

Návrh designu, volba materiálu a experimentální testování prototypu holenního chrániče

Bc. Václav Bělaška

Diplomová práce
2015

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Václav Bělaška**
Osobní číslo: **T13688**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh designu, volba materiálu a experimentální testování prototypu holenního chrániče**

Zásady pro vypracování:

1. a. Teoretická část
2. Kompozitní materiály obecně, jejich rozdělení a typy
3. Využití kompozitních materiálů v oblasti sportovního průmyslu
4. b. Experimentální část
5. Návrh modelu holenního chrániče
6. Výroba prototypu a návrh výrobní formy
7. Možnosti materiálového složení pro chránič
8. Experimentální testování dle doporučených norem
9. Vyhodnocení a zpracování naměřených výsledků, výběr neoptimálnějšího materiálového složení
10. Závěr diplomové práce

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

30. ledna 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2015

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ 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 24. 04. 15

Václav Bělaška

¹⁾ 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.

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

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

³⁾ 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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce je návrh a výroba fotbalového holenního chrániče z kompozitního materiálu. Teoretická část obsahuje obecný popis kompozitních materiálů, informace o materiálových možnostech výroby forem, přehled použití kompozitních materiálů v oblasti sportovního průmyslu a také detailní popis holenních chráničů. Experimentální část obsahuje samotný návrh designu chrániče, návrh formy a její výrobu. V další části je popsána výroba chrániče a finální dokončení výrobku. Poslední kapitola je věnována experimentálnímu testování normovaných vzorků.

Klíčová slova: kompozit, skelná a uhlíková vlákna, holenní chránič, lisování, forma

ABSTRACT

The subject of diploma thesis is the design and manufacture of football shin pads made of composite material. The theoretical part includes a general description of composite materials, information about material possibilities of making molds, an overview of the use of composite materials in the sports industry, and also detailed description of shin pads. Experimental part contains the making design of shin pads, mold design and its production. The next section describes the production of pads and final finishing of the product. The last chapter is devoted into experimental testing normalized samples.

Keywords: composite, glass and carbonfibers, shin protector, holding, mold

Poděkování patří paní doc. Ing. Soni Rusnákové, Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady a vedení celé diplomové práce. Za poskytnuté rady a celkovou pomoc při experimentálním testování vzorků děkuji panu Ing. Milanovi Žaludkovi, Ph.D. Děkuji také panu Ing. Ondřejovi Bílkovi Ph.D. za spolupráci při frézování formy.

Za odborné rady při návrhu formy a výrobku děkuji panu Ing. Vladimírovi Rusnákov. Za poskytnutý materiál, ořez hotového výrobku a ochotu spolupracovat děkuji firmě Form s.r.o. Poděkování patří také firmě KOVEX s.r.o, která zajistila frézování první etapy formy.

Děkuji mé rodině za morální a finanční podporu po celou dobu mého studia.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY OBECNĚ	13
1.1 MATRICE.....	13
1.1.1 Metakrylátové pryskyřice (MA-R)	14
1.1.2 Polyestery (UP-R)	14
1.1.3 Epoxidy (EP-R).....	14
1.1.4 Vinylestery (VE-R)	14
1.2 VYZTUŽUJÍCÍ VLÁKNA	15
1.2.1 Roving	15
1.2.2 Tkaniny	15
1.2.3 Rohože.....	16
1.3 SKELNÁ VLÁKNA (GF).....	17
1.4 ARAMIDOVÁ VLÁKNA (AF).....	18
1.5 UHLÍKOVÁ VLÁKNA (CF).....	19
2 MATERIÁLY FOREM PRO VÝROBU KOMPOZITNÍCH DÍLŮ	20
2.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O TYPECH MATERIÁLŮ PRO VÝROBU FOREM	20
2.1.1 Ocel	20
2.1.2 Dřevo - masiv	20
2.1.3 PUR – modelové bloky	21
2.1.4 PUR – modelové pasty.....	21
2.1.5 Nástrojové bloky - Epoxid	21
2.1.6 Ytong.....	21
2.1.7 Uhlíková pěna	21
2.2 TECHNOLOGICKÁ ÚPRAVA FOREM	22
3 PREPREGY	23
3.1 VÝROBA PREPREGŮ	24
3.1.1 Výroba prepregů s reaktoplastickou matricí	24
3.1.2 Základní metody pro výrobu prepregů s termoplastickou matricí	25
3.2 ROZDĚLENÍ DLE GEOMETRIE VÝZTUŽE.....	25
3.2.1 Jednosměrné prepregy.....	25
3.2.2 Vícevrstvé prepregy	26
3.2.3 Kombinované prepregy.....	26
3.3 SPECIÁLNÍ PŘÍPAD – SENDVIČVOVÉ KOMPOZITY	26

4	KOMPOZITNÍ MATERIÁLY V OBLASTI SPORTOVNÍHO PRŮMYSLU	28
4.1	CYKLISTIKA	28
4.2	LODNÍ PRŮMYSL	29
4.3	ZÁVODNÍ AUTOMOBILY	30
4.4	TUNING SPORTOVNÍCH VOZŮ	30
4.5	OSTATNÍ SPORTY	31
4.5.1	Lukostřelba	31
4.5.2	Golf	32
4.5.3	Sportovní střelba	33
4.5.4	Závodní rybaření	33
5	TYPY HOLENNÍCH CHRÁNIČŮ	35
5.1	POLYURETAN (PU)	36
5.2	SKELNÁ A UHLÍKOVÁ VLÁKNA	37
6	CENOVÉ POROVNÁNÍ HOLENNÍCH CHRÁNIČŮ	38
II	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	39
7	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	40
8	NÁVRH HOLENNÍHO CHRÁNIČE	41
8.1	VÝROBA PROTOTYPU	42
8.2	NÁVRH FORMY	42
8.3	VÝROBA FORMY	45
8.3.1	Frézování tvárnice	46
8.3.2	Frézování tvárníku	51
8.4	NÁVRH FORMY PRO SÉRIOVOU VÝROBU	56
8.4.1	Sériová forma s přídavným uchycením k horní desce lisu	57
8.4.2	Sériová forma vícenásobná s přídavným uchycením k horní desce lisu	58
8.4.3	Sériová forma vícenásobná s vytápěnou vložkou	59
8.5	VÝROBA CHRÁNIČE	60
8.5.1	První testovací lisování	61
8.5.2	Lisování	63
8.6	MOŽNOSTI MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ	65
8.7	MOŽNOST POTISKU POHLEDOVÉ STRANY	66
8.8	FINÁLNÍ ÚPRAVY	66
8.9	EKONOMICKÁ KALKULACE	67
9	EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ	69
9.1	OHYBOVÁ ZKOUŠKA	69
9.1.1	Vyhodnocení zkoušky	70
9.2	RÁZOVÁ ZKOUŠKA – CHARPYHO KLADIVO	72
9.2.1	Vyhodnocení zkoušky	73
9.3	RÁZOVÁ ZKOUŠKA – PADOSTROJ	75
9.3.1	Vyhodnocení zkoušky	76
	ZÁVĚR	80
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	81

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	85
SEZNAM OBRÁZKŮ	86
SEZNAM TABULEK.....	89
SEZNAM PŘÍLOH.....	90

ÚVOD

Dnešní moderní a pokročilá doba si vyžaduje stálý přísun nových pokrokových technologií a možností výroby produktů. S tím je také spojen vývoj dalších materiálů, které jsou použity v nejrůznějších odvětvích výroby. Vývoj kompozitních materiálů postupuje také kupředu a jejich využití v různých oblastech průmyslu je s postupem času stále větší a oblíbenější. Hojně jsou využívány v automobilovém, leteckém a také ve sportovním průmyslu. Kompozit vzniká spojením dvou nebo více druhů materiálu a jeho velkou výhodou jsou nové výsledné vlastnosti, které v základní formě nemá ani jeden z původně použitých materiálů. Jsou to v podstatě plasty, vyztužené pomocí vláken různých délek, podle kterých se také mohou dělit. Mezi hlavní výhody se řadí hmotnost vyrobených součástí, která je výrazně nižší, než například výrobek obdobných vlastností z oceli nebo jiného kovu. Kompozity se výrazně nedeformují, protože mají mez elasticity odpovídající hodnotě mezi pevnosti. Obrovskou výhodou je také absolutní odolnost proti korozi a výborné izolační vlastnosti. Celkově je svou charakteristikou tento typ materiálu velmi přínosný a jeho variabilita a možnosti využití se stále zlepšují.

Teoretická část této diplomové práce je zaměřena na kompozitní materiály obecně. Popisuje jejich složení, rozdělení a typy. Další kapitoly jsou věnovány materiálům, ze kterých se formy vyrábí. Poté následuje kapitola věnující se prepregům, z nichž se vyrábí i holenní chránič, jehož výroba je předmětem této práce. Dále je zde uvedena samotná kapitola věnovaná kompozitním materiálům ve sportovním průmyslu (cyklistika, lodní průmysl, automobilový průmysl a podobně). V poslední kapitole teoretické části je popsán detailně samotný holenní chránič.

V praktické části je popsán celý postup návrhu holenního chrániče. Nejprve je navrhnut model a s tím spojená výroba prototypu. Dále následuje návrh a výroba formy pro tuto součást. Jedná se o hliníkovou formu vyrobenou frézováním. Jako teoretická možnost jsou zde uvedeny i tři typy forem pro sériové lisování. Dalším bodem jsou možnosti volby a kombinace různých druhů materiálu. Dle doporučených norem se vybrané vzorky testují a vyhodnocuje se jejich struktura, pevnost a obecně odolnost vůči namáhání.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY OBECNĚ

Kompozitním materiálem je myšlen materiál, který je složen ze dvou či více druhů materiálu samostatného složení. Jednotlivé složky jsou výrazně odlišné právě ve složení jak chemickém, tak i fyzikálním. Podstatou je tedy spojení dvou a více různých materiálů pro získání zcela odlišného typu materiálu, který v původním stavu nemá žádnou z nově získaných vlastností. Samostatné složky jsou v podstatě nehomogenní, výsledný kompozit však lze uvažovat jako homogenní materiál. Dále se v kompozitních materiálech pro další zlepšení vlastností využívají různé typy vláken, které se rozlišují a rozdělují zejména podle jejich délky. [1]

Mezi největší výhody patří velká pružnost při deformaci, výborná odolnost pro korozi, velmi pomalé stárnutí materiálů, dobrá přizpůsobivost různým tvarům a variabilita kombinací vláken a maticí. Naopak mezi nevýhody se řadí v některých případech neobvyklé chování materiálu, nízká pevnost v tahu či špatné snášení vlhkosti při vyšších teplotách. Negativně lze hodnotit i možnosti testování, protože ve většině případů se jedná o destruktivní zkoušky. S tím jsou spojeny vyšší náklady na návrh součásti a výrobu prototypů. [2]

1.1 MATRICE

Matrice funguje jako pojivo při spojování prosycených vláken. Takto vytvrzený a spojený materiál se nazývá kompozit. Samotná matrice plní důležité a podstatné funkce při vzniku kompozitního materiálu:

- zajišťuje geometrický tvar a polohu vláken
- ochraňuje vlákna
- přenáší síly mezi vlákny

Protože jedním ze základních úkolů matrice je vznik adheze mezi vláknem a pojivem, je nutnost pro různé druhy vyztužovacích vláken použít vhodné typy matic. Důležitým faktorem matic je jejich povrchové napětí a viskozita. Při vhodném zvolení těchto dvou parametrů má matrice dobrou smáčivost a vlákna se smočí bez bublin, což je ideální pro správnou funkčnost kompozitního dílu. Mezi nejčastější typ matic používaných pro výrobu kompozitních materiálů se řadí tzv. reaktivní pryskyřice. Jedná se o pryskyřice, které se za pomoci tvrdidel (například iniciátor, urychlovač, katalyzátor) nebo také samostatně polymerací či polyadací vytvrzují. Jednotlivé typy matic a jejich využití jsou popsány níže. [2]

1.1.1 Metakrylátové pryskyřice (MA-R)

Nejčastěji se využívají společně s karbonovými vlákny, které jsou považovány za nejkvalitnější výztuž. Mají výborné chemické vlastnosti a velkou výhodou je zde možnost využití retardérů hoření. Jsou tedy vhodné pro použití na výrobcích, u nichž je požadována ohnivzdornost. [3]

1.1.2 Polyestery (UP-R)

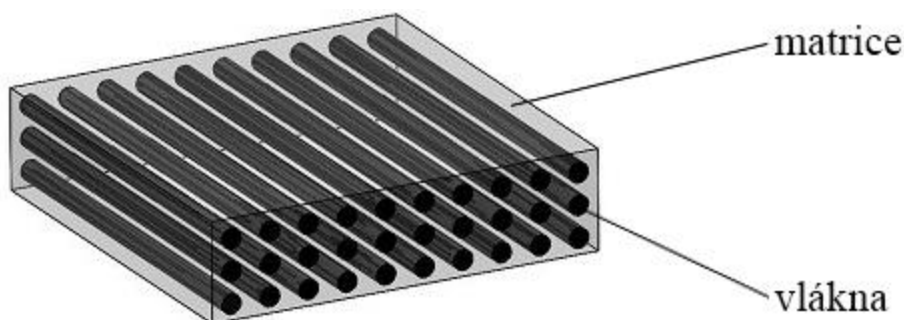
Jedná se o nejčastěji používanou matrici, která se vytvrzuje za normální nebo zvýšené teploty. Jejich hlavní použití je zejména ve spojení se skelnými vlákny. Polyestery mají dobré elektrické, chemické i mechanické vlastnosti. Ve většině případů se rozpouští v reaktivních rozpouštědlech. Objemové smrštění při vytvrzování, kdy se uvolňuje teplo, činí 5 až 9 %. [3]

1.1.3 Epoxidy (EP-R)

Stejně jako methyl – methakryláty se používají často ve spojení s lepšími typy výztuží, jako jsou například uhlíková vlákna. Velkou výhodou jsou dobré jak chemické, tak i elektrické vlastnosti – mají elektroizolační schopnosti - tím se výrazně rozšiřuje možnost použití. [3]

1.1.4 Vinylestery (VE-R)

Tento druh pryskyřice má vysokou odolnost v chemicky namáhaných prostředích a to i za vysokých teplot. Vinylestery se často vyztužují, stejně jako polyestery, skelným vláknem. Výsledný kompozit má dobrou tepelnou i elektrickou izolaci. [3]



Obr. 1: Schematické zobrazení vláken spojených s matricí [4]

1.2 VYZTUŽUJÍCÍ VLÁKNA

Vlákna obecně jako takové ve své podstatě využití nemají, funkčními se stávají například právě při spojení s matricí a následném vytvrzení. Existuje několik typů vyztužujících vláken, které se rozdělují dle různých kritérií (pevnost či tuhost, chemické vlastnosti, délka a podobně). Nejvyšší tuhost a pevnost dosahují vláknové kompozity s kontinuálními vlákny. Na trhu se dodávají v různých základních formách a tvarech.

1.2.1 Roving

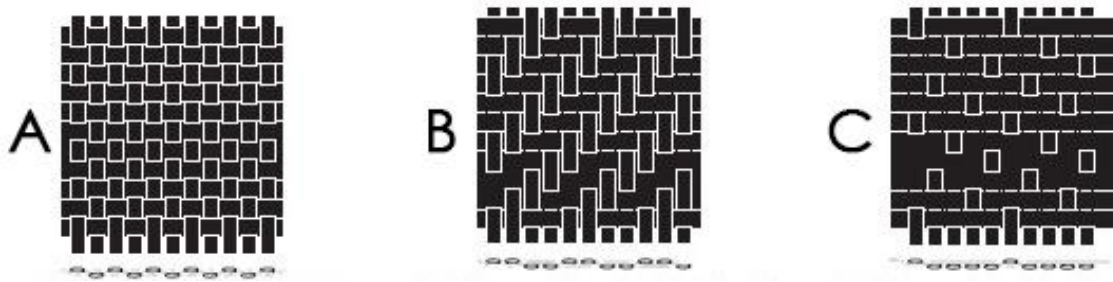
Jedná se o pramenec rovnoběžných a nestočených vláken. V podélném směru má vysokou tuhost a pevnost, v příčném směru se tyto vlastnosti rapidně zhoršují. Používá se u pultruze, kde se tažením s jinými druhy textilních výztuží na kontinuálním stroji nasycují pryskyřicí a vytvrzují. Další možností je sekání rovingu na netkané textilie, ze kterých se vyrábí rohože k vyztužování kompozitů. Rovingy pro výrobu tkanin se dodávají na kónických cívkách o určité jemnosti, která udává, kolik tisíc elementárních vláken roving obsahuje. [5]



Obr. 2: Pramenec skelných vláken [6]

1.2.2 Tkaniny

Soubor pramenců či vláken uložených v plošné formě pod pravým úhlem. Takto vytvořená tkanina je vyztužená ve dvou směrech. Křížením vláken vznikají různé druhy. Hmotnost uložených vláken se může nezávisle na sobě měnit a tím lze vytvářet další typy. Mezi základní druhy se řadí vazba plátňová, keprová a atlasová. [2]

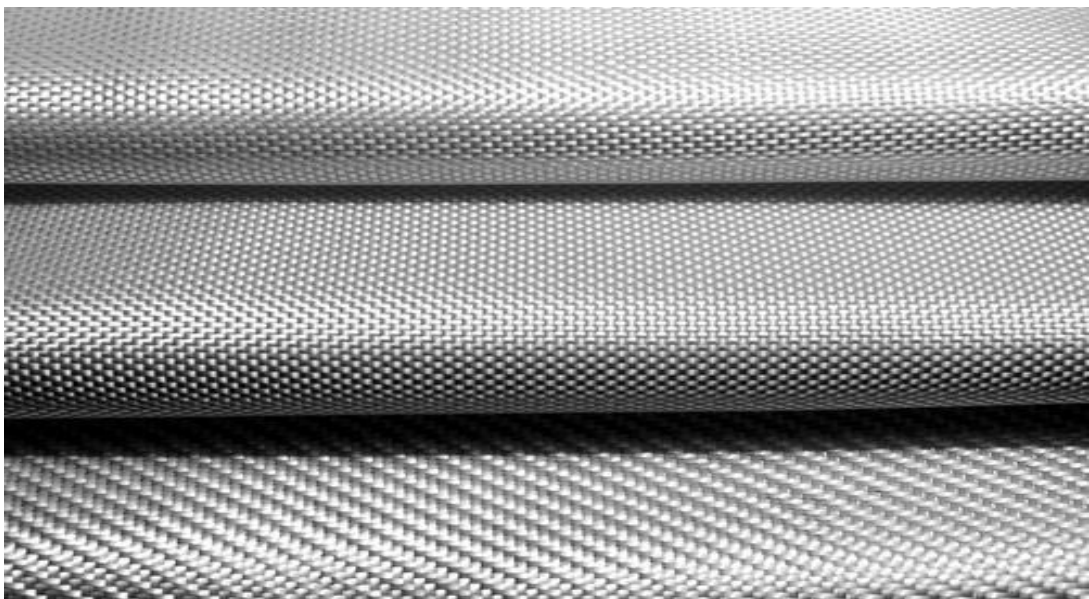


Obr. 3: Druhy vazeb u tkanin [7]

Plátňová vazba (A) je vhodná pro jednoduché zpracování, protože může docházet ke zvlnění. Složitě tvarování je zde velmi obtížné. Tato vazba má však kvalitní rozměrovou stabilitu a velkou výhodou je malý ořep při řezání.

U keprové vazby (B) je zvlnění v daleko menší míře než u vazby plátňové, proto je zde zaručena vyšší tuhost i pevnost laminátu. Uspořádání vláken této vazby přináší lepší ohebnost a s tím spojenou možnost výroby tvarově složitějších materiálů.

