RW4
Vaporizer : Aerosol

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

1.2.1. Relevant identified uses

Main use category : Professional use, Industrial use
Use of the substance/mixture : Release agent

1.2.2. Uses advised against

No additional information available

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

Easy Composites Ltd
Unit 39, Park Hall Business Village, Stoke on Trent,
Staffordshire,
ST3 5XA.
United Kingdom.

Tel: +44 (0)1782 454499 -
sales@easycomposites.com

1.4. Emergency telephone number

Emergency number : +44 (0)1782 454499 (working hours only)

SECTION 2: Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture

Classification according to Regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP]

Aerosol, Category 1	H222;H229
Skin corrosion/irritation, Category 2	H315
Specific target organ toxicity – Single exposure, Category 3, Narcosis	H336
Hazardous to the aquatic environment – Chronic Hazard, Category 2	H411

Full text of H- and EUH-statements: see section 16

Adverse physicochemical, human health and environmental effects

Pressurised container: May burst if heated. Extremely flammable aerosol. May cause drowsiness or dizziness. Causes skin irritation. Toxic to aquatic life with long lasting effects.

2.2. Label elements

Labelling according to Regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP]

Hazard pictograms (CLP) :



GHS02

GHS07

GHS09

Signal word (CLP)

: Danger

Contains

: Hydrocarbons, C7, n-alkanes, isoalkanes, cyclics; Hydrocarbons, C7-C9, n-alkanes, isoalkanes, cyclics; Hydrocarbons, C6-C7, n-alkanes, isoalkanes, cyclics, <5% n-hexane; Hydrocarbons, C9-C10, n-alkanes, isoalkanes, cyclics, <2% aromatics; butan-2-ol

RW4 High Build Spray Wax Release Agent

Safety Data Sheet

according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH) with its amendment Regulation (EU) 2015/830

Hazard statements (CLP)	: H222 - Extremely flammable aerosol. H229 - Pressurised container: May burst if heated. H315 - Causes skin irritation. H336 - May cause drowsiness or dizziness. H411 - Toxic to aquatic life with long lasting effects.
Precautionary statements (CLP)	: P210 - Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other ignition sources. No smoking. P211 - Do not spray on an open flame or other ignition source. P251 - Do not pierce or burn, even after use. P261 - Avoid breathing dust/fume/gas/mist/vapours/spray. P391 - Collect spillage. P410+P412 - Protect from sunlight. Do not expose to temperatures exceeding 50 °C, 122 °F.

2.3. Other hazards

Contains no PBT/vPvB substances $\geq 0.1\%$ assessed in accordance with REACH Annex XIII

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1. Substances

Not applicable

3.2. Mixtures

Name	Product identifier	%	Classification according to Regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP]
Hydrocarbons, C7, n-alkanes, isoalkanes, cyclics	CAS-No.: 64742-49-0 EC-No.: 927-510-4 EC Index-No.: 601-008-00-2 REACH-no: 01-2119475515-33	25 – 50	Flam. Liq. 2, H225 Skin Irrit. 2, H315 STOT SE 3, H336 Asp. Tox. 1, H304 Aquatic Chronic 2, H411
Hydrocarbons, C7-C9, n-alkanes, isoalkanes, cyclics	CAS-No.: 64742-49-0 EC-No.: 920-750-0 REACH-no: 01-2119473851-33	1 – 25	Flam. Liq. 2, H225 STOT SE 3, H336 Asp. Tox. 1, H304 Aquatic Chronic 2, H411
Hydrocarbons, C6-C7, n-alkanes, isoalkanes, cyclics, <5% n-hexane	CAS-No.: 64742-49-0 EC-No.: 921-024-6 REACH-no: 01-2119475514-35	1 – 25	Flam. Liq. 2, H225 Skin Irrit. 2, H315 STOT SE 3, H336 Asp. Tox. 1, H304 Aquatic Chronic 2, H411
Hydrocarbons, C9-C10, n-alkanes, isoalkanes, cyclics, <2% aromatics	CAS-No.: 64742-48-9 EC-No.: 927-241-2 REACH-no: 01-2119471843-32	1 – 25	Flam. Liq. 3, H226 STOT SE 3, H336 Asp. Tox. 1, H304 Aquatic Chronic 3, H412
butan-2-ol	CAS-No.: 78-92-2 EC-No.: 201-158-5 EC Index-No.: 603-127-00-5	1 – 25	Flam. Liq. 3, H226 Eye Irrit. 2, H319 STOT SE 3, H336 STOT SE 3, H335

Product subject to CLP Article 1.1.3.7. The disclosure rules of the components is modified in this case.

Full text of H- and EUH-statements: see section 16

PŘÍLOHA VI: TECHNOLOGICKÝ LIST UHLÍKOVÝCH VLÁKEN



SAFETY DATA SHEET

CHOPPED TOW

Page: 1

Compilation date: 05/02/2016

Revision date: 4/5/2016

Revision No: 2

Section 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1. Product identifier

Product name: CHOPPED TOW

CAS number: 7440-44-0

Product code:

Synonyms: CARBON FIBRE

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

Company name: Easy Composites Ltd
Unit 39, Park Hall Business Village
Longton, Stoke on Trent
Staffordshire
ST3 5XA
United Kingdom

Tel: +44 (0) 1782 454499

Email: sales@easycomposites.co.uk

1.4. Emergency telephone number

Emergency tel: +44 (0) 1782 454499
(office hours only)

Section 2: Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture

Classification under CLP: This product has no classification under CLP.