Prostorově složitě prvky se ve většině případů vyrábí z tkaniny, která má atlasovou vazbu (C). Výhodou je vznik hladkého povrchu, který je vhodný pro pohledové výrobky. [2]



Obr. 4: Vizuální porovnání vazeb uhlíkových vláken [8]

1.2.3 Rohože

Jedná se o plošný polotovar pro výrobu kompozitních materiálů. Rohože ze skaných pramenců jsou ve vrstvách, které jsou spojeny pojivem. V sušárně vznikne polotovar vhodný pro další použití. Rohože z kontinuálních vláken jsou zajímavé tím, že vlákna jsou uložena bez orientace a nepravidelně. Spojeny jsou opět pojivem. Povrchové rohože obsahují

v povrchové vrstvě velké množství pryskyřice – tím se zamezí vzniku trhlin. Pro přehlednost a rozlišení se rohože charakterizují gramáží. [2]



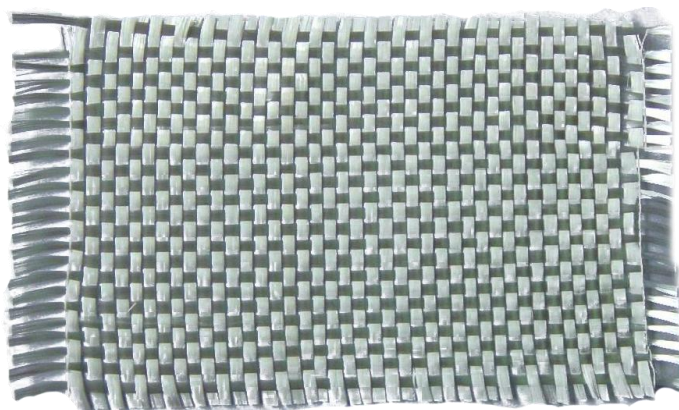
Obr. 5: Příklad vláknité rohože a netkané textilie [9]

1.3 SKELNÁ VLÁKNA (GF)

Z anglického výrazu „Glass fiber“. Jedná se o textilní skelná vlákna, která vznikají tažením z roztavené skloviny (jako příměs se používají Al, Ca, Pb, Mg, B). Vyznačují se pravidelným kruhovým průřezem o průměru 3,5 až 24 μm – často jsou v praxi nazývána jako tenká vlákna. Mezi základní všeobecné vlastnosti patří:

- ohnivzdornost
- odolnost proti chemikáliím
- nízký modul pružnosti
- vysoká pevnost v tahu
- elektrická izolace vláken [2]

K dispozici je několik druhů, které se liší svým složením a příměsmi. K nejznámějším patří vlákna ze skloviny C (odolné proti kyselinám), D (dielektrická vlákna), E sklo, AR (odolnost proti alkáliím) či L vlákna (vyšší obsah olova). Nejpoužívanější je však E – sklovina, která je výborný elektrický izolant a má vysokou prostupnost záření. Při výrobě se jednotlivá vlákna povrchově upravují a poté sdružují do pramene – vzniká roving. Takto zhotovený pramen se poté navíjí na cívku. [10]



Obr. 6: Skelné vlákno ve formě tkaniny [11]

1.4 ARAMIDOVÁ VLÁKNA (AF)

Z anglického výrazu „Aramid fiber“. Jsou to textilie vyrobené z polyamidů, tedy organických polymerů. Jejich zvláštností je dlouhý uhlíkový řetězec, který je spojen dvěma aromatickými jádry – odtud je odvozen jejich název (aromatický polyamid – Aramid). Základní všeobecné vlastnosti:

- vysoká pevnost
- vysoká tuhost
- odolnost proti vysokým teplotám
- odolnost proti chemikáliím [12]

Často se využívají jako tzv. hybridní laminát, kde se spojí v jedné tkanině s uhlíkovými vlákny. Největší výhodou je odolnost proti vysokým teplotám a chemikáliím, proto se používají pro ochranné oděvy pro provoz ve vysokých teplotách. Další použití nachází v součástech dopravních prostředků a také u stavebních materiálů. [10]



Obr. 7: Aramidové vlákno [13]

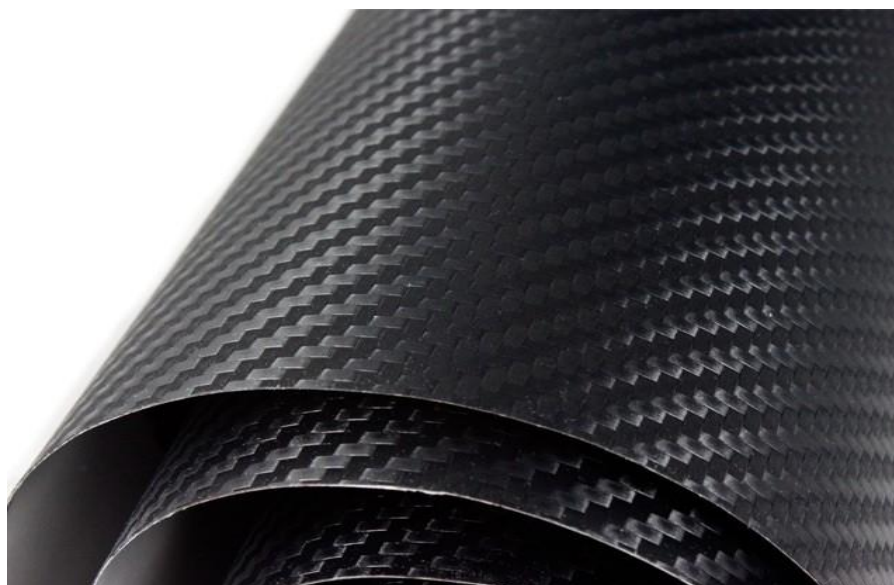
1.5 UHLÍKOVÁ VLÁKNA (CF)

Z anglického výrazu „Carbon fiber“. Základní suroviny v organickém stavu procházejí karbonizací, při které se kromě uhlíku odštěpí většina nepotřebných prvků. Tato technická vlákna se vyznačují základními vlastnostmi:

- vysoká pevnost a tuhost
- horší vlastnosti při namáhání na tah
- křehkost

Kvůli křehkosti je prodloužení při přetržení výrazně nižší v porovnání se skelnými vlákny. Proto je při ohýbání minimální poloměr oproti skelným vláknům větší. Zajímavostí je, že se při zahřátí vlákno zkracuje – to je dáno záporným koeficientem délkové teplotní roztažnosti α . Při styku s méně kvalitním kovem dochází k elektrochemické korozi. Proto je v případě použití uhlíkových vláken s kovovým materiálem nutnost oddělovat je nevodivým materiálem. [14], [2]

Zejména pro svůj výsledný vzhled a vlastnosti jsou tato vlákna často využívána například i v případech nahrazování kovových dílů u automobilů. Jejich využití je celkově velmi rozšířené a oblíbené.



Obr. 8: Výrobek z uhlíkového vlákna [15]

2 MATERIÁLY FOREM PRO VÝROBU KOMPOZITNÍCH DÍLŮ

Pro výrobu forem se používá několik typů materiálu zejména s ohledem na výrobek, který se bude na dané formě vyrábět. V neposlední řadě má na výběr materiálu formy vliv i technologie, která bude zajišťovat výrobu kompozitního dílu. Celkově má forma vysoký vliv na výslednou kvalitu a přesnost výrobku a je důležité se tomuto kroku při projektování pozorně věnovat. Nejčastějším způsobem na výrobu forem je třískové obrábění na CNC strojích (frézování, soustružení, broušení).

Mezi nejpoužívanější technologie pro výrobu kompozitních dílů s reaktoplastickou matricí se řadí výroba pomocí prepregů (polotovary s předimpregnovanou výztuží s částečně vytvrzenou pryskyřicí), vakuová infuze (vytvrzování ve vakuu) či RTM (prosyncování výztuže nízkoviskózní pryskyřicí v dvoudílné formě). [16]

2.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O TYPECH MATERIÁLŮ PRO VÝROBU FOREM

Každý materiál je využíván pro své specifické vlastnosti a je volen dle potřebných podmínek a vstupních informací o výrobku. Často se také v praxi vyrábí jeden typ výrobku jako prototyp několika způsoby či s různým materiálovým složením. Po vyhodnocení potřebných zkoušek se pak zvolí nejvhodnější typ materiálu, ze kterého se daný výrobek bude sériově vyrábět. Materiál se volí také s ohledem na výslednou cenu a celkovou dostupnost.

Rozdělení a popis základních vlastností materiálů: [16]

2.1.1 Ocel

- Hustota: 7800 [kg/m³]
- Cena materiálu: 200 000 [Kč/m³]
- Výhody: dostupnost, cena, teplotní odolnost
- Nevýhody: použití pro jednoduché tvary

2.1.2 Dřevo - masiv

- Hustota: 530 - 680 [kg/m³]
- Cena materiálu: 12 000 – 40 000 [Kč/m³]
- Výhody: dostupnost, cena, teplotní odolnost
- Nevýhody: vliv vlhkosti na rozměrovou stabilitu

2.1.3 PUR – modelové bloky

- Hustota: 580 - 700 [kg/m³]
- Cena materiálu: 90 000 [Kč/m³]
- Výhody: rozměrová stabilita, hmotnost, stejnorodost povrchu
- Nevýhody: vysoká cena

2.1.4 PUR – modelové pasty

- Hustota: 730 - 1300 [kg/m³]
- Cena materiálu: 90 000 – 100 000 [Kč/m³]
- Výhody: rozměrová stabilita, hmotnost, stejnorodost povrchu
- Nevýhody: vysoká cena, speciální nanášení

2.1.5 Nástrojové bloky - Epoxid

- Hustota: 730 - 1300 [kg/m³]
- Cena materiálu: 300 000 [Kč/m³]
- Výhody: teplotní odolnost, rozměrová stabilita, stejnorodost povrchu
- Nevýhody: vysoká cena

2.1.6 Ytong

- Hustota: 350 - 600 [kg/m³]
- Cena materiálu: 4 200 [Kč/m³]
- Výhody: dostupnost, hmotnost, cena, teplotní odolnost
- Nevýhody: křehkost, jakost povrchu

2.1.7 Uhlíková pěna

- Hustota: 320 [kg/m³]
- Cena materiálu: 334 000 [Kč/m³]
- Výhody: teplotní odolnost, rozměrová stabilita, tuhost, hmotnost
- Nevýhody: vysoká cena, dostupnost

* výše uvedené údaje pochází z publikace TRANSFER (ročník 2011)

2.2 TECHNOLOGICKÁ ÚPRAVA FOREM

Formy vyžadují vysokou přesnost a kvalitu povrchu, protože kompozitní materiál přesně kopíruje daný tvar. Po obrábění se mohou potřebné plochy leštit či brousit pro dosažení optimálního povrchu. Forma se dále naseparuje a ve většině případů je opatřena vrstvou gelcoatu, která je v desetinách milimetru. Gelcoat zajišťuje lepší povrch formy a vytvoření ochranné vrstvy a vyrábí se nejčastěji na bázi epoxidové nebo nenasycené polyesterové pryskyřice. [16]



Obr. 9: Bílý Gelcoat (balení 5 kg) [17]

Další kroky v úpravě se liší dle použité technologie. Během procesu výroby a v mezikrocích se povrch formy může dle potřeby upravovat. Po zkompletování formy a dokončení všech úprav se provádí kontrolní měření formy, ověřování tvaru a kontrola povrchu.

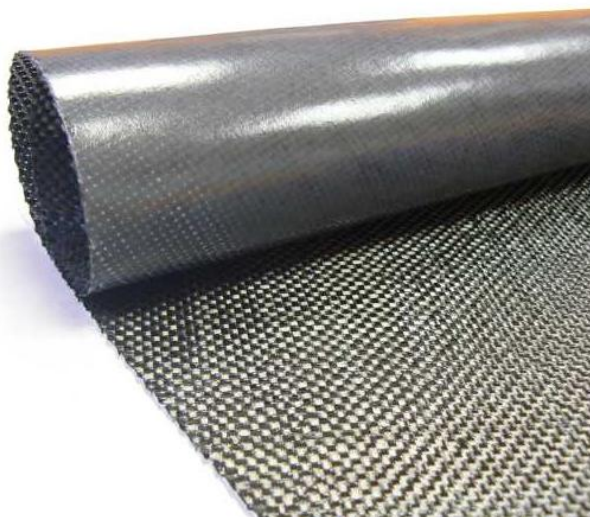


Obr. 10: Ukázka formy při ručním kladení prepregu [18]

3 PREPREGY

Název prepreg vznikl ze zkrácení anglického tvaru „preimpregnated fibres“ (předimpregnovaná vlákna). Využívají se pro získání polymerních kompozitů v nejvyšší kvalitě. Skládají se z paralelně uspořádaných rovingů tkaniny nebo jde o rohož polovytvrzenou termoplastickou nebo reaktoplastickou matricí. Pro široké využití v praxi se vyrábí v různých tvarech a velikostech. Tkaniny jsou při výrobě prepregu nanášeny reaktoplastem a impregnují se ve většině případů pryskyřicovým roztokem. Výsledný polotovar má z jedné strany separační fólii a z druhé strany nosnou fólii. Pro přípravu prepregu se nejčastěji používají pryskyřice:

- nenasyčené polyesterové pryskyřice
- vinylové pryskyřice
- epoxidové pryskyřice [10]



Obr. 11: Příklad prepregu z uhlíkových vláken [19]

Životnost prepregů se dle použitého typu liší. Stárnutím se zhoršují původní vlastnosti a zejména se snižuje lepivost, která je velmi důležitá. Udrží jednotlivě kladené vrstvy v ideální poloze a zabraňuje jejich posouvání a deformování. Takovému chování lze předejít nízkou teplotou, a proto se musí prepregy skladovat ve speciálních mrazících boxech při teplotách až $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

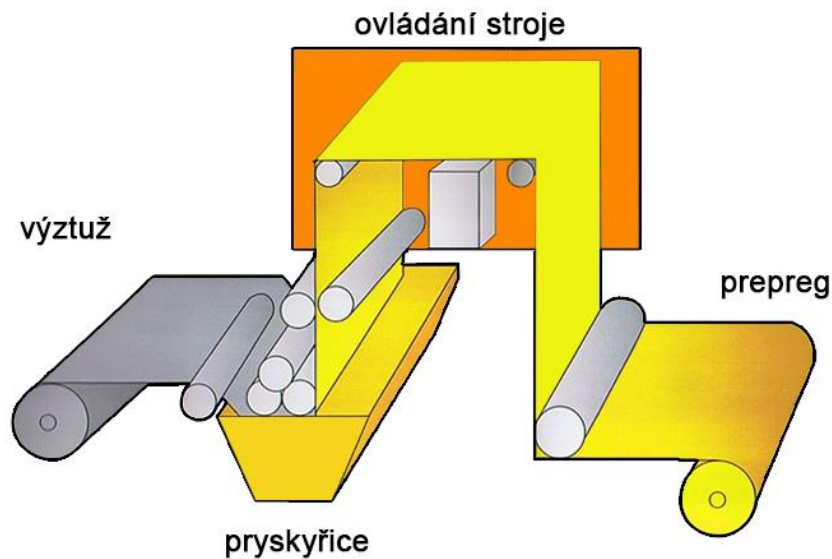
Při vytažení z chladicího boxu a následném použití prepregu se nechá vytemperovat na pokojovou teplotu, aby nedocházelo k vlhnutí matrice či vláken a tím pádem k orosení povrchu, což by vedlo ke znehodnocení prepregu a porušení jeho vlastností. [2]

3.1 VÝROBA PREPREGŮ

Při použití prepregů je největší výhodou to, že jsou v podstatě finálně nachystány na proces výroby, protože složité prosycování výztuže je již vykonáno při jejich výrobě. I proto jsou prepregy jedním z nejpoužívanějších polotovarů pro vytvrzování v autoklávu nebo při lisování. [2]

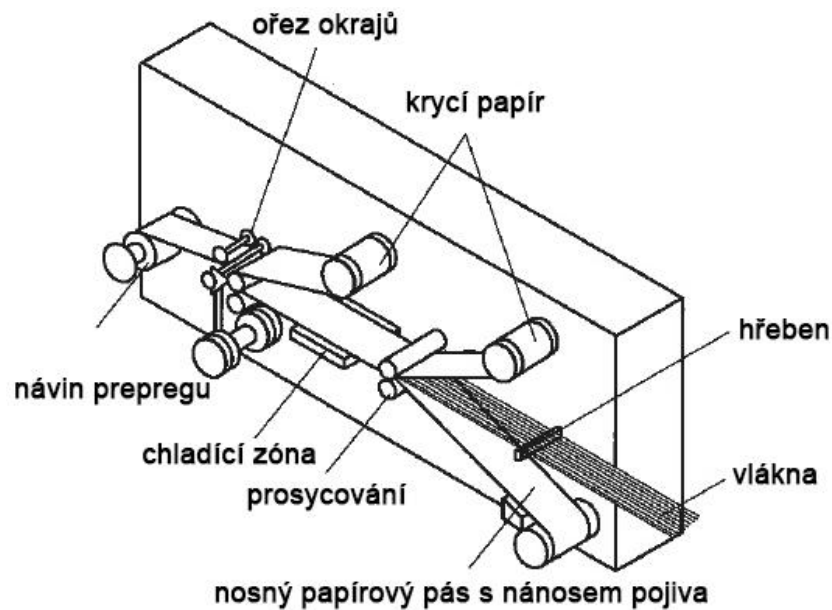
3.1.1 Výroba prepregů s reaktoplastickou matricí

Ve většině případů je při výrobě prepregů s reaktoplastickou matricí využíván tzv. „mokrý způsob“. Připravená tkanina (výztuž) se na začátku linky odvíjí z role a je namáčena do roztoku pryskyřice. Takto upravená tkanina se poté zahřívá, dokud nedojde k polymeraci. Na konci linky je navíjen hotový prepreg do role, která je skladována v chladicích místnostech při předem určených teplotách, které se liší dle druhu prepregu. Průběh výroby je kompletně řízen počítačem a po celou dobu kontrolován. [20]



Obr. 12: Zjednodušené schéma výroby prepregů (mokrý způsob) [21]

Jednosměrný prepreg se vyrábí odvíjením vláken z cívek, které jsou vyrovnány rovnoběžně přes hřeben. Na papírový nosič, který obsahuje silikonovou vrstvu (s nanesenou pryskyřicí), je tento pás vláken umístěn. Prosycování výztuže s prepregem zajišťuje tlak ve vytápěném válci. Prepreg je oboustranně opatřen chránicí vrstvou a na konci linky prochází kvůli zastavení vytvrzovací reakce chladicím zařízením. Výsledný pás prepregu je poté navíjen do role. [2]



Obr. 13: Schéma výroby jednosměrného prepregu [22]

3.1.2 Základní metody pro výrobu prepregů s termoplastickou matricí

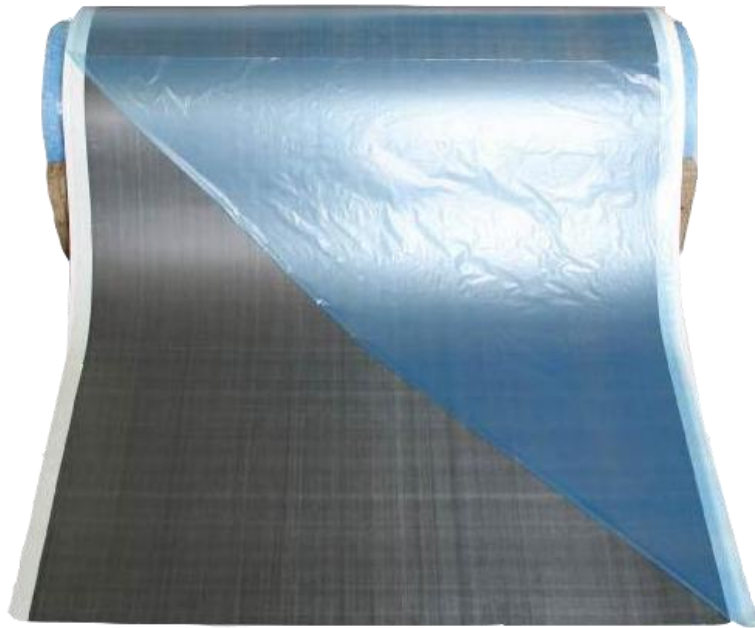
- nanášení roztoku termoplastu na výztuž
- nanášení termoplastu v roztaveném stavu
- nanášení prášku polymeru na jednotlivá vlákna rovingu, slinování prášku a opětovné sdružení vláken
- nanášení vodní suspenze termoplastického prášku na výztuž [10]

3.2 ROZDĚLENÍ DLE GEOMETRIE VÝZTUŽE

Prepregy existují v různých typech, tvarech, velikostech a dodávají se v předem určených baleních, která vznikají na konci každé výrobní linky. Nejčastější je označování a třídění dle geometrie výztuže.

3.2.1 Jednosměrné prepregy

Vyrábí se z rovingů a jsou využívány u nejvíce mechanicky namáhaných dílů. Jejich tloušťka se pohybuje okolo 0,1 – 0,15 mm. Nejčastěji se dodávají v kotoučích o různých šířkách. [10]



Obr. 14: Jednosměrný prepreg navinutý na kotouči [23]

3.2.2 Vícevrstvé prepregy

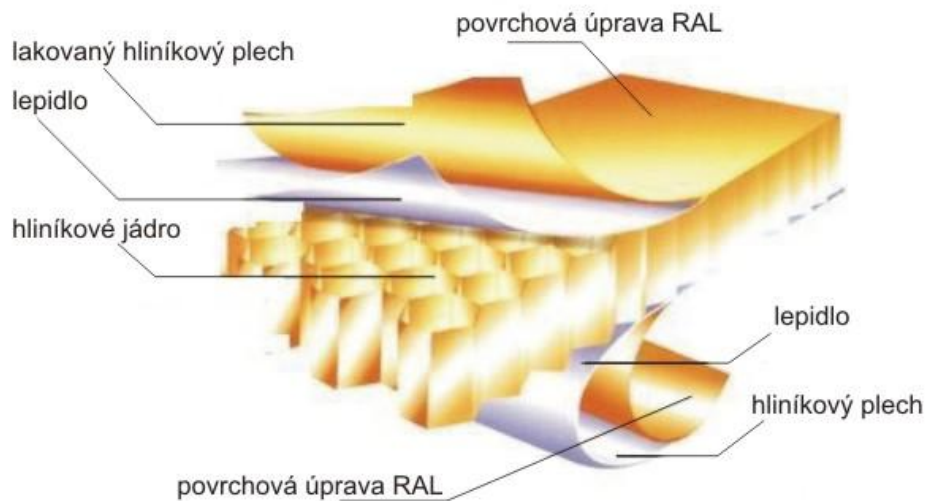
U těchto prepregů jsou jednotlivé vrstvy, které jsou jednosměrné, pootočený o předem určený úhel. Ve většině případů jsou to úhly 90° , $+45^\circ$, -45° či 0° . K propojení vrstev se používá polyesterová nit. [10]

3.2.3 Kombinované prepregy

Zde má vliv na umístění výztuže mechanické zatížení na daný výrobek. Vrstvy, které jsou pevnější, mají větší únosnost a tkaninovou výztuž, se umísťují na namáhanější stranu. Pokud je výrobek namáhán na ohyb, umístí se pevnější vrstva na tažnou stranu. [10]

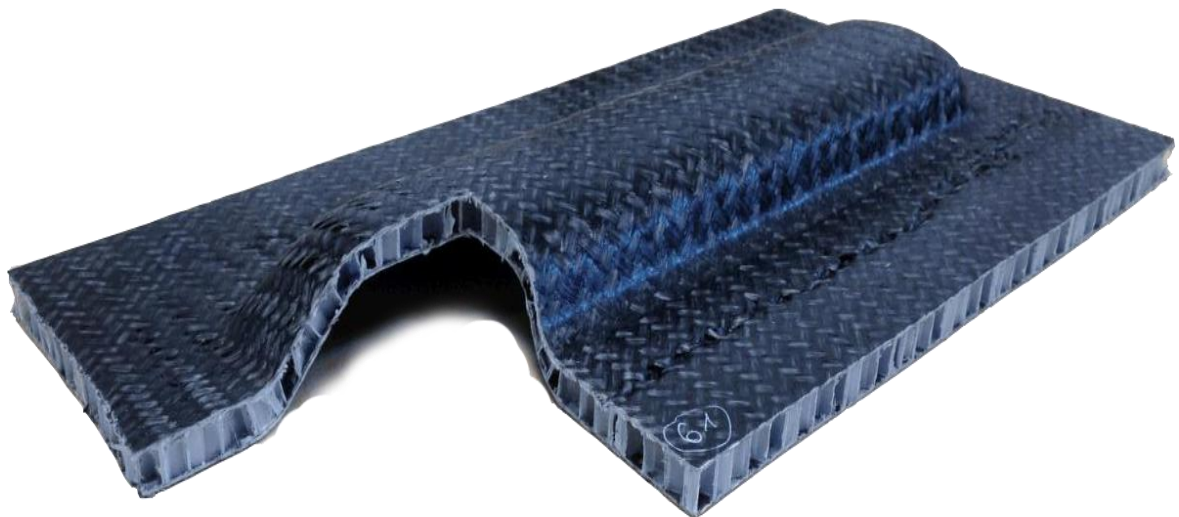
3.3 SPECIÁLNÍ PŘÍPAD – SENDVIČVOVÉ KOMPOZITY

Jedná se o zvláštní případ kompozitního přípravku, který lze řadit mezi prepregy. Jde o materiál s vnitřním jádrem a vnějšími plochami tvořenými kompozitními vlákny. Jádro (voština) se vyrábí z různých druhů materiálů a může mít rozdílnou výšku i tvar. Na vnější plochy se používají různé typy vláken, nejčastěji však vlákna skelná a uhlíková. Jedná se o moderní technologii výroby kompozitních konstrukcí, které se vyznačují vysokou pevností, tuhostí a zároveň velmi nízkou hmotností.



Obr. 15: Schéma sendvičového kompozitu s hliníkovými prvky [24]

Na obrázku (Obr. 15) je zobrazeno seskládání sendvičového prvku s hliníkovými prvky. Základem je hliníkové jádro, které má tvar buněk v podobě hexagonu. K němu jsou přilepeny hliníkové desky o tloušťce 0,6 – 2 mm. Vnější plochy sendviče jsou opatřeny povrchovou úpravou a také fólií, která chrání výrobek při přepravě a zpracování. [24]



Obr. 16: Příklad kompozitního výrobku s voštinovým jádrem [25]

4 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY V OBLASTI SPORTOVNÍHO PRŮMYSLU

Kompozitní materiály se stále více objevují a prosazují v různých odvětvích celosvětového průmyslu. Nejvíce pronikly do průmyslu automobilového a leteckého, kde představují významný podíl mezi používanými typy materiálů. V posledních letech se začaly kompozity prosazovat i ve sportovním průmyslu. Jejich největší výhodou je možnost materiálových kombinací, které mohou vzniknout. Dále se považuje za velkou přednost lehkost a zároveň vysoká pevnost materiálů.

Nevýhodou jsou v podstatě jen cenové náklady na výzkum, vývoj a následnou výrobu součástí z kompozitních materiálů. Při každém návrhu je potřeba zvolit správné složení kompozitu, zvážit výběr vhodných vláken a vyhodnotit ideální pracovní postup a technologické metody výroby součástí. Často se u jednoho výrobku testuje i více druhů materiálů a možností kombinací pro zjištění nejideálnější materiálové kombinace tak, aby součást vyhovovala všem potřebným kritériím, které jsou na začátku vývoje určeny.

4.1 CYKLISTIKA

V cyklistice se vyrábí z kompozitních materiálů mnoho výrobků od držáků na pití, až po celé rámy kol. Obrovskou výhodou oproti například ocelovým ráům je jejich lehkost při dodržení minimálně stejných fyzikálních vlastnostech materiálu. Nejvíce se využívá karbonových kompozitů právě pro jejich vlastnosti (vysoká pevnost a životnost, nízká hmotnost). Často je také volen tento typ materiálu i pro svůj atraktivní design a moderní vzhled výsledného výrobku. Úplné nahrazení kovových ráamů kompozitními však kvůli jejich ceně se v nejbližší době neočekává. [26]



Obr. 17: Rám kola z uhlíkových vláken [27]

4.2 LODNÍ PRŮMYSL

I ve výrobě lodí či jachet se stále častěji objevují kompozity. Menší lodě mají dokonce i celokompozitní skelet, který se vyrábí zejména ručním laminováním. V tomto odvětví se zkouší nové a další možnosti materiálových kombinací pro ideální stavbu lodí. Celkově otevřely kompozitní materiály velké možnosti v dalším vývoji ve výrobě lodí a jachet. Na prostorově větší skelety lodí se využívá jako výrobní technologie vakuová infuze (Obr. 18).



Obr. 18: Výroba kompozitního skeletu lodě vakuovou infuzí [28]

Kromě celých skeletů lodí se také kompozity v tomto odvětví využívají na doplňky a další zařízení – pádla, helmy, opěrky či sedačky do sportovních lodí a podobně.



Obr. 19: Kompozitní sedlo do závodních lodí [29]

4.3 ZÁVODNÍ AUTOMOBILY

U závodních automobilů jsou z kompozitních materiálů vyráběny různé díly a části zejména co se týká karoserie. Velmi často se používají pro odlehčení částí vozů. Velkou měrou se na vývoji kompozitů podílí závodní série Formule 1, ve které se ve velké míře používají a vyvíjejí například i v kombinaci s hliníkem či jinými kovy. Vývojáři monopostů se původně snažili využít vstřikované dílce z plastů, ale takto vyrobené součástky nevyhovovaly podmínkám pevnosti a tvrdosti. Kompozitní materiály však tento problém vyřešily a díky tomu se značně v závodním prostředí rozšířily. Nejčastěji jsou zde v různých kombinacích a typech využívána uhlíková vlákna, která splňují veškeré požadavky konstruktérů. Stejně jako v lodním průmyslu je zde nejčastěji využívanou technologií vakuová infuze. [30]



Obr. 20: Volant vozu Formule 1 z uhlíkových vláken [31]

4.4 TUNING SPORTOVNÍCH VOZŮ

Oblíbenost mají kompozitní materiály z uhlíkových vláken také pro svůj vzhled, proto jsou často využity jako pohledové materiály, a to u tuningových dílů na automobily. Zejména kvůli své ceně se na počátku vyráběly takové součásti vozů jen zřídka a ve většině případů se tato produkce týkala několika kusů. Postupem času, s rozšířením možností výroby a s příchodem nových technologií se v tomto odvětví výroby prosadila i sériová výroba. Výrobky jsou buď přesnou kopií původního dílu, nebo jsou s ohledem na původní součást tvarově pozměněny a mají jiný design. Jedinou nevýhodou je, že se stále cenově v dnešní době náhradní a tuningové díly z kompozitních materiálů nevyrovnají klasickým vstřikovaným nebo lisovaným dílům.



Obr. 21: Karbonová kapota pro upravené sportovní vozy [32]

4.5 OSTATNÍ SPORTY

Kompozitní výrobky se samozřejmě objevují a hojně využívají v mnoha dalších sportech. Ve většině případů se jedná o plnohodnotné nahrazování původní materiálové stavby daného výrobku nebo také o testování nových materiálových možností v určitém odvětví.

4.5.1 Lukostřelba

Mimo klasické materiály jako dřevo, dural nebo ocel se v závodní lukostřelbě na výrobu luků používají hojně i sklolamináty či sendvičové prvky. Tyto materiály splňují všechny potřebné vlastnosti pro výrobu a správnou funkčnost luků – pružnost, pevnost, torzní tuhost a trvanlivost. Často jsou také využívány ve spojení se dřevem, kdy jádro sendviče tvoří bambusové nebo javorové dřevo.



Obr. 22: Závodní luk z uhlíkových vláken [33]

Nejčastější typy materiálu pro výrobu:

- sklolaminát, uhlíkové lamináty
- plasty
- dřevo
- keramické plátky
- kovy

Šíp je v podstatě myšlený nosník a jeho úkolem je spotřebovat za letu energii, kterou získal natažením a následným výstřelem z tětiny. Při výrobě se bere také nutně ohled na možné vibrace (kmity), které šíp získává při startu a na počátku letu. Na šípky se původně používaly jen různé typy a kombinace dřeva. S postupem času se objevily na trhu duralové trubky a šípky se vyráběly duté. Poté se již na trhu objevily i celokarbonové šípky, které se používají dodnes. [34]



Obr. 23: Šíp z uhlíkových vláken [35]

4.5.2 Golf

Výroba golfových holí prošla během své éry mnoha proměnami a to zejména v materiálovém složení. Na počátku se vyrábělo ze dřeva a s postupem času se objevovaly kované hole ze železa. Tyto hole byly však velmi těžké a jejich ovladatelnost špatná. Vývoj tvaru holí a také dostupnost nových materiálů pro výrobu míčků donutily výrobce pro vývoj a použití nových kompozitních materiálů, ze kterých se také v dnešní době hole vyrábí. Rozšíření holí z těchto materiálů však není v takové míře, jako je tomu u jiných sportovních pomůcek. [36]



Obr. 24: Část golfové hole z uhlíkových vláken [36]

4.5.3 Sportovní střelba

Zbraně určené pro tento sport jsou většinou vyráběny z lehkých materiálů, jako je například hliník či nerez. Profily jsou nejčastěji vyráběny přesným frézováním na CNC strojích. S postupem času se kompozitní materiály začaly využívat i v tomto odvětví. Hojně je při návrhu a výrobě zbraně využíváno například spojení nerez – kompozit, které zaručuje lehkost, odolnost a vysokou tuhost celku. U malých a středních zbraní se váha udávána bez zásobníku pohybuje jen okolo 500 g.



Obr. 25: Pistole Kahr P9 s kompozitním rámem [37]

4.5.4 Závodní rybaření

I do tohoto odvětví pronikly nové moderní kompozitní materiály. Ty postupem času vytlačují původní čistě plastové či bambusové pruty. Pro rybářský prut jsou základními vlastnostmi jeho pružnost a pevnost. Obě potřebné vlastnosti dokážou vhodně splnit kompozitní materiály. Pruty jsou vyráběny v mnoha barevných i materiálových variantách a v předem určených délkách.

Nejčastěji používané materiály pro výrobu prutů:

- grafitová vlákna
- kompozitní materiály
- skelná vlákna
- bambus, boron [38]



Obr. 26: Rybářský prut z kompozitu [39]

5 TYPY HOLENNÍCH CHRÁNIČŮ

Holenní chrániče se využívají v mnoha sportech. Jejich úkolem je chránit nohu od kolene níže. Vyrábí se v nejrůznějších provedeních, velikostech, tvarech a z různých typů materiálů. Dle těchto kritérií se liší jejich výsledná cena a s tím je spojena i celková kvalita chrániče. Produkt vyrábí mnoho firem po celém světě a i proto je na trhu k dostání v nespočetně mnoha barevných a materiálových kombinacích.

Typ chrániče	Náhled	Cena
<i>Fotbalový chránič (PU)</i>		299,- Kč
<i>Fotbalový chránič (uhliková vlákna)</i>		3 290,- Kč
<i>Hokejový chránič</i>		620,- Kč
<i>Chránič na bojové sporty</i>		2 186,- Kč

Tab. 1: Vizualní srovnání vybraných typů chráničů

Velikost a tvar tohoto typu chrániče se liší dle druhu sportu, ve kterém je využíván. V kopané každý hráč používá chránič dle svých požadavků a potřeb. Základní rozdělení je však zejména s ohledem na pozici hráče (obránce – větší chránič, útočník – menší chránič). S ohledem na ostatní sporty (hokej, bojové sporty a podobně) jsou fotbalové chrániče méně náročné na výrobu. Základní srovnání chráničů je uvedeno v tabulce (Tab. 1).

5.1 POLYURETAN (PU)

Polyuretan je nejčastěji používaný typ materiálu. Chránič je ve většině případů z vnitřní strany doplněn EVA pěnou, pěnovou gumou nebo textilií. Tato část je k základnímu skeletu lepena a podél okrajů přišita. Nevýhodou je, že jsou velmi pevné a tvrdé. Často tak mohou působit nepohodlně. Některé typy jsou také vybaveny chrániči kotníků, které jsou z textilních materiálů. Většinou jsou spojeny s vnitřní výplní nebo přišity na spodní části chrániče. V horní části je umístěn pásek na suchý zip pro obepnutí lýtkového svalu – zajištění správné polohy chrániče.

Chrániče tohoto typu se vyrábí především vstříkáním polyuretanových plastů na vstříkacích strojích. Vlastní tvar formy a design určuje daný výrobce. Ve většině případů je snaha o odlišný design od jiných výrobců při zachování správné funkčnosti a dosažení požadovaných kritérií pro pevnost a tuhost.



Obr. 27: Holenní chrániče s chráničem kotníků [40]

5.2 SKELNÁ A UHLÍKOVÁ VLÁKNA

Skelná či uhlíková vlákna u těchto typů chráničů jsou v materiálu obsažena většinou kolem 60 % až 70 %. Je stejně jako u chráničů z polyuretanu z vnitřní strany doplněn pěnou, která se lepí speciálními lepidly. Jejich tvar je oproti chráničům z polyuretanu daleko jednodušší, protože se vyrábí lisováním (forma nemá speciální tvary či prolisy navíc). U těchto typů chráničů se nepoužívají pásy na zajištění polohy chrániče, ale je zde elastický návlek, který se nasune přes nohu a chránič zajistí v potřebné poloze. Velikost návleku se liší dle velikosti chrániče.

Největší výhodou oproti klasickým chráničům je nižší hmotnost při zachování stejných pevnostních vlastností. Chrániče tohoto typu jsou již podstatně dražší než základní plastové chrániče a jsou využívány zejména profesionálními sportovci.



Obr. 28: Holenní chrániče z uhlíkových vláken [41]

6 CENOVÉ POROVNÁNÍ HOLENNÍCH CHRÁNIČŮ

Jak je již uvedeno, na trhu je nespočet různých typů a druhů holenních chráničů. Liší se jak materiálovým, tak i designovým zpracováním. Jako u všech výrobků tohoto druhu stoupá s kvalitou výsledného produktu i cena. Pro porovnání poslouží klasický plastový chránič a chránič z uhlíkových vláken (*Tab. 2*).

Typ chrániče	Nike Mercurial Blade	Umbro Veloce II Shin Guards
<i>Náhled</i>		
<i>Materiál</i>	Skelné vlákna 39 %, 39 % polyuretan, 13 % polyester, 9 % ostatní materiály	Polypropylen 28 %, EVA pěna 27 %, 18 % polyester, 7 % guma, 5 % nylon, 5 % ostatní materiály
<i>Cena</i>	2000,- až 2460,- Kč	100,- až 300,- Kč

Tab. 2: Cenové a materiálové srovnání fotbalových chráničů

Chrániče ze skelných či uhlíkových vláken již z pravidla nejsou vybaveny páskem na obehnutí lýtkového svalu, jsou zde k dispozici již zmíněné návleky, které drží chránič na správném místě. U levnějších typů chráničů se mimo pásky na suchý zip objevuje i textilní část, která chrání především kotník. Největší cenový rozdíl však činní právě materiál, ze kterého je chránič vyroben.

II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

7 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem je vytvoření fotbalového holenního chrániče z kompozitního materiálu. S tím je spojen vlastní návrh a výroba formy pro lisování prepregů.

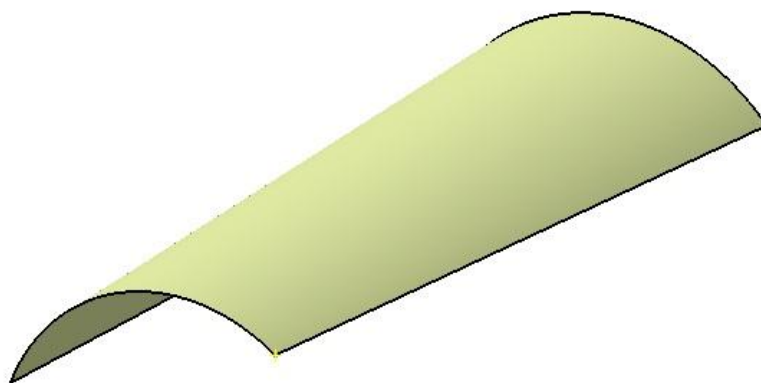
Dílčí cíle práce:

- vytvoření vlastního 3D návrhu chrániče (výroba jednoduchého kartonového prototypu pro představu o budoucím výrobku)
- návrh hliníkové formy pro lisování chrániče z prepregu
- výroba formy třískovým obráběním (frézováním)
- teoretické návrhy tří možných forem pro sériovou výrobu holenních chráničů
- výroba a úpravy konečného výrobku
- testování normovaných těles ohybovou zkouškou a zkouškami rázovými

8 NÁVRH HOLENNÍHO CHRÁNIČE

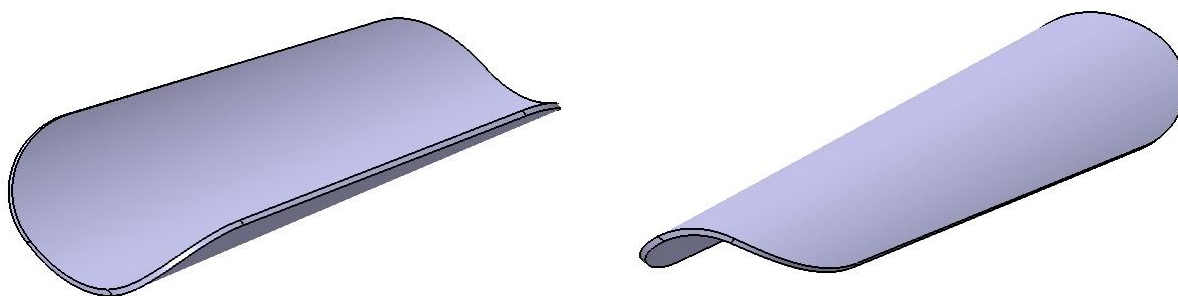
Model holenního chrániče je vytvořen v programu CATIA V5. Jedná se v podstatě o skořepinový model, jehož základy jsou vytvořeny v modulu GSD – Generative Shape Design. Tento modul je určen především pro tvorbu plošných výrobků, drátových modelů a celkově pro práci s plochami – nejedná se o klasický modul objemového modelování.

Hlavním cílem u návrhu modelu je vytvořit jednoduchý tvar, který bude univerzální na levou i pravou nohu. U většiny výrobků tohoto typu se tvary u levého a pravého chrániče liší. Tím, že je tvar obou chráničů stejný, se ušetří finanční náklady na výrobu celé další formy nebo druhé lisovací dutiny. Základem chrániče je volba velikostí dvou oblouků, které se vzájemně spojí plochou. Horní část chrániče má poloměr 50 mm a spodní 45 mm. Tyto dvě křivky jsou od sebe vzdáleny 165 mm. Následuje převedení do objemového tvaru a zaoblení rohů. Poloměry zaoblených rohů jsou 30 mm a 25 mm.



Obr. 29: Základní skořepinový tvar

U tohoto prototypu je zvolena tloušťka 1,5 mm, jako je tomu i u většiny takto vyrobených chráničů ve světě. Celkový tvar, velikost a design chrániče je vlastní návrh.



Obr. 30: 3D model chrániče

Pro lepší představu finálního výrobku je provedeno renderování modelu s texturou uhlíkových vláken a také s vlastním potiskem ve formě nálepky (Obr. 31).



Obr. 31: Finální render chrániče s potiskem

8.1 VÝROBA PROTOTYPU

Prototyp holenního chrániče je vyroben z kartonu patřičných rozměrů. Jako další možnost výroby prototypu je 3D tisk (Rapid Prototyping). K tomu je zapotřebí 3D model, dle kterého se výrobek vytiskne. V dnešní době je již k dispozici několik druhů 3D tisku a liší se zejména použitím materiálů na výrobu.

Dále je možnost vytvoření například plechového, drátěného či dřevěného prototypu. Tyto metody jsou však poměrně složité pro tento typ výrobku. Pro naše účely, představu o tvaru a velikosti postačí jednoduchý kartonový model vytvořený v měřítku 1:1.