2.2. Label elements

Label elements: This product has no label elements.

2.3. Other hazards

PBT: This product is not identified as a PBT/vPvB substance.

Section 3: Composition/information on ingredients

3.1. Substances

Chemical identity: CHOPPED TOW

CAS number: 7440-44-0

[cont...]

PŘÍLOHA VII: TECHNOLOGICKÝ LIST EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



IN2 Epoxy Infusion Resin

Version
7.0 SDB_GB

Revision Date:
19.04.2024

Date of last issue: 17.10.2023
Date of first issue: 27.12.2012

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

1.1 Product identifier

Trade name : IN2 Epoxy Infusion Resin

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Type of Application (Use) : Casting Resin

Recommended restrictions on use : For industrial use only.

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company : Easy Composites Ltd
Unit 39 Park Hall Business Village,
Longton, Stoke-on-Trent, ST3 5XA

Telephone 01782 454499

E-mail address sales@easycomposites.co.uk

1.4 Emergency telephone number

01782 454499 (office hours only)

SECTION 2: Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification (REGULATION (EC) No 1272/2008)

Skin irritation, Category 2	H315: Causes skin irritation.
Eye irritation, Category 2	H319: Causes serious eye irritation.
Skin sensitisation, Category 1	H317: May cause an allergic skin reaction.
Long-term (chronic) aquatic hazard, Category 2	H411: Toxic to aquatic life with long lasting effects.

2.2 Label elements

Labelling (REGULATION (EC) No 1272/2008)

Hazard pictograms :



Signal word : Warning

Hazard statements : H315 Causes skin irritation.

IN2 Epoxy Infusion Resin

Version	Revision Date:	Date of last issue: 17.10.2023
7.0 SDB_GB	19.04.2024	Date of first issue: 27.12.2012

H317 May cause an allergic skin reaction.
H319 Causes serious eye irritation.
H411 Toxic to aquatic life with long lasting effects.

Precautionary statements : **Prevention:**
P261 Avoid breathing mist or vapours.
P264 Wash skin thoroughly after handling.
P273 Avoid release to the environment.
P280 Wear protective gloves/ eye protection/ face protection.

Response:
P333 + P313 If skin irritation or rash occurs: Get medical advice/ attention.
P391 Collect spillage.

Hazardous components which must be listed on the label:

bis-[4-(2,3-epoxipropoxy)phenyl]propane

Phenolic epoxy resin F-44

1,6-bis(2,3-epoxypropoxy)hexane

2.3 Other hazards

This substance/mixture contains no components considered to be either persistent, bioaccumulative and toxic (PBT), or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) at levels of 0.1% or higher.

Ecological information: The substance/mixture does not contain components considered to have endocrine disrupting properties according to REACH Article 57(f) or Commission Delegated regulation (EU) 2017/2100 or Commission Regulation (EU) 2018/605 at levels of 0.1% or higher.

Toxicological information: The substance/mixture does not contain components considered to have endocrine disrupting properties according to REACH Article 57(f) or Commission Delegated regulation (EU) 2017/2100 or Commission Regulation (EU) 2018/605 at levels of 0.1% or higher.

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.2 Mixtures

Chemical nature : Modified epoxy resin

Components

Chemical name	CAS-No. EC-No. Index-No. Registration number	Classification	Concentration (% w/w)
bis-[4-(2,3-epoxipropoxy)phenyl]propane	1675-54-3 216-823-5 603-073-00-2 01-2119456619-26	Skin Irrit. 2; H315 Eye Irrit. 2; H319 Skin Sens. 1; H317 Aquatic Chronic 2;	>= 30 - < 50

IN2 Epoxy Infusion Resin

Version
7.0 SDB_GB

Revision Date:
19.04.2024

Date of last issue: 17.10.2023
Date of first issue: 27.12.2012

		H411 specific concentration limit Eye Irrit. 2; H319 ≥ 5 % Skin Irrit. 2; H315 ≥ 5 % Eye Irrit. 2; H319 ≥ 5 % Skin Irrit. 2; H315 ≥ 5 %	
Phenolic epoxy resin F-44	Not Assigned 01-2119454392-40	Skin Irrit. 2; H315 Skin Sens. 1; H317 Aquatic Chronic 2; H411	≥ 30 - < 50
1,6-bis(2,3-epoxypropoxy)hexane	933999-84-9 01-2119463471-41	Skin Irrit. 2; H315 Eye Irrit. 2; H319 Skin Sens. 1; H317 Aquatic Chronic 3; H412	≥ 20 - < 25
propylene carbonate	108-32-7 203-572-1 607-194-00-1	Eye Irrit. 2; H319	≥ 1 - < 3

For explanation of abbreviations see section 16.

SECTION 4: First aid measures

4.1 Description of first aid measures

- General advice : Keep warm and in a quiet place.
Show this safety data sheet to the doctor in attendance.
Take off all contaminated clothing immediately.
- If inhaled : Move to fresh air.
Keep patient warm and at rest.
If unconscious, place in recovery position and seek medical advice.
If symptoms persist, call a physician.
If breathing is irregular or stopped, administer artificial respiration.
- In case of skin contact : Wash off immediately with soap and plenty of water.
Do NOT use solvents or thinners.
If on clothes, remove clothes.
If skin irritation persists, call a physician.
- In case of eye contact : Rinse immediately with plenty of water, also under the eyelids, for at least 15 minutes.
If eye irritation persists, consult a specialist.
If easy to do, remove contact lens, if worn.