8.2 NÁVRH FORMY

Forma pro holenní chránič je navrhuta v programu CATIA V5. Jedná se o návrh tvárníku a tvárnice. Při návrhu se vychází z možností a velikosti školního lisu. Jako základní polotovar je zvolen hliníkový kvádr o rozměrech 220 mm x 260 mm x 50 mm. Materiál formy je Dural AW 5083. Forma je konstruována pro jednoduchou manipulaci při lisování a pro co nejmenší náročnost na výrobu. Tvarová část je odvozena od základního 3D modelu chrániče (Obr. 30) a je vsazena do kvádrů o rozměrech 216 mm x 256 mm x 50 mm. Vy-

středění formy zajišťuje dvojice kolíků o průměru 12 mm. Pro převoz či uskladnění jsou na formě umístěny otvory pro šrouby. U tvárníku jsou vyfrézovány jednoduché osazené otvory pro imbusové šrouby nebo šrouby s šestihrannou hlavou. V tvárnici jsou otvory opatřeny závitem pro šroub o velikosti M10. Jako poslední konstrukční prvek je na tvárnici čtveřice ploch o velikosti 20 mm x 20 mm x 0,9 mm, které slouží jako dorazy při lisování a také pro přepravu, aby se funkční pohledové části formy navzájem nedotýkaly.



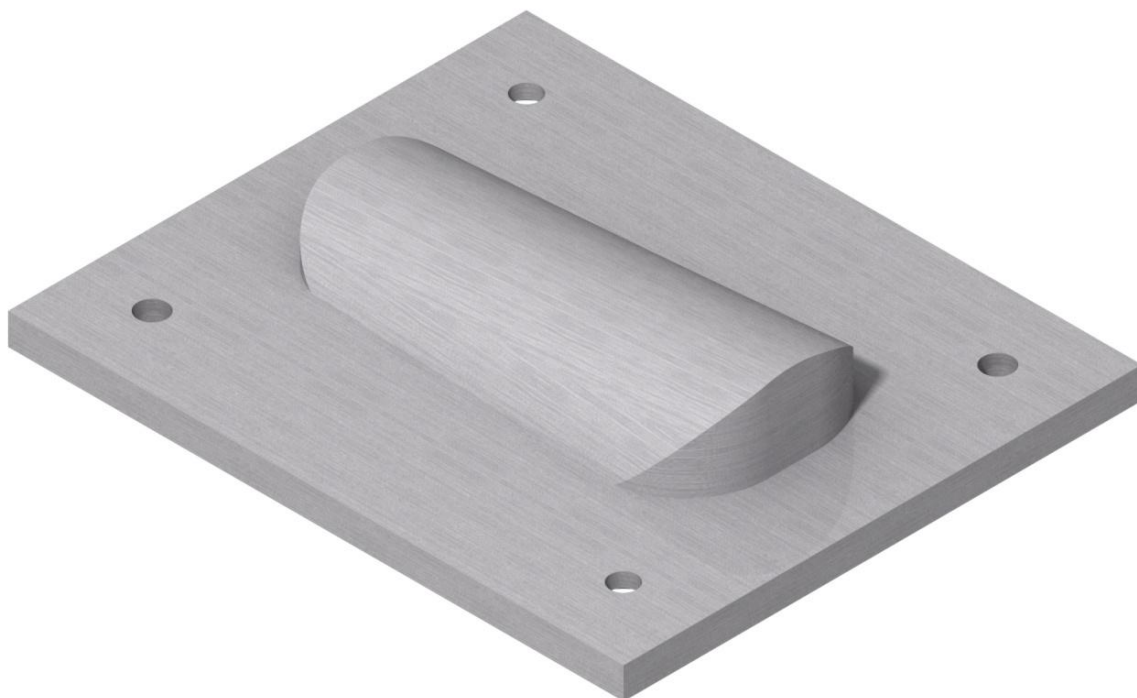
Obr. 32: Detail dosedací plochy a závitu u tvárnice



Obr. 33: Detail otvoru pro šroub u tvárníku



Obr. 34: Render modelu tvárnice (Catia V5)



Obr. 35: Render modelu tvárníku (Catia V5)

Kompletní vymodelovaná sestava tedy obsahuje tvárník, tvárnici, dva kolíky o průměru 12 mm a délce 40 mm a dva šrouby o průměru M10 a délce 40 mm (*Obr. 36*).

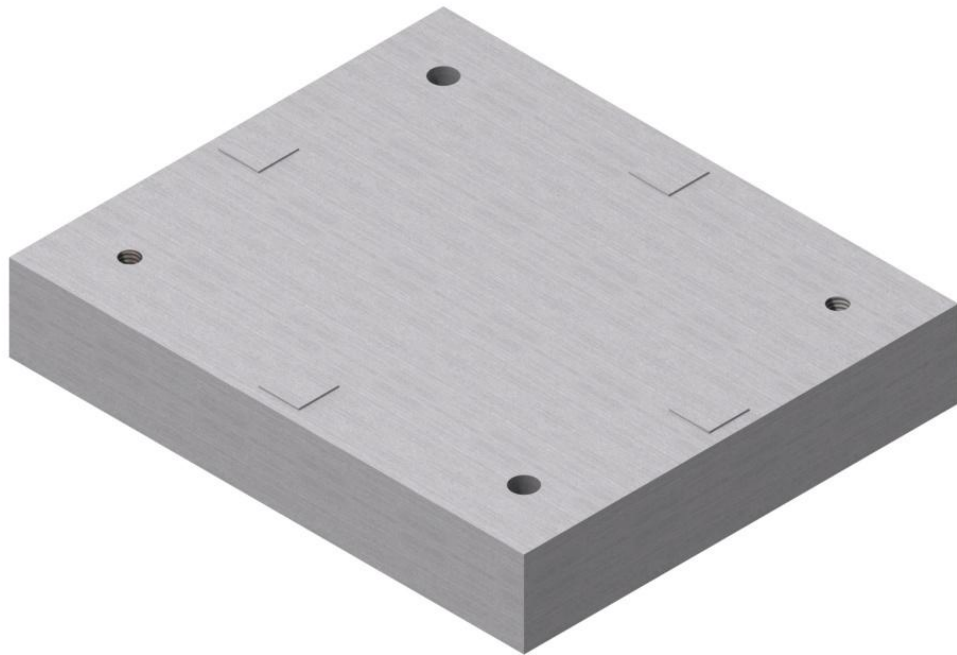


Obr. 36: Render sestavy formy (Catia V5)

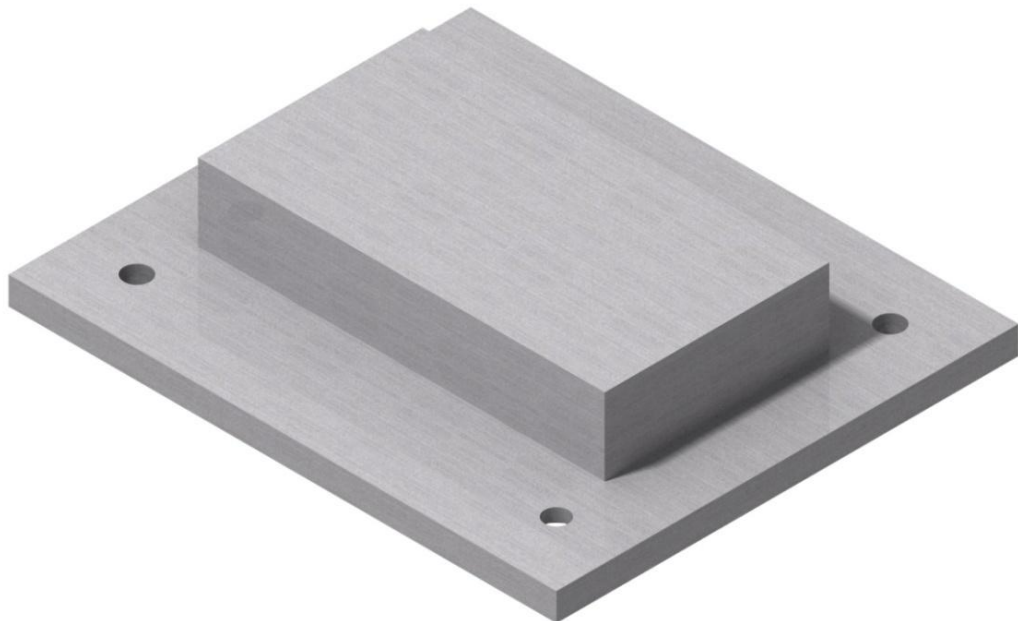
8.3 VÝROBA FORMY

Výroba formy je rozdělena na dvě etapy. První etapa se týká frézování základního tvaru. S ohledem na možnosti frézky, která je k dispozici na fakultě technologické, je tato část vyrobena ve firmě KOVEX s.r.o. Zde se vyrobil základní tvar (s přídatkem na obrábění tvarových částí) včetně závitů, otvorů pro šrouby či středící čepy a čtveřice dorazů. Hlavním důvodem tohoto rozhodnutí je délka frézovacího procesu některých částí formy, kdy software pro jednu hrubovací operaci u tvárníku simuloval i necelých dvacet hodin.

NC kód pro první etapu je napsán ručně, a proto je tvarová část vyrobena následně v etapě druhé pomocí simulačního programu Siemens NX 9. U tvárnice se jedná pouze o zarovnání horní plochy a vyfrézování čtyř dosedacích ploch (*Obr. 37*) a u tvárníku je jako přídatek vložen kvádr o rozměrech 190 mm x 105 mm x 36 mm, do kterého je poté vyfrézována finální tvarová plocha (*Obr. 38*). Výkresy tvárníku a tvárnice, dle kterých se frézovalo v první etapě, jsou umístěny v příloze (*PŘÍLOHA PII*).



Obr. 37: Výsledek frézování tvárnice, etapa I.

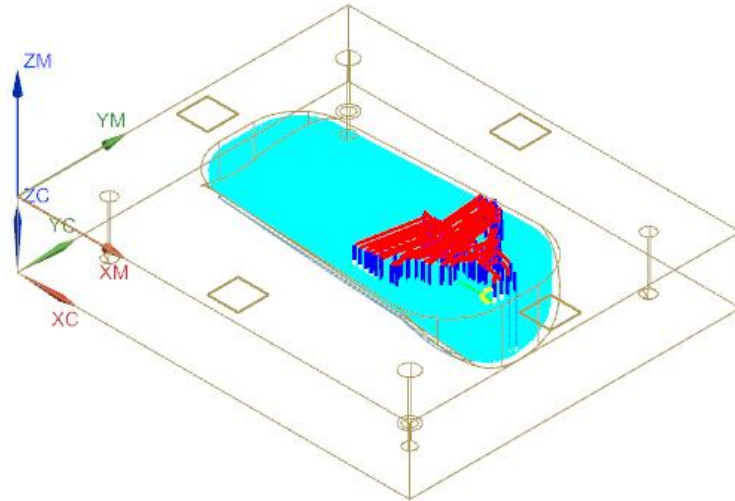


Obr. 38: Výsledek frézování tvárniku, etapa I.

8.3.1 Frézování tvárnice

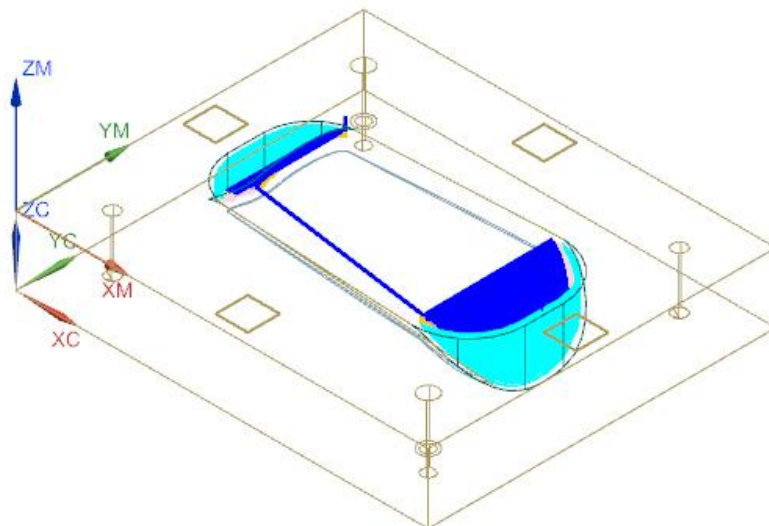
Tvarová dutina je vyrobena ve druhé etapě s využitím frézky HWT C-442 CNC v univerzitních dílnách. NC program pro frézování je vytvořen v simulačním software Siemens NX 9. U frézování tvárnice je celkově využito čtyř různých frézovacích nástrojů. Po ustavení polotovaru a určení nulového bodu se spustí první část programu, ve které se hrubo-

vací operací Cavity Mill vytvoří základ dutiny. Na operaci je využita toroidní fréza D8R1. Obrábění probíhá s přídkem na dokončení 0,3 mm a úběrem materiálu 0,7 mm při otáčkách 10 000 ot. /min. Celý proces hrubování trval dvě a půl hodiny.



Obr. 39: Simulace pohybu nástroje u hrubování tvárnice (Cavity Mill)

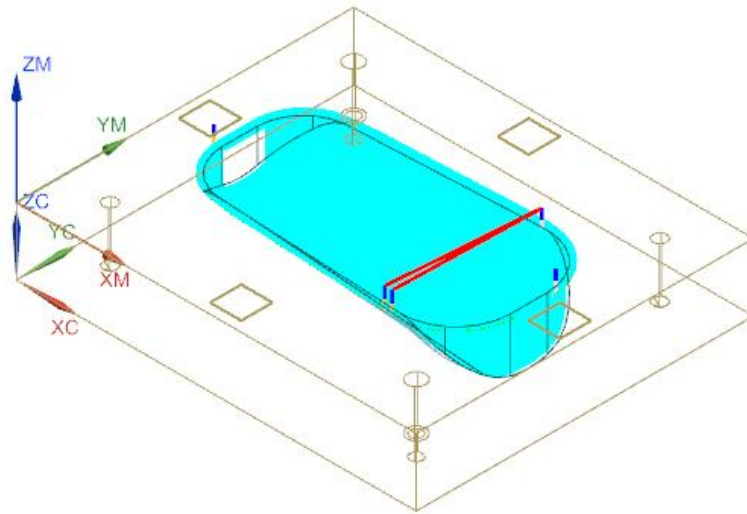
Druhý program, u kterého je využito speciálního nástroje na frézování stěn D6R0.1, dokončí boční kolmé plochy na obou koncích tvarové dutiny. Je využita operace Zlevel Profile, která je určena právě pro tento typ frézování. Zde dochází k úběru materiálu 0,3 mm při otáčkách 12 000 ot. /min. Operace trvala necelých 30 minut.



Obr. 40: Simulace pohybu nástroje u dokončení kolmých stěn (Zlevel Profile)

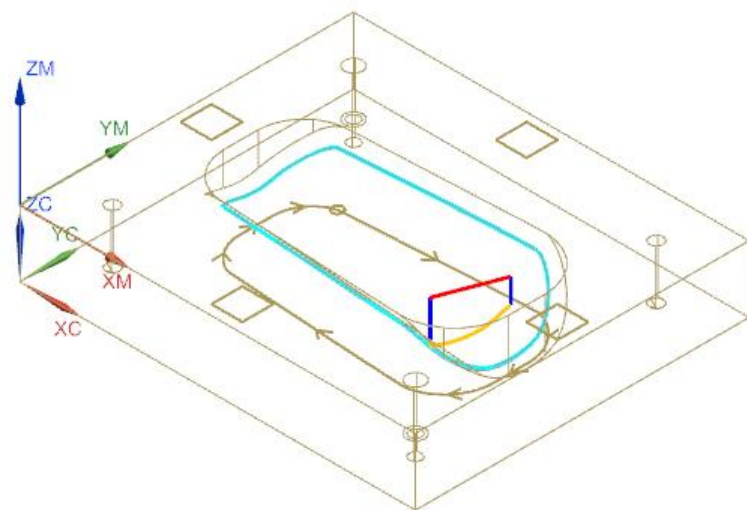
V předposlední třetí operaci, ve které je využito funkce Countour Area, je dokončena nej důležitější plocha dutiny formy z hlediska přesnosti a kvality povrchu. Jako nástroj je pou-

žita kulová fréza D5R2.5, na kterou je využito 20 000 otáček za minutu. Směr frézování je oproti hrubovacímú procesu pootočen o úhel 90°.



Obr. 41: Simulace pohybu nástroje u dokončení tvarové dutiny (Contour Area)

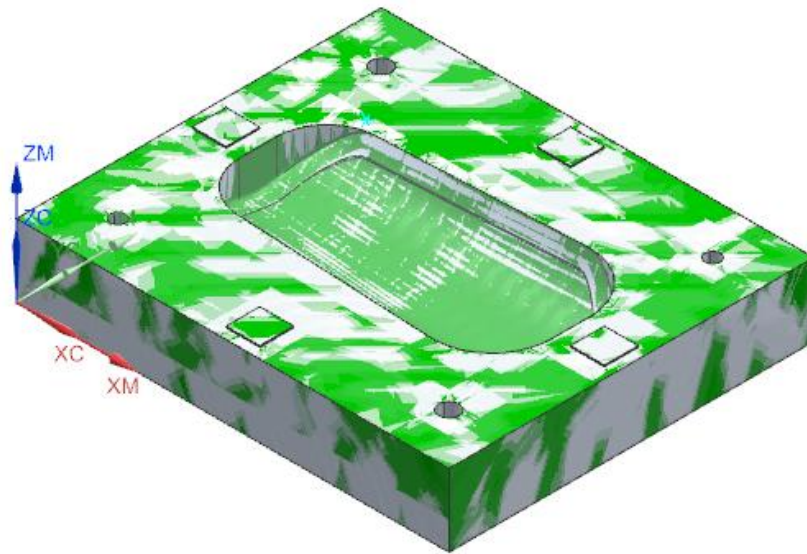
Čtvrtý program zajišťuje vytvoření drážky o hloubce 0,2 mm, která představuje finální velikost a tvar výrobku. Slouží k vytvoření miniaturního prolisu na výrobku a díky tomu zobrazuje místo budoucího řezu, kterým se odstraní přebytečný materiál. Pro tento program je použita funkce Profile 3D a jako nástroj gravírovací fréza o průměru 4 mm při otáčkách 20 000 ot. /min.



Obr. 42: Simulace pohybu nástroje u frézování drážky tvárnice (Profile 3D)

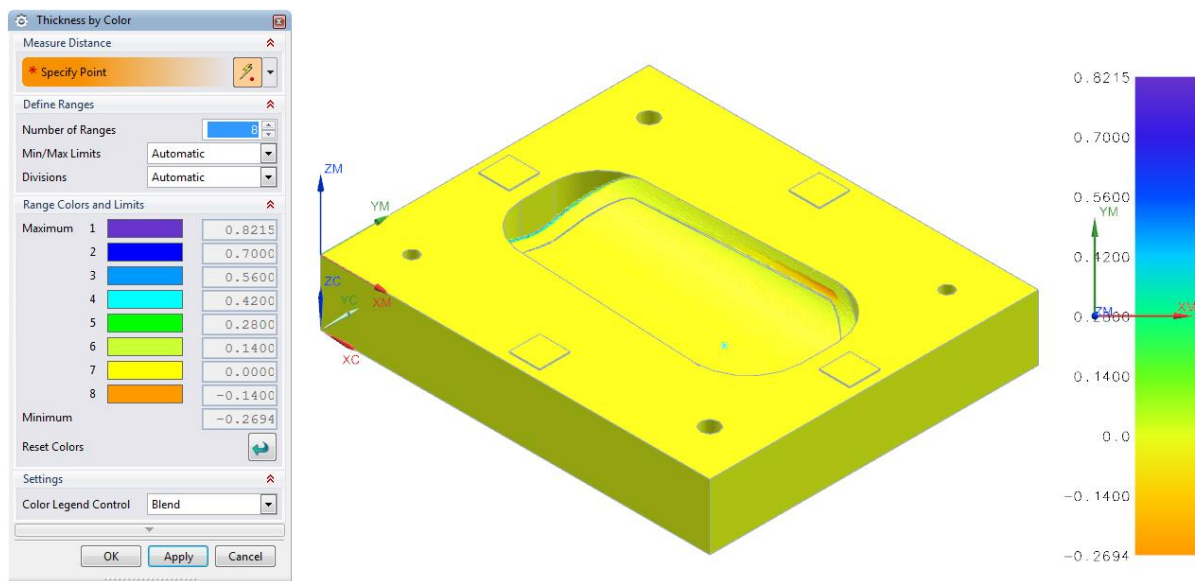
Program Siemens NX 9 detailně simuluje celý proces frézování a umožňuje taktéž zobrazení finálního 3D náhledu na vyfrézovanou součást. Zobrazuje kvalitu povrchu a lze na

každém jednotlivém místě zjistit, jak přesné obrábění bude. Výsledný náhled obsahuje i několik dalších užitečných funkcí pro detailní představu konečného výrobku.

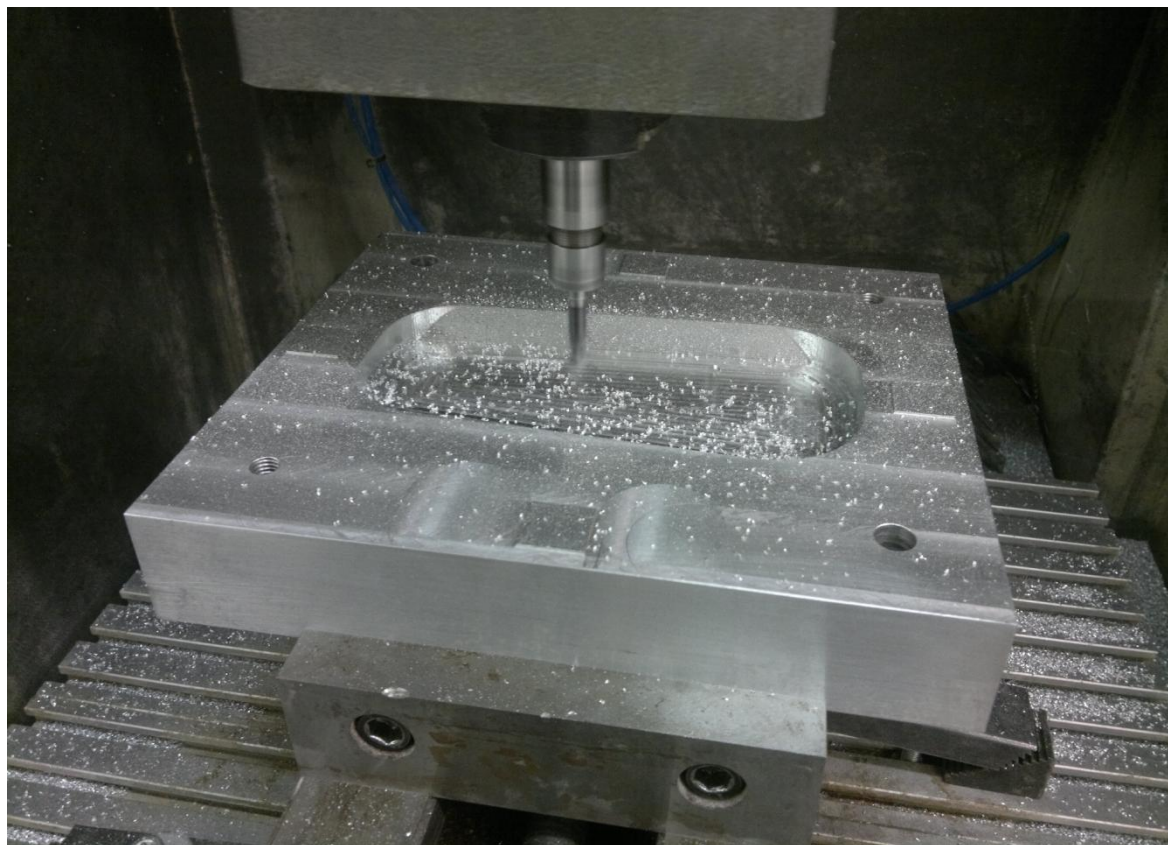


Obr. 43: 3D náhled finální obrobene plochy tvárnice v programu NX 9

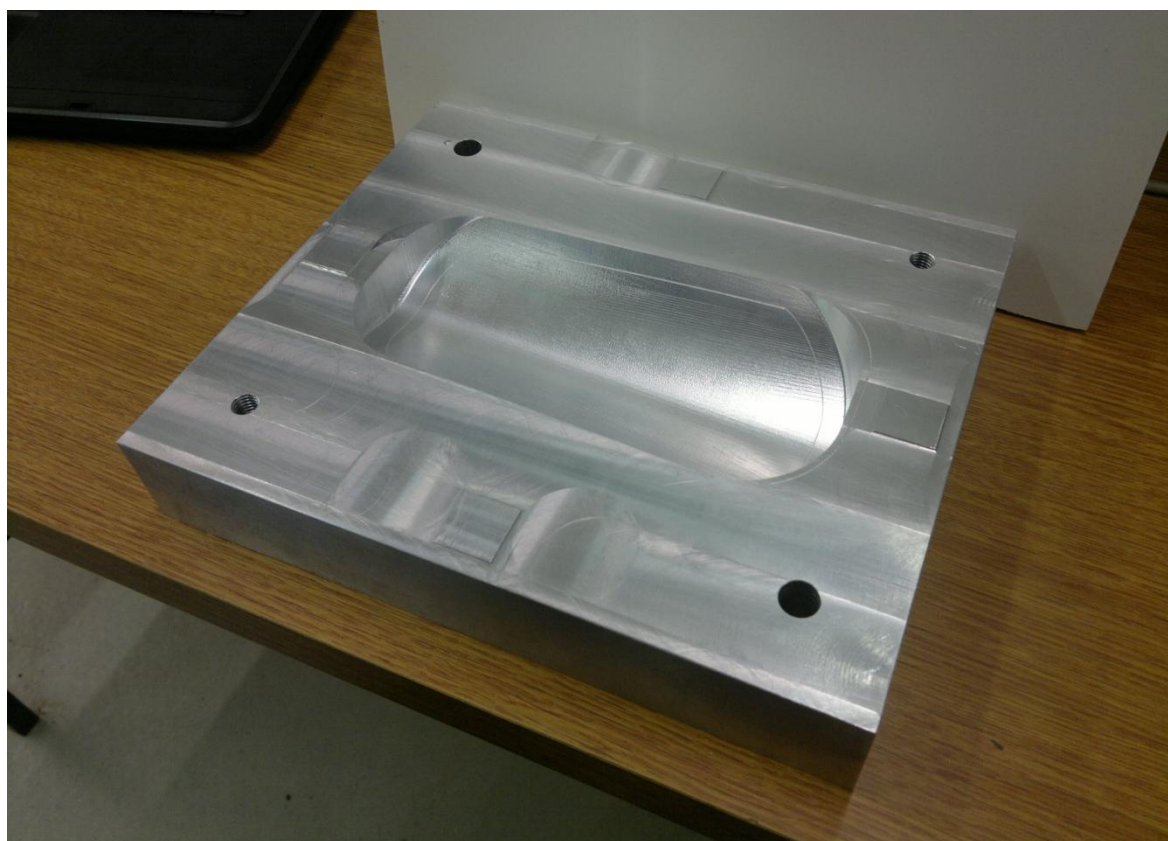
Hojně využívanou funkcí je zobrazení jakosti obrobene plochy v rozdílných barvách (Show Thickness by Color) pro porovnání zbytkového materiálu. Na stupnici jsou zobrazeny odstíny barev a každá barva má svoji hodnotu, kterou lze kliknutím na libovolném bodu na obrobku zobrazit a zjistit tak případné chyby nebo nesrovnalosti v jakosti povrchu.



Obr. 44: Funkce Show Thickness by Color



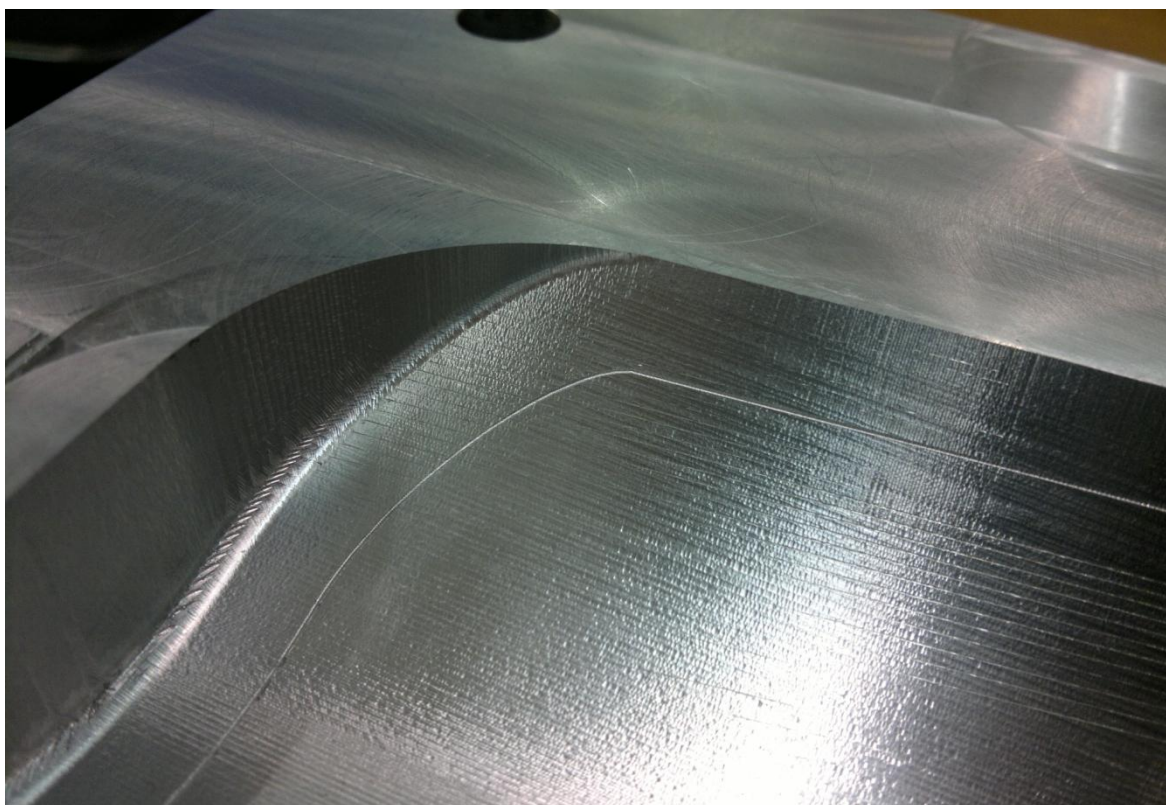
Obr. 45: Hrubování tvárnice



Obr. 46: Dokončená tvárnice

Jakost dutiny je ovlivněna možnostmi a výkonem frézky a frézovacích nástrojů. Pro zlepšení kvality povrchu se může forma leštit nebo jemně brousit. K vyrovnání nepřesností je také využito separátoru, který se používá i pro lepší vyjmutí výrobku z formy.

Při lisování prepregu z uhlíkových vláken se na výsledném výrobku objeví každá sebe-menší nepřesnost, včetně vyfrézovaných stop po nástroji. I proto je potřeba dbát na vysokou přesnost a dobrou kvalitu povrchu dutiny formy.

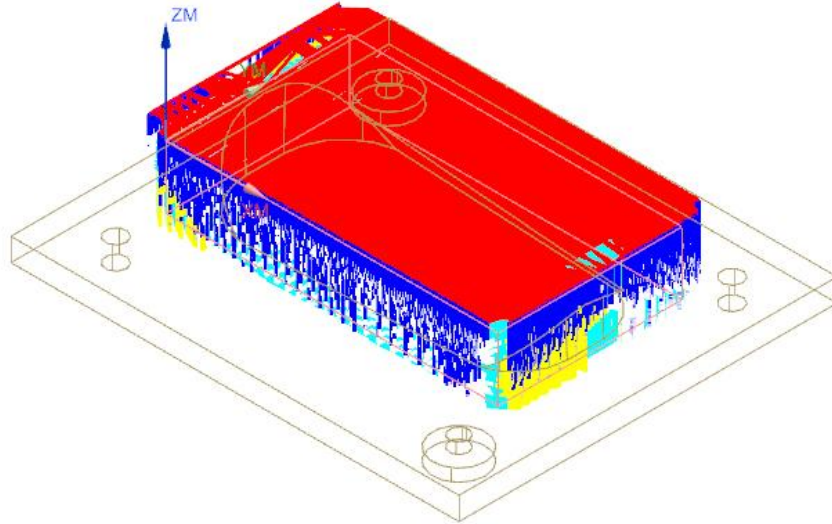


Obr. 47: Detail povrchu dutiny tvárnice

8.3.2 Frézování tvárníku

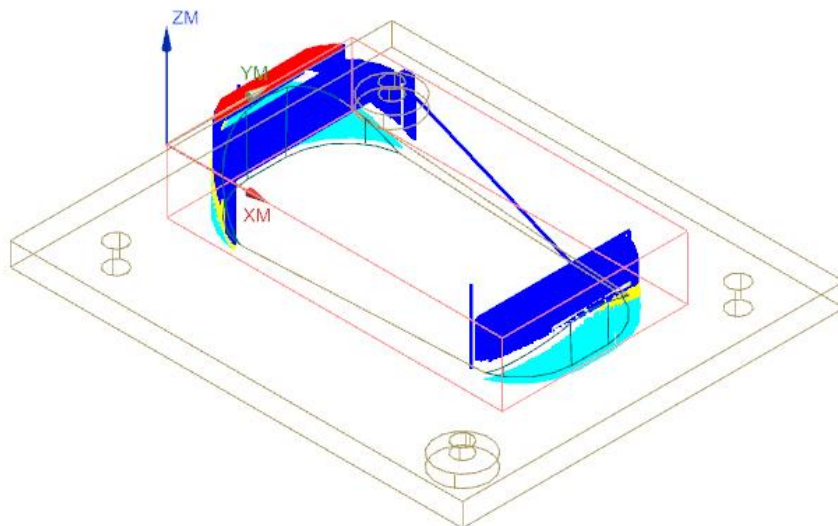
Stejně jako u tvárnice je i zde tvarová část vyrobena ve druhé etapě s využitím frézky HWT C-442 CN. Pro vytvoření NC programu pro frézování je opět použit simulační software Siemens NX 9. Celkově je využito tří frézovacích nástrojů. Před spuštěním prvního programu je polotovar přesně vyrovnán a ustaven v čelistech frézky. Následuje určení nulového bodu, po jehož nastavení se spustí první program. Postup se oproti frézování tvárnice liší jen částečně v detailech. Použité funkce jsou téměř totožné.

První program využívá hrubovací operaci Cavity Mill, která vytvoří základ požadovaného tvaru. Zde je jako nástroj použita toroidní fréza D8R1, která je určena na hrubovací procesy. Otáčky jsou zde nastaveny na 10 000 ot. /min a úběr materiálu 0,7 mm. Příklad na dokončení je 0,3 mm. Hrubovací proces trval bez mála šest hodin.

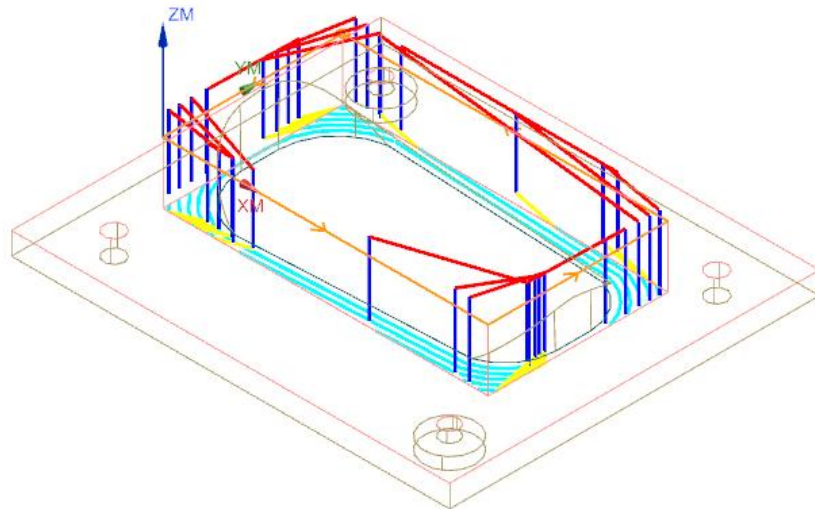


Obr. 48: Simulace pohybu nástroje u hrubování tvarníku (CavityMill)

Na další dvě operace je využita jako nástroj válcová fréza D8. Jedná se o operaci Zlevel Profile, která dokončí kolmé stěny a o operaci Floor Wall, která dokončí zbylé vodorovné plochy, kde je neobrobený přírůstek z hrubování 0,3 mm. Otáčky jsou nastaveny na 10 000 ot. /min. Délka těchto dvou operací je 15 minut.

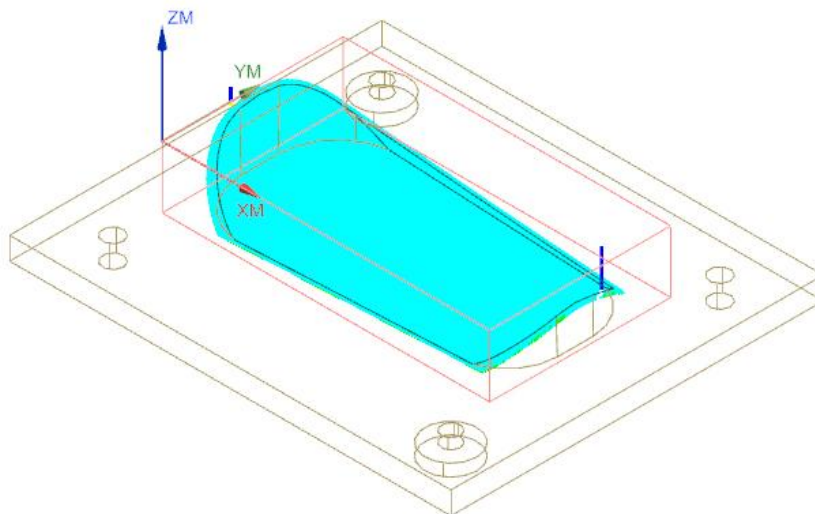


Obr. 49: Simulace pohybu nástroje u dokončení kolných stěn (Zlevel Profile)



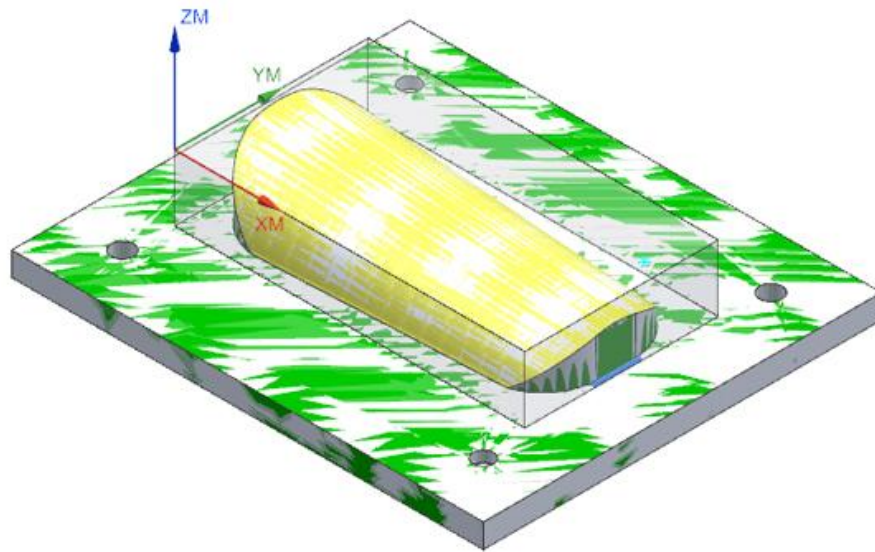
Obr. 50: Simulace pohybu nástroje u dokončení vodorovných ploch (Floor Wall)

Poslední operace obsahuje dokončení tvarové plochy. Je zde využita funkce Countour Area při nastavení 20 000 otáček za minutu. Jako nástroj je stejně jako v případě frézování tvárnice použita kulová fréza D5R2.5. Jelikož výsledná plocha ztvárňuje nepohledovou část výrobku, není potřeba dbát zvýšenými nároky na kvalitu a jakost povrchu.

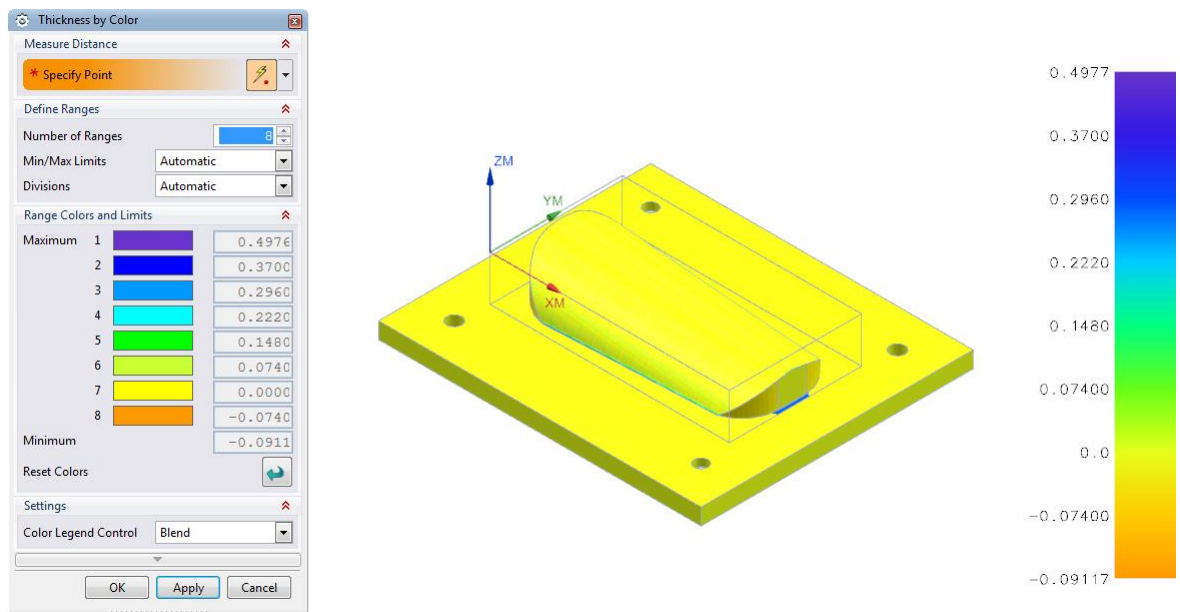


Obr. 51: Simulace pohybu nástroje u dokončení tvarové plochy (Contour Area)

Stejně jako u tvárnice, tak i zde proběhla kontrola jakosti obrobenej plochy finálního výrobku. Komplexní 3D náhled umožní porovnání původního 3D modelu (polotovaru) a konečného vyfrézovaného dílce. Funkce Show Thickness by Color zobrazuje zbytkový materiál ve vybraném bodě (Obr. 52 a Obr. 53).



Obr. 52: 3D náhled finální obrobeneé plochy tvárníku v programu NX 9



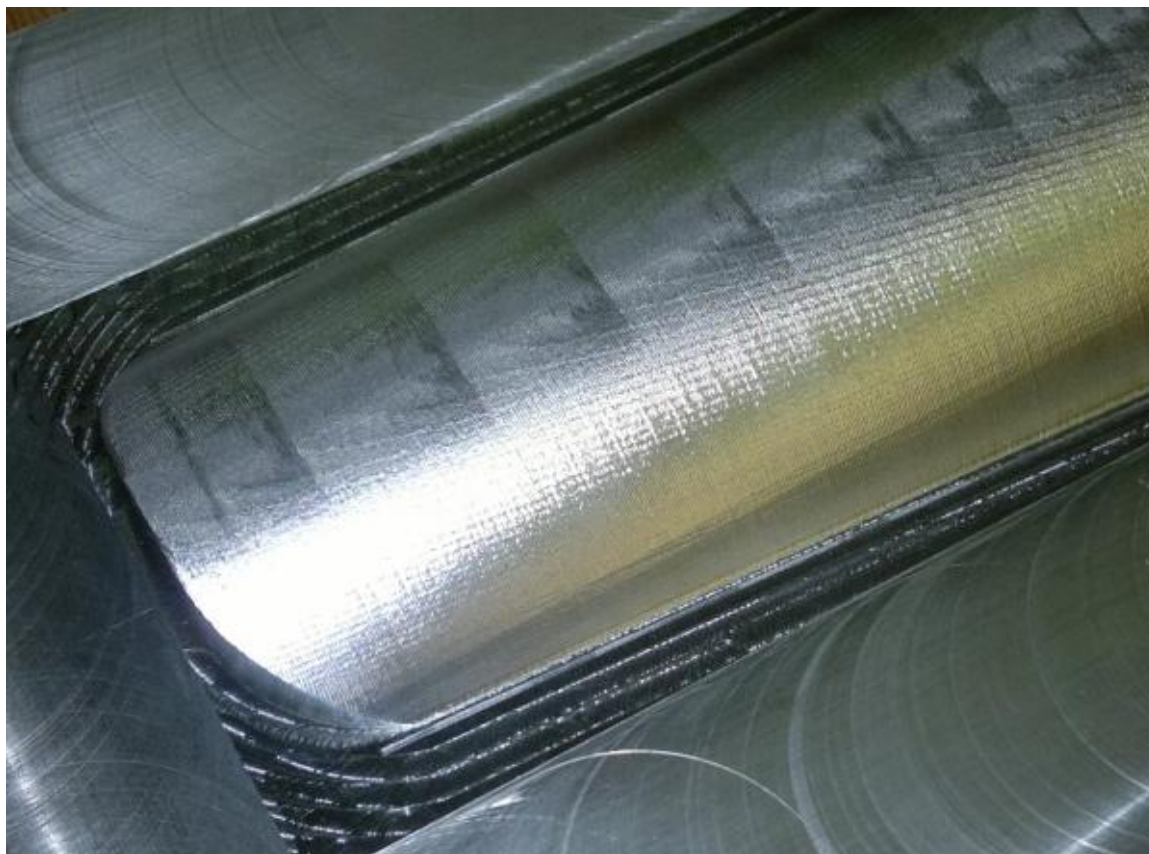
Obr. 53: Funkce Show Thickness by Color



Obr. 54: Dokončení tvarové plochy tvárniku



Obr. 55: Dokončený tvárník



Obr. 56: Detail povrchu tvárníku

Dle fotografií (*Obr. 55 a Obr. 56*) je zřejmé, že stopy po frézovacích nástrojích jsou i mimo funkční plochy značné. Pro účel kusové výroby je však kvalita dostačující. Jako možnosti vylepšení povrchu lze použít strojní broušení (u vodorovných ploch) a ruční broušení (u tvarových ploch).

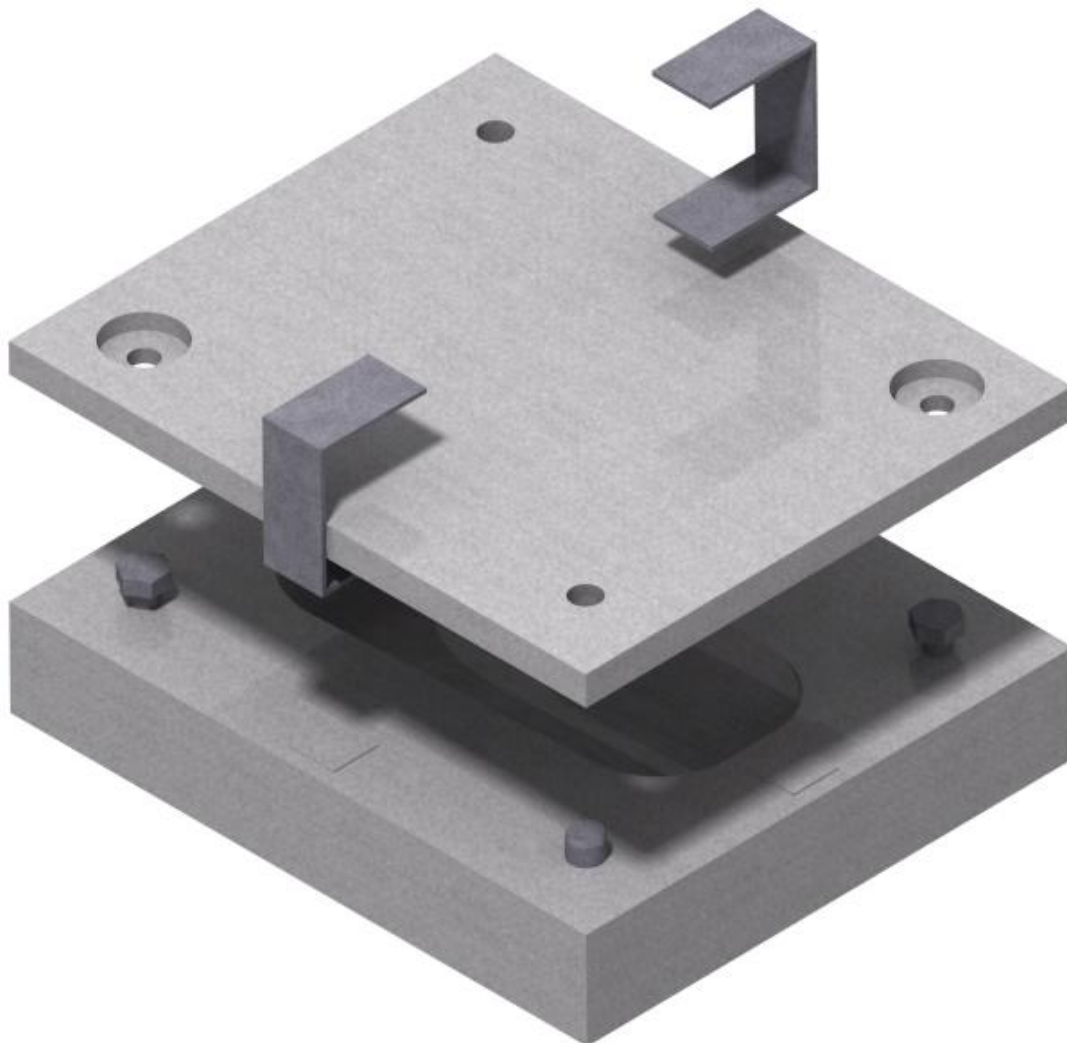
Před samotným lisováním je také tvárník opatřen vrstvou separátoru, který zajišťuje lepší vyjmutí výrobku z formy. Po dokončení frézování již nebyl tvárník žádným způsobem upravován.

8.4 NÁVRH FORMY PRO SÉRIOVOU VÝROBU

Jako teoretická možnost sériové výroby jsou vytvořeny další možnosti a jednoduchá vylepšení stávající základní vyrobené formy. Ve výrobním procesu jde v tomto případě zejména o zrychlení výrobního času. Proto se všechna vylepšení snaží tento aspekt výroby určitým způsobem vylepšit.

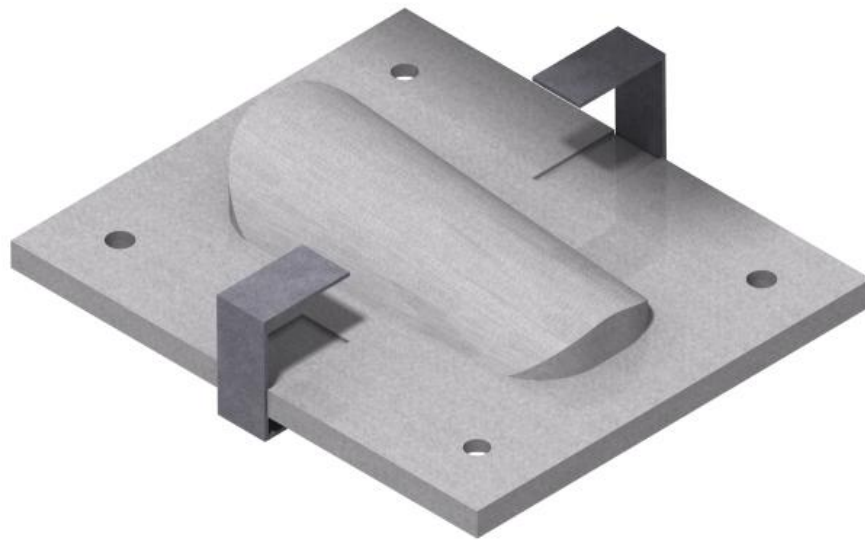
8.4.1 Sériová forma s přídatným uchycením k horní desce lisu

U prvního návrhu jde o jednoduchou úpravu, která zajistí uchycení tvárníku k horní desce lisovacího zařízení. Tímto krokem se zrychlí výrobní proces, protože zde odpadne nutnost formu po vylisování jednoho kusu z lisu vytahovat. Tvárník bude jednoduše kopírovat trasu horní části lisu a po odformování jednoho kusu zůstane prostor pro vložení dalšího materiálu bez nutnosti vytahovat obě části formy z lisu.



Obr. 57: Sestava formy pro sériovou výrobu (1)

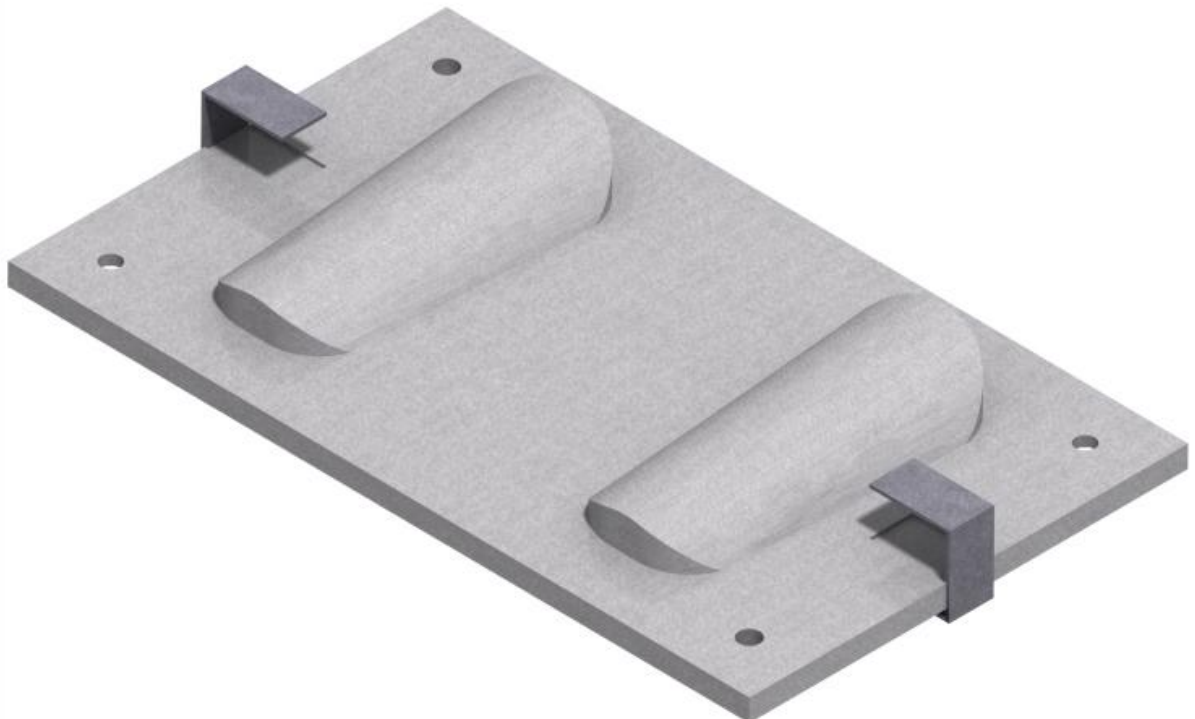
Řešením jsou jednoduché ocelové držáky ve tvaru U, jejichž velikost se liší dle typu použitého lisu (obrázky jsou pouze ilustrativní). Spodní část držáku je zachycena v drážce tvárníku a horní část je poté zachycena k horní desce lisu. Tvar držáků stejně jako i materiál se může lišit dle návrhu konstruktéra a dle možností formy nebo lisu.



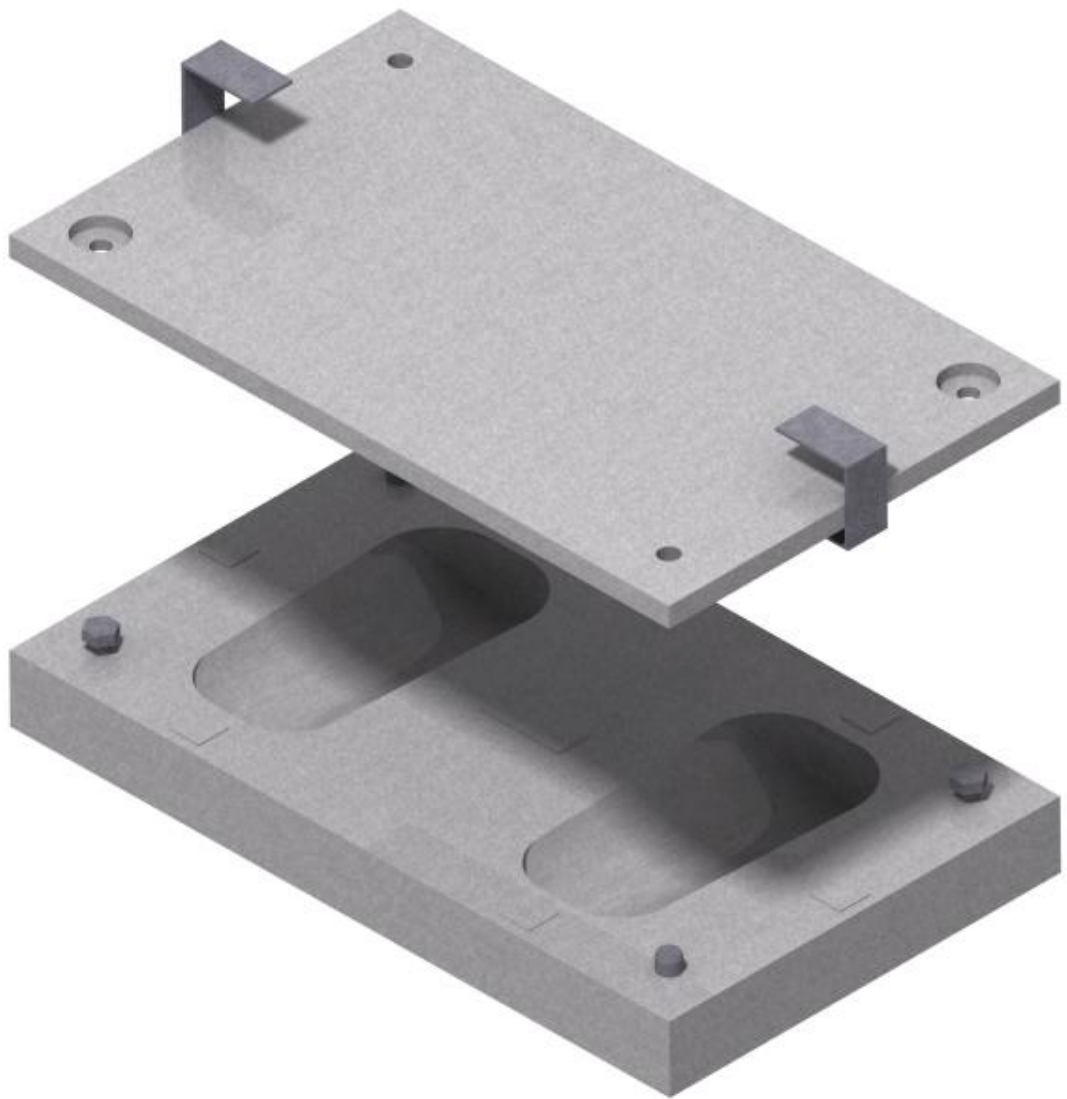
Obr. 58: Tvárník s ocelovými držáky (1)

8.4.2 Sériová forma vícenásobná s přidavným uchycením k horní desce lisu

U této formy se vychází ze sériové formy s přidavným uchycením k horní desce lisu. V podstatě se jedná o totéž, zde jsou však tvary tvárníku a tvárnice rozšířeny o další dutinu. To zajistí lisování dvou chráničů při jednom pracovním kroku. Vše ostatní je totožné s původní formou.



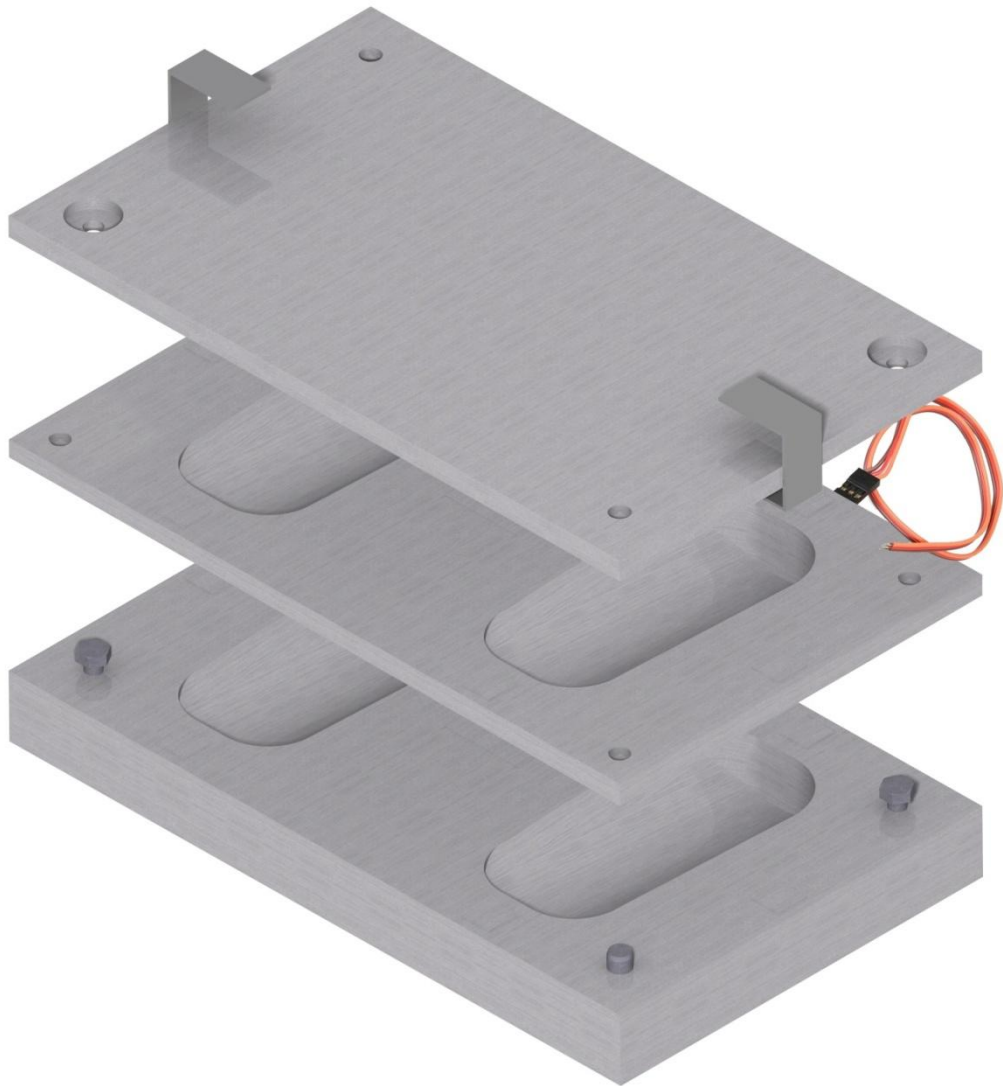
Obr. 59: Tvárník s ocelovými držáky (2)



Obr. 60: Sestava formy pro sériovou výrobu (2)

8.4.3 Sériová forma vícenásobná s vytápěnou vložkou

Třetí typ formy se vyznačuje rozšířením o další dvě dutiny. Celkově se tedy vyrobí při jednom lisovacím cyklu čtyři chrániče. To umožní doplnění formy o prostřední duralovou vložku, která kopíruje přesně potřebné tvary tvárníku a tvárnice. Jedná se již o složitější typ formy, protože její prostřední díl (vložka) je opatřen vyhřívacím zařízením, které zajistí jeho temperování. Teplo, které temperuje tvárník a tvárnici, totiž není schopno proniknout až do střední části formy, a proto je třetí teoretický návrh doplněn o tuto funkci. Vizualní představa a náhled této formy jsou uvedeny níže (*Obr. 61*).



Obr. 61: Sestava formy pro sériovou výrobu (3)

8.5 VÝROBA CHRÁNIČE

Lisování chrániče je prováděno na laboratorním lisu při teplotě 160 °C. Doba lisování je určena na 15 minut. Technické údaje použitého lisu jsou uvedeny níže v tabulce (Tab. 3).

Technické údaje	
Rozměry desek	250 mm x 250 mm
Příkon	2 400 W
Maximální teplota / Svírací síla	200 °C / 5t

Tab. 3: Vlastnosti laboratorního lisu

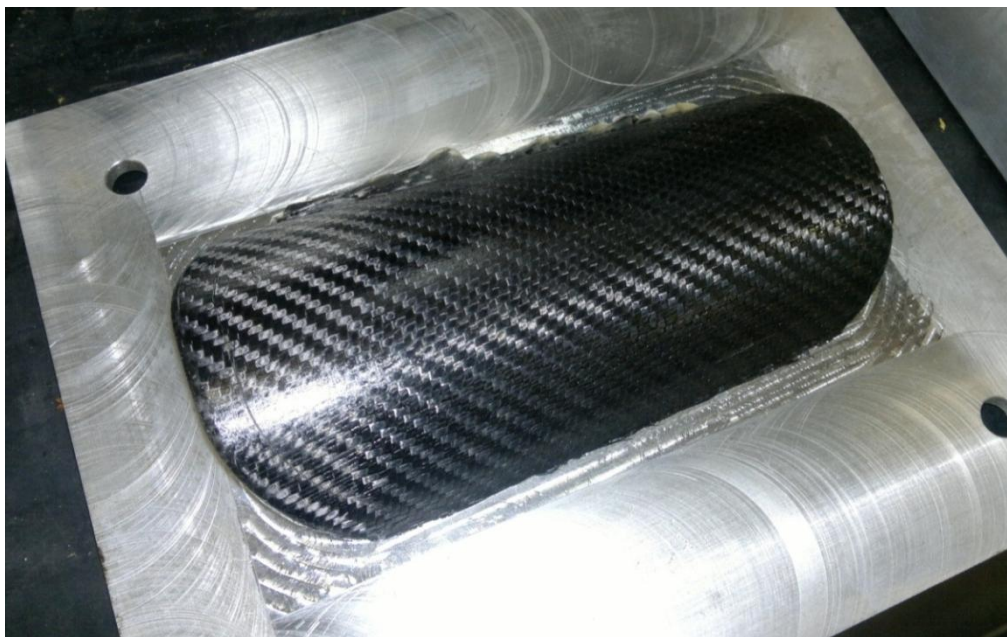
8.5.1 První testovací lisování

První dva výrobky jsou vylisovány při výše uvedených parametrech. Po zahřátí lisu na požadovanou teplotu se vložila na temperování forma. Poté se na dutinu formy nanese separátor, který zajistí lepší vyjmutí výrobku z formy.



Obr. 62: Připravené nastřížené prepregy

Nástřih prepregu je prováděn ručně, dle připravené šablony, která je vyrobena z kartonu. Velikost šablony vychází z přesného obkreslení dutiny formy na tenký papír, podle kterého je vyrobena pevnější kartonová šablona.

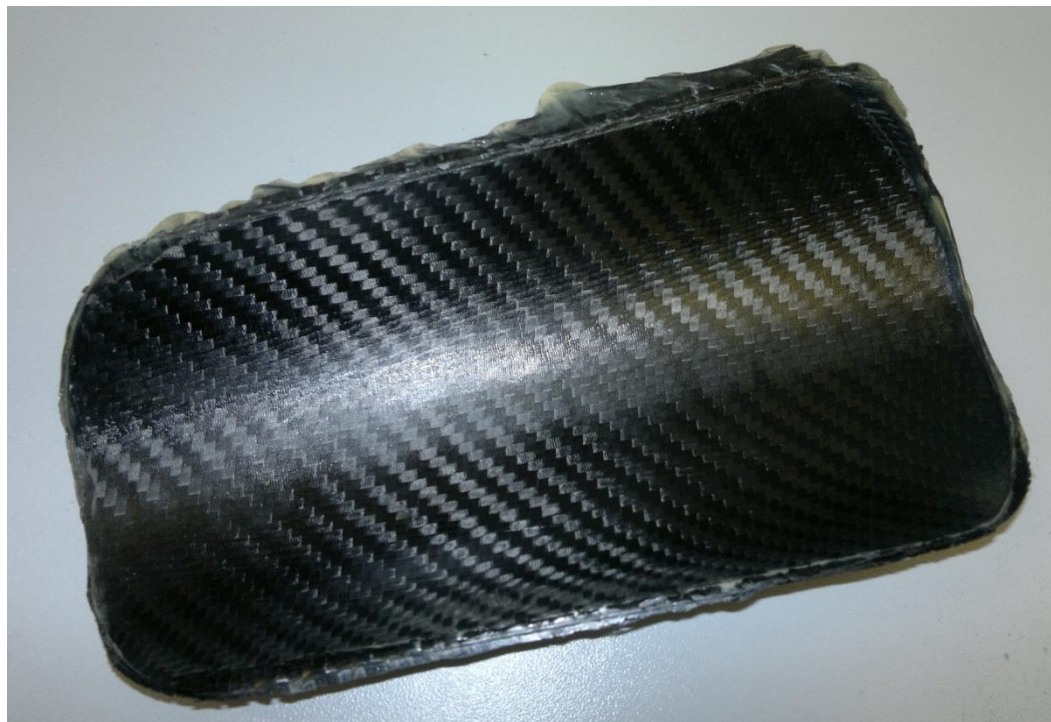


Obr. 63: Chránič na tvárníku po vytažení z lisu

V obou případech zůstal po vytažení vzorek přitlačen na horní části lisu (na tvárníku). Tento jev však nemá na kvalitu výsledného výrobku zásadní vliv. Po krátkém ochlazení, které trvalo cca 5 minut, se jednoduše výrobek vyjmul a forma se vrátila do lisu pro předehřev na další lisování.



Obr. 64: První vylisovaný chránič – vnější strana



Obr. 65: První vylisovaný chránič – vnitřní strana

Na prvních dvou chráničích jsou viditelné velké přelisy. Řešením je zmenšení šablony na ořezání prepregu a tím i zmenšení připravených plátek. První vzorky jsou lisovány z osmi vrstev a dotlačení není úplně ideální. Na dobré vylisování je tedy potřeba minimálně deset vrstev, které vyplní lépe prostor dutiny, která je navržena na tloušťku chrániče 1,5 mm. Celkově jsou na výlisku viditelné stopy po frézování formy. Tyto nedokonalosti jsou upraveny pomocí bezbarvého laku na kompozitní materiály. Drážka, která slouží jako zobrazení finálního tvaru při ořezání, je na většině míst uspokojivě viditelná.

8.5.2 Lisování

Při dalším lisování jsou pro lepší vylisování aplikovány výše uvedené návrhy úprav. Nástřih prepregu je zmenšen pro zmírnění přelisů a všechny další výrobky jsou lisovány z deseti vrstev. Stejně jako u prvního testovacího lisování i zde se provádí lisování za teploty 160 °C. Jako materiál je použit uhlíkový prepreg. U dvou chráničů je jako pohledová vrstva (první vrstva při vkládání prepregu) využit aramid / uhlíkový prepreg.



Obr. 66: Naskládané vrstvy prepregu na vytemperované formě

Jelikož horní deska lisu nedokonale dosedá na formu, je v pravé části umístěna ocelová vložka pro vodorovné vyrovnání horní desky lisu s tvárníkem formy (*Obr. 67*).



Obr. 67: Vypodložení horní desky lisu

Jak je výše uvedeno, výlisek zůstává po vytažení formy z lisu na tvárnici. Při jednom lisování je forma otočena tvárnicí nahoru, pro zjištění, zda výlisek zůstane i při této poloze formy v lisu na horní části formy.



Obr. 68: Otočená forma v lisu

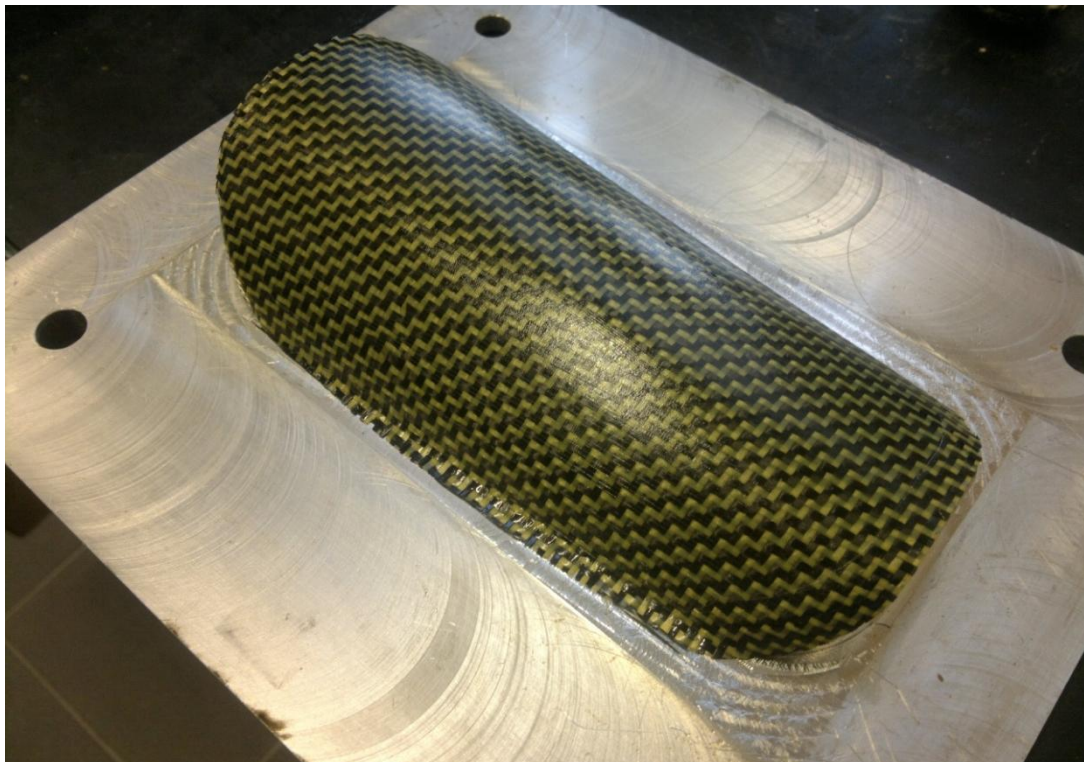
I při této pozici formy v lisu zůstává chránič po vytažení z lisu na tvárníku (*Obr. 68*).

8.6 MOŽNOSTI MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ

Složení materiálu při výrobě chrániče vychází z testování vzorků před samotným lisováním. Testován je prepreg s epoxidovou pryskyřicí a uhlíkovými vlákny EMT 125 PLUS (*materiálový list PŘÍLOHA III*). U dvou vzorků je jako pohledová vrstva použit prepreg s modifikovanou epoxidovou pryskyřicí a s aramidovými / uhlíkovými vlákny IMP503Z (*materiálový list PŘÍLOHA III*), který je vhodný na výrobky, u nichž je požadován kvalitní vzhled. Tento prepreg je také vhodný do kovových forem a pro lisování výrobků o tloušťce větší než 1 mm.

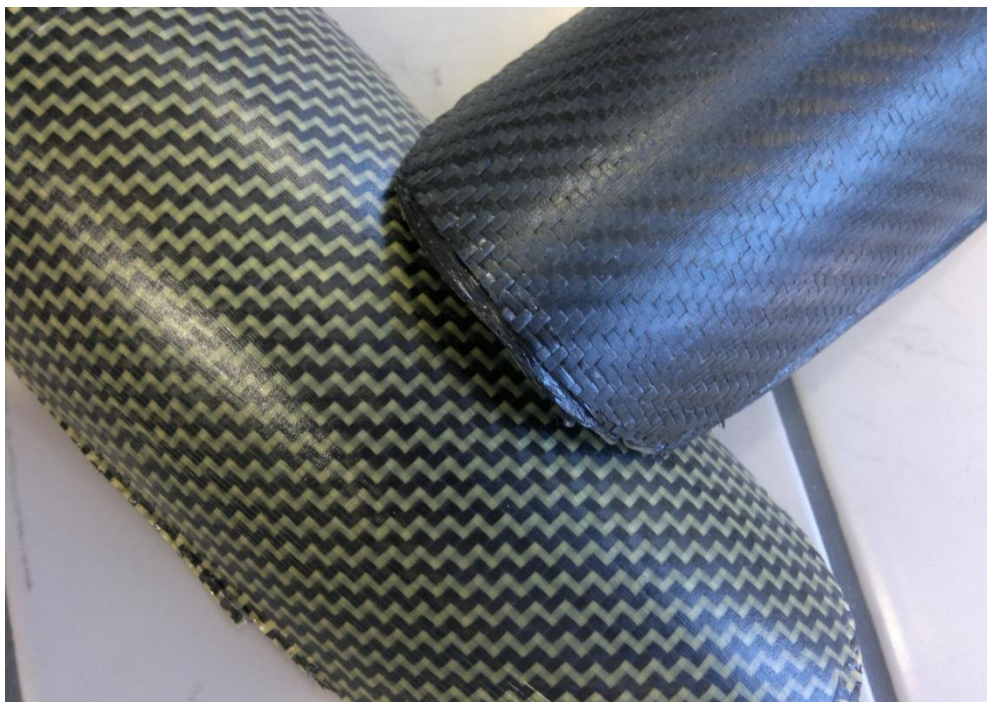
Další možností je použití prepregu ze skelných vláken, který je vhodný například pro snížení hmotnosti. Tento typ prepregu je také v porovnání s prepregem z uhlíkových vláken levnější. Jednou z možností je i kombinace těchto dvou materiálů pro získání odlišných vlastností.

U výrobku tohoto typu lze využít i jednoduché sendvičové konstrukce. Nevýhodou je, že jádro (voština) je v tomto případě o minimální výšce, protože tloušťka chráničů je běžně maximálně 2 mm.



Obr. 69: Chránič s pohledovou vrstvou

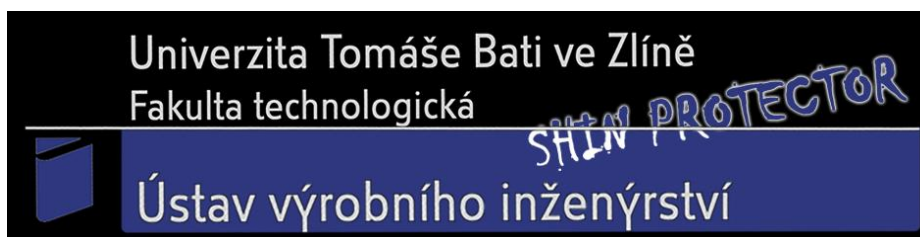
U tohoto prepregu (pouze jedna vrstva) je povrch chrániče velmi dobrý a oproti prepregu čistě z uhlíkových vláken je zde i daleko lépe viditelná drážka pro ořezání.



Obr. 70: Vzhledové porovnání dvou chráničů

8.7 MOŽNOST POTISKU POHLEDOVÉ STRANY

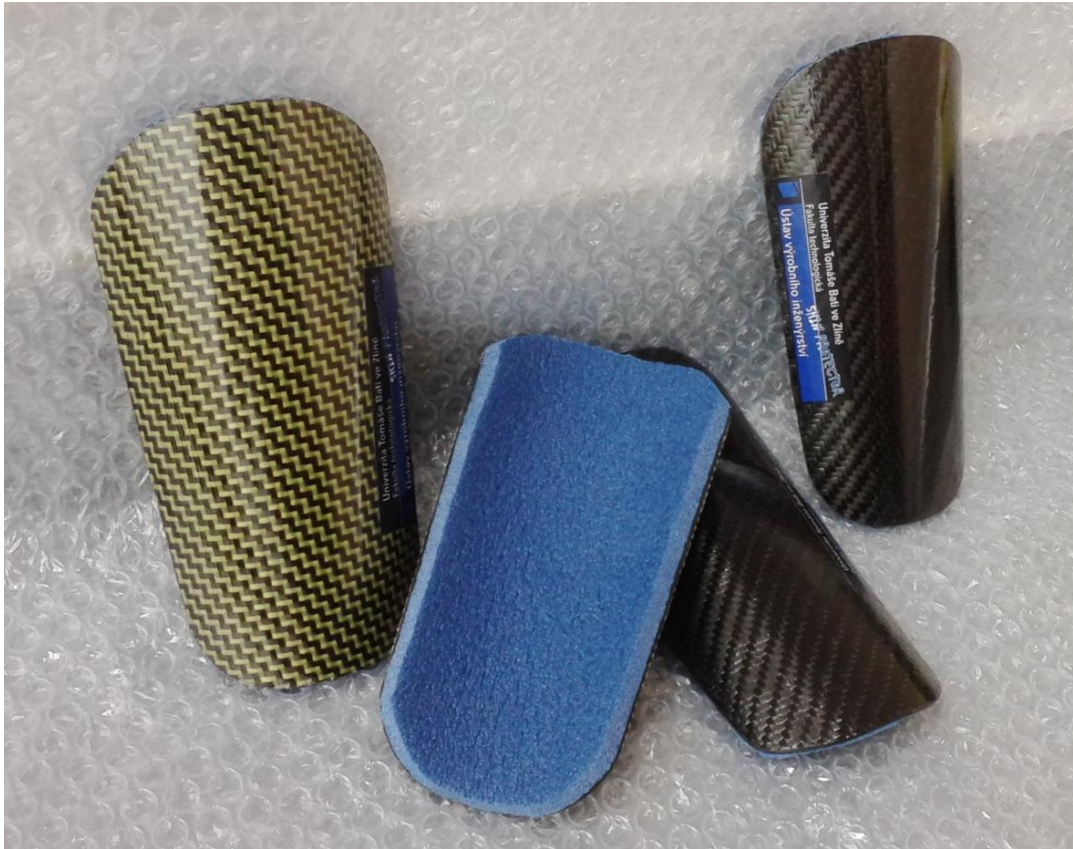
Potisk pohledové strany přímo na výrobek a na daný materiál je složitá operace. Dbá se na teplotu materiálu, při které se aplikuje potiskový materiál a také na kvalitu samotného potiskového materiálu. V našich podmínkách je využito jednoduchých samolepek, které jsou voděodolné a určené pro vnější použití. Po zchlazení výrobku se jednoduše nálepka nanese na předem určenou plochu.



Obr. 71: Náhled vlastního designu nálepky

8.8 FINÁLNÍ ÚPRAVY

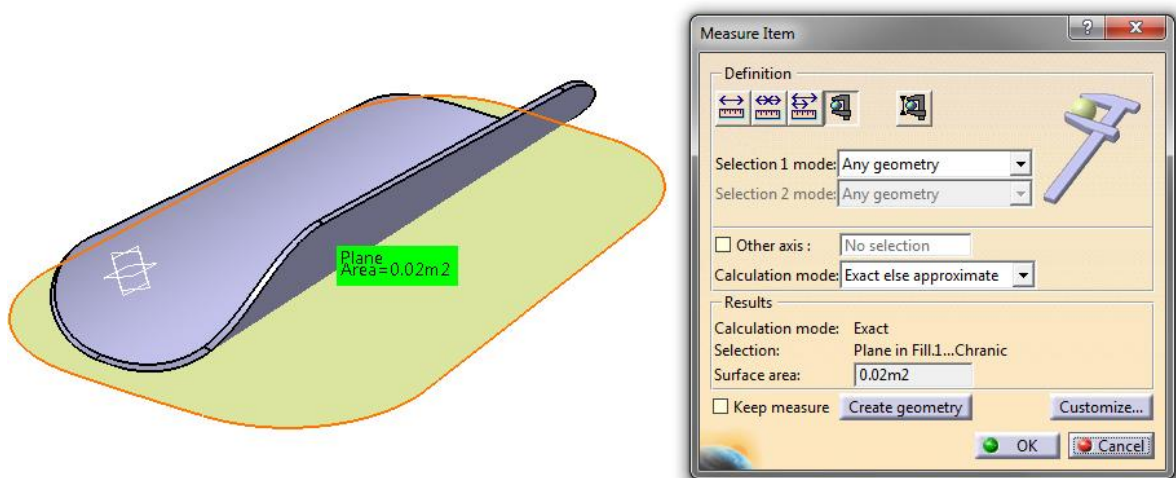
Ořezání chráničů je prováděno ve firmě Form s.r.o. Jako povrchová úprava chrániče je zvoleno bezbarvé lakování. Z vnitřní nepohledové strany je přilepena pomocí speciálního lepidla na obtížné plasty a odolné spoje polyethylenová (PE) pěna a je ořezána dle základního tvaru chrániče. Voděodolná PE pěna zajišťuje pohodlné usazení chrániče na holeni.



Obr. 72: Finální podoba fotbalového holenního chrániče

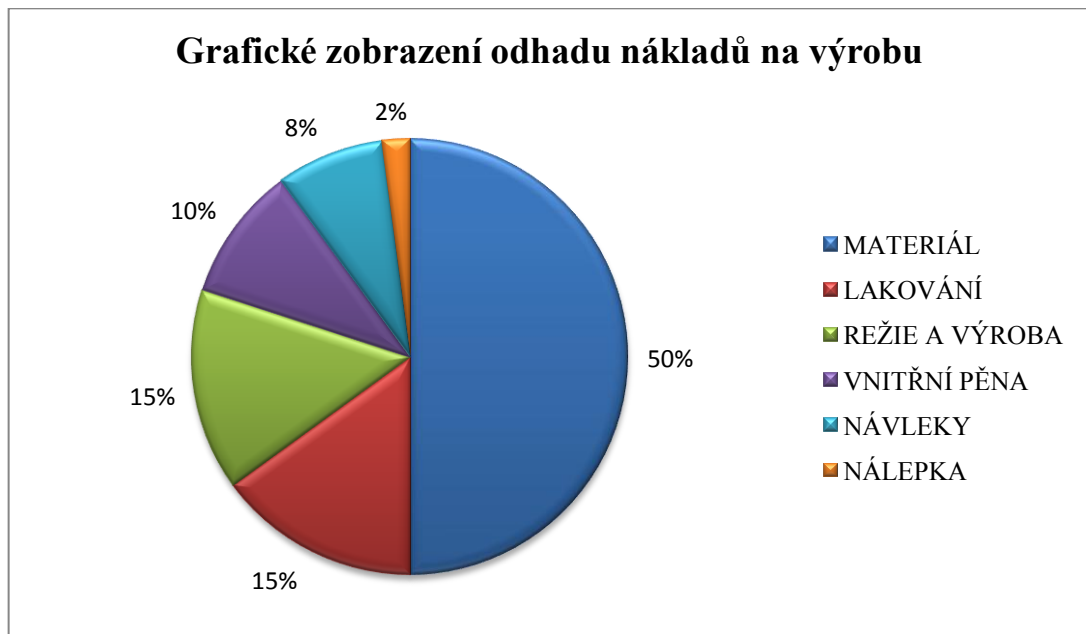
8.9 EKONOMICKÁ KALKULACE

V programu Catia V5 je vytvořena pomocí speciální funkce *Unfold* rozvinutá plocha, která zobrazuje obsah plochy potřebné k jednomu nástřihu prepregu při výrobě chrániče i s přídavkem 1 cm na ořezání (Obr. 73).



Obr. 73: Rozvinutá plocha chrániče

Na jednu plochu nástřihu prepregu je spotřebováno $0,02 \text{ m}^2$. Na každý chránič je potřeba 10 vrstev prepregu a to znamená, že na jeden výrobek se spotřebuje $0,2 \text{ m}^2$. Chrániče se vyrábí vždy na levou i pravou nohu, takže celkově je využito na výrobu $0,4 \text{ m}^2$. Jelikož tvar výstřížku není pravidelný, připočetlo se $0,1 \text{ m}^2$ jako odpad při nastřihávání. Z použité role prepregu o velikosti 1 m^2 je ve výsledku tedy využito $0,5 \text{ m}^2$. Při ceně použitého prepregu $900,- \text{ Kč}$ za 1 m^2 , je výrobní cena použitého materiálu na dva chrániče $450,- \text{ Kč}$.



Obr. 74: Grafické zobrazení odhadu nákladů na výrobu

9 EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ

Pro zjištění vlastností a chování materiálu jsou provedeny zkoušky ohybové a rázové. Testovány jsou normalizované vzorky, kterými jsou desky vylisované z použitého materiálu na výrobu v laboratorním lisu. U každé zkoušky jsou využity vzorky o různých tloušťkách. Jedná se o desky tvořené čtyřmi, šesti, osmi a dvanácti vrstvami prepregu.

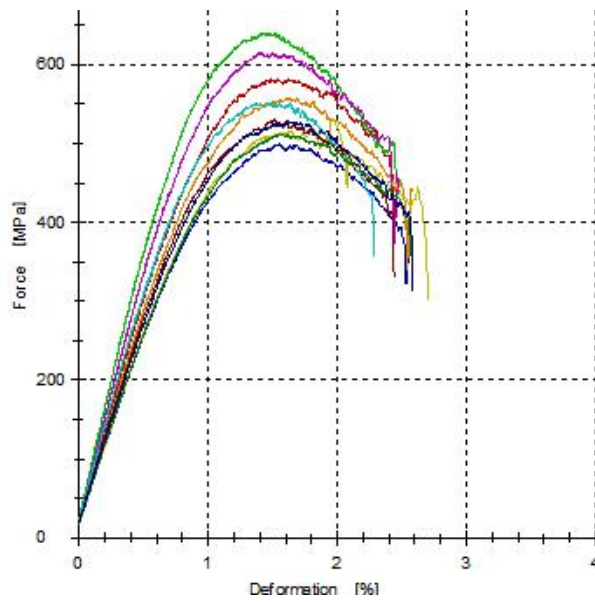
9.1 OHYBOVÁ ZKOUŠKA

Ohybová zkouška je prováděna na laboratorním stroji Zwick Roell 1456 dle normy EN ISO 14125 [42]. Všechny vzorky jsou ohýbány za pokojové teploty. U jednotlivých vrstev je měřeno vždy 10 vzorků.



Obr. 75: Laboratorní stroj Zwick Roell 1456

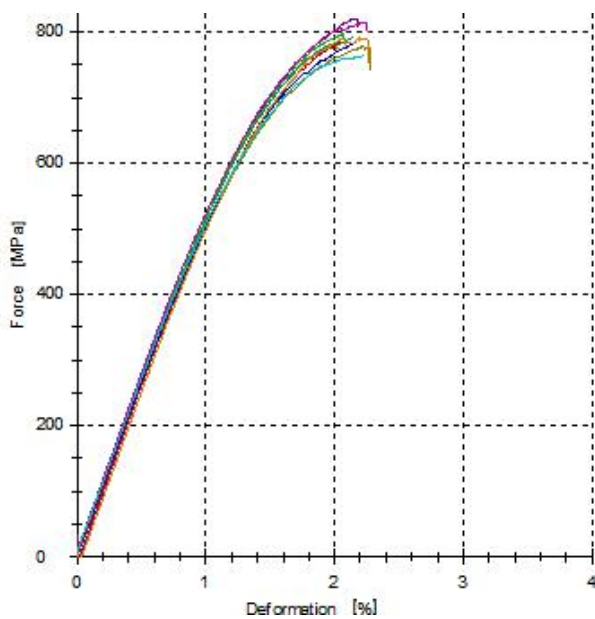
9.1.1 Vyhodnocení zkoušky



Obr. 76: Graf dosažené síly F [MPa] v závislosti na deformaci [%] (4 vrstvy)

4 vrstvy	E	σ_{Max}	$\epsilon_{\sigma Max}$	$W_{\sigma Max}$
$n = 10$	[GPa]	[MPa]	[%]	[Nmm]
\bar{x}	56,5	555	1,6	661,98
s	7,17	45,7	0,2	98
\bar{s}	12,69	8,23	10,13	14,8

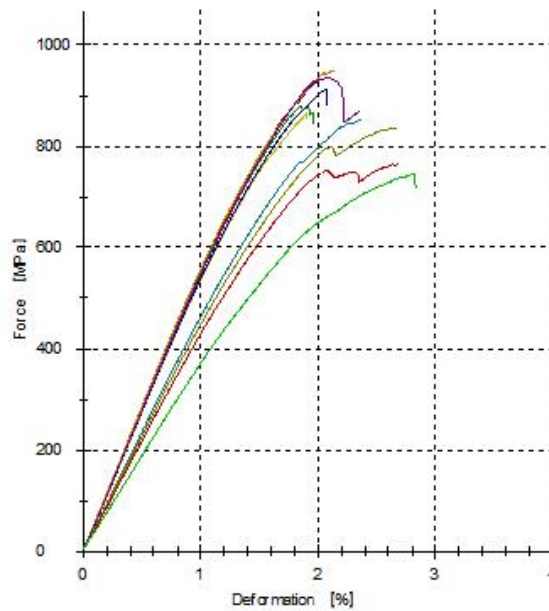
Tab. 4: Výsledné hodnoty - ohybová zkouška (4 vrstvy)



Obr. 77: Graf dosažené síly F [MPa] v závislosti na deformaci [%] (6 vrstev)

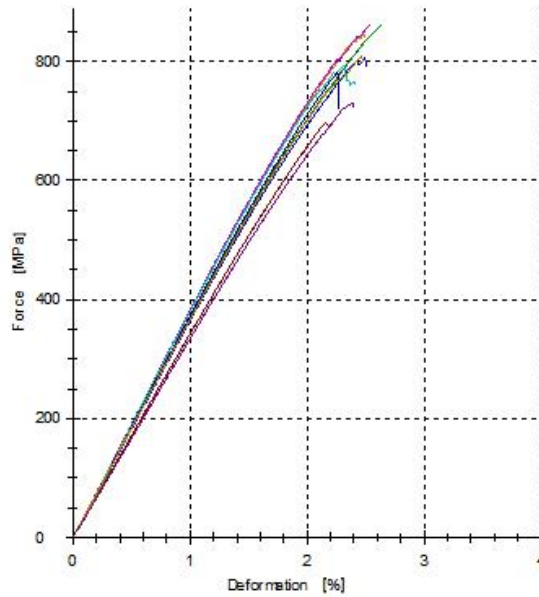
6 vrstev	E	σ_{Max}	$\epsilon_{\sigma Max}$	$W_{\sigma Max}$
n = 10	[GPa]	[MPa]	[%]	[Nmm]
\bar{x}	53,4	791	2,1	1883,96
s	0,944	16,9	0,1	90,54
\bar{s}	1,77	2,13	3,62	4,81

Tab. 5: Výsledné hodnoty - ohybová zkouška (6 vrstev)

Obr. 78: Graf dosažené síly F [MPa] v závislosti na deformaci [%] (8 vrstev)

8 vrstev	E	σ_{Max}	$\epsilon_{\sigma Max}$	$W_{\sigma Max}$
n = 10	[GPa]	[MPa]	[%]	[Nmm]
\bar{x}	50,9	866	2,3	2591,61
s	7,06	69,7	0,3	363,94
\bar{s}	13,87	8,04	15,26	14,04

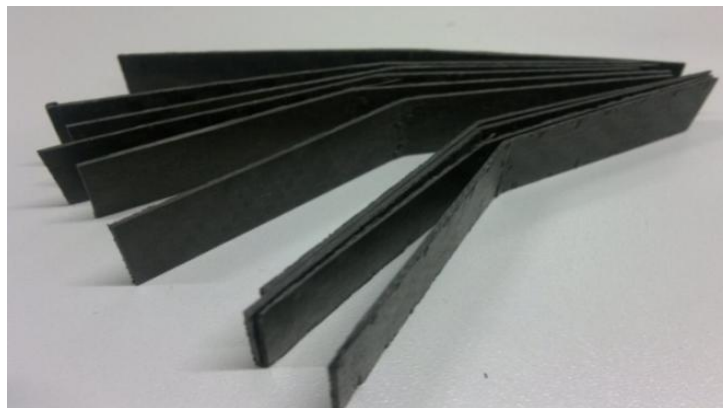
Tab. 6: Výsledné hodnoty - ohybová zkouška (8 vrstev)



Obr. 79: Graf dosažené síly F [MPa] v závislosti na deformaci [%] (12 vrstev)

12 vrstev	E	σ_{Max}	$\epsilon_{\sigma Max}$	$W_{\sigma Max}$
$n = 10$	[GPa]	[MPa]	[%]	[Nmm]
\bar{x}	36,4	799	2,4	3618,86
s	1,74	56,9	0,2	452,61
\bar{s}	4,78	7,12	6,22	12,51

Tab. 7: Výsledné hodnoty - ohybová zkouška (12 vrstev)



Obr. 80: Vzorky po zatížení ohybem

9.2 RÁZOVÁ ZKOUŠKA – CHARPYHO KLADIVO

K první rázové zkoušce je využito Charpyho kladivo RESIL IMPACTOR junior. Zkouška je prováděna dle normy EN ISO 179-2 [43]. Stejně jako u ohýbání jsou i zde vzorky testovány za pokojové teploty a v počtu 10 kusů v každé sérii.

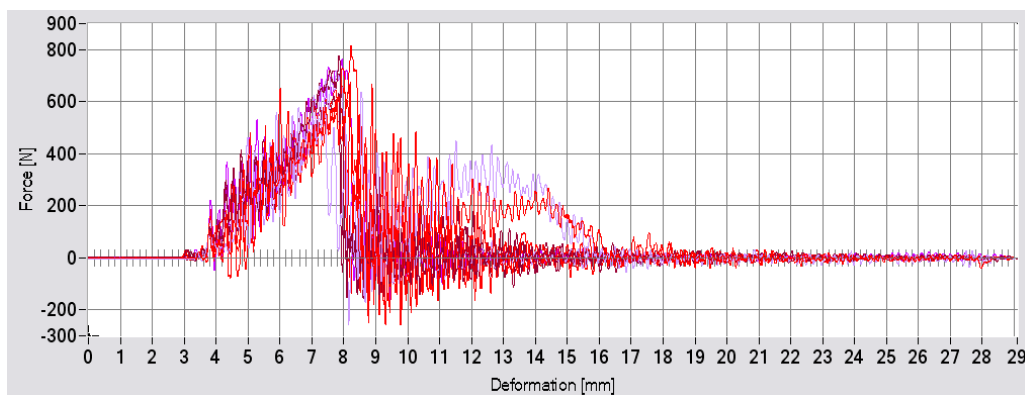


Obr. 81: Charpyho kladivo

9.2.1 Vyhodnocení zkoušky

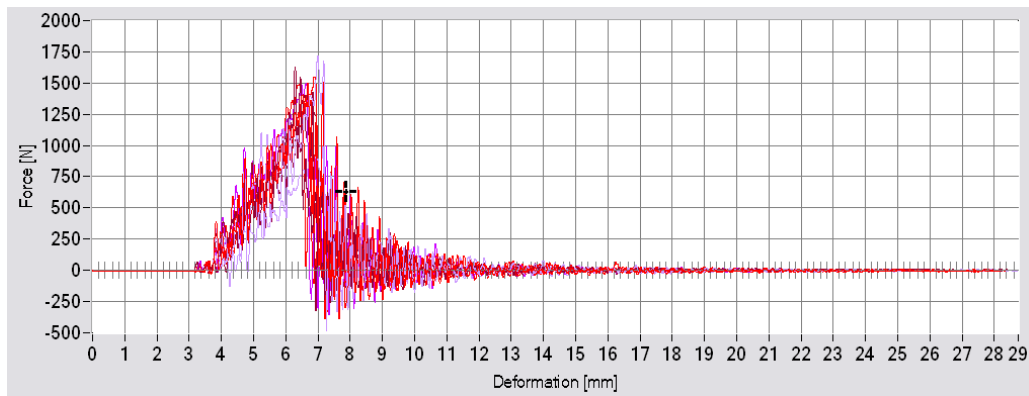
4 vrstvy	F_m	A_m	A_b
n = 10	[N]	[kJ/m ²]	[kJ/m ²]
\bar{x}	700,01	92,63	101,65
s	66,70	6,79	9,54

Tab. 8: Výsledné hodnoty – Charpyho kladivo (4 vrstvy)

Obr. 82: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na deformaci [mm] (4 vrstvy)

6 vrstev	F_m	A_m	A_b
n = 10	[N]	[kJ/m ²]	[kJ/m ²]
\bar{x}	1451,99	125,65	146,32
s	184,76	16,37	14,88

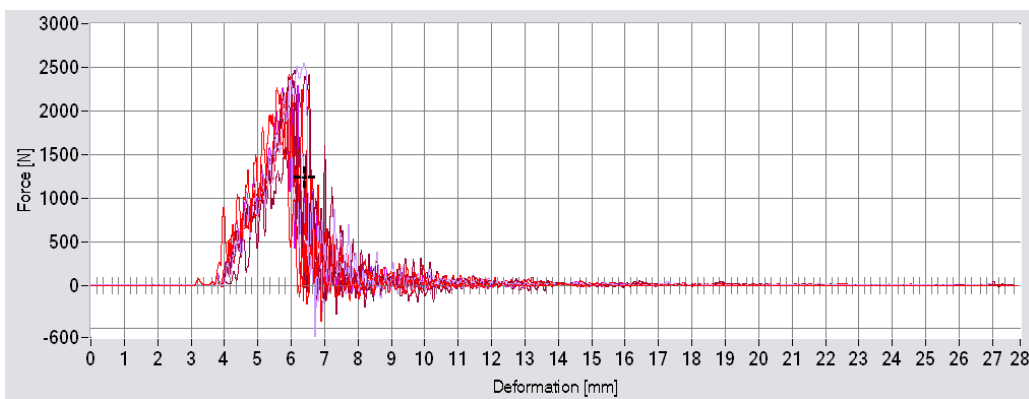
Tab. 9: Výsledné hodnoty – Charpyho kladivo (6 vrstev)



Obr. 83: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na deformaci [mm] (6 vrstev)

8 vrstev	F_m	A_m	A_b
n = 10	[N]	[kJ/m ²]	[kJ/m ²]
\bar{x}	2341,58	78,98	95,91
s	109,40	11,81	7,57

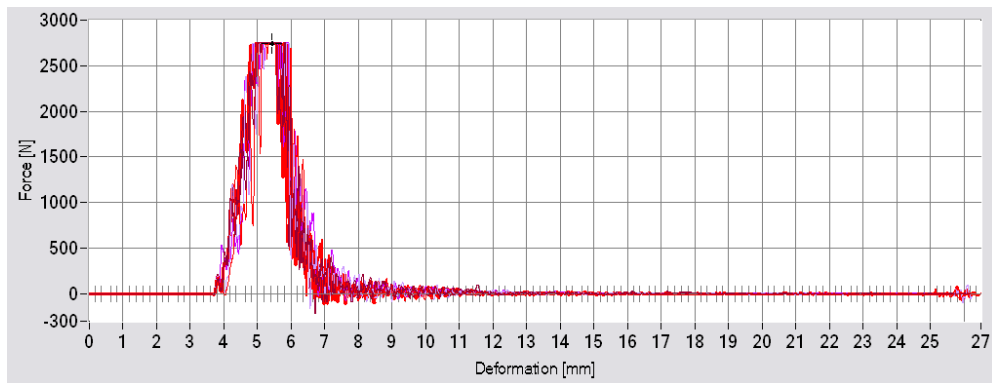
Tab. 10: Výsledné hodnoty – Charpyho kladivo (8 vrstev)



Obr. 84: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na deformaci [mm] (8 vrstev)

12 vrstev	F_m	A_m	A_b
n = 10	[N]	[kJ/m ²]	[kJ/m ²]
\bar{x}	2749,16	65,41	103,67
s	1,05	2,80	2,96

Tab. 11: Výsledné hodnoty – Charpyho kladivo (12 vrstev)



Obr. 85: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na deformaci [mm] (12 vrstev)

9.3 RÁZOVÁ ZKOUŠKA – PADOSTROJ

Rázová zkouška je prováděna na padostroji Zwick Roell HIT230F, který je určen pro zkoušení plastů a pro provádění vícerych rázových zkoušek. Zkouška je prováděna dle normy EN ISO 6603 – 2 [44]. Zde je testováno vždy pět vzorků dané tloušťky.

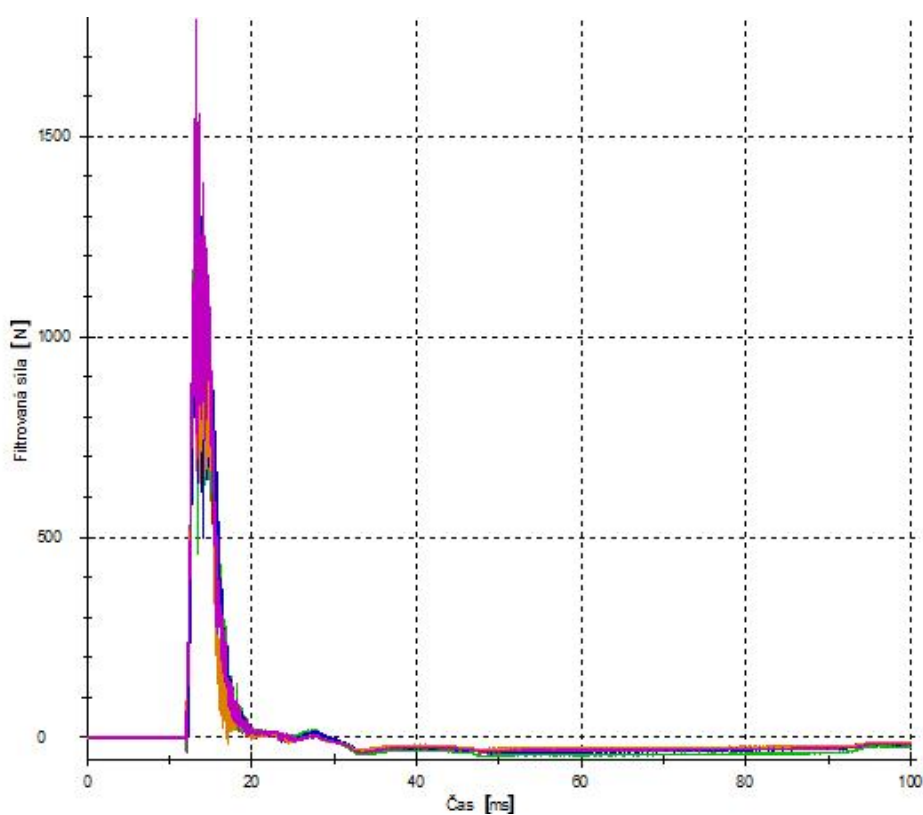


Obr. 86: Padostroj ZwickRoell HIT230F

9.3.1 Vyhodnocení zkoušky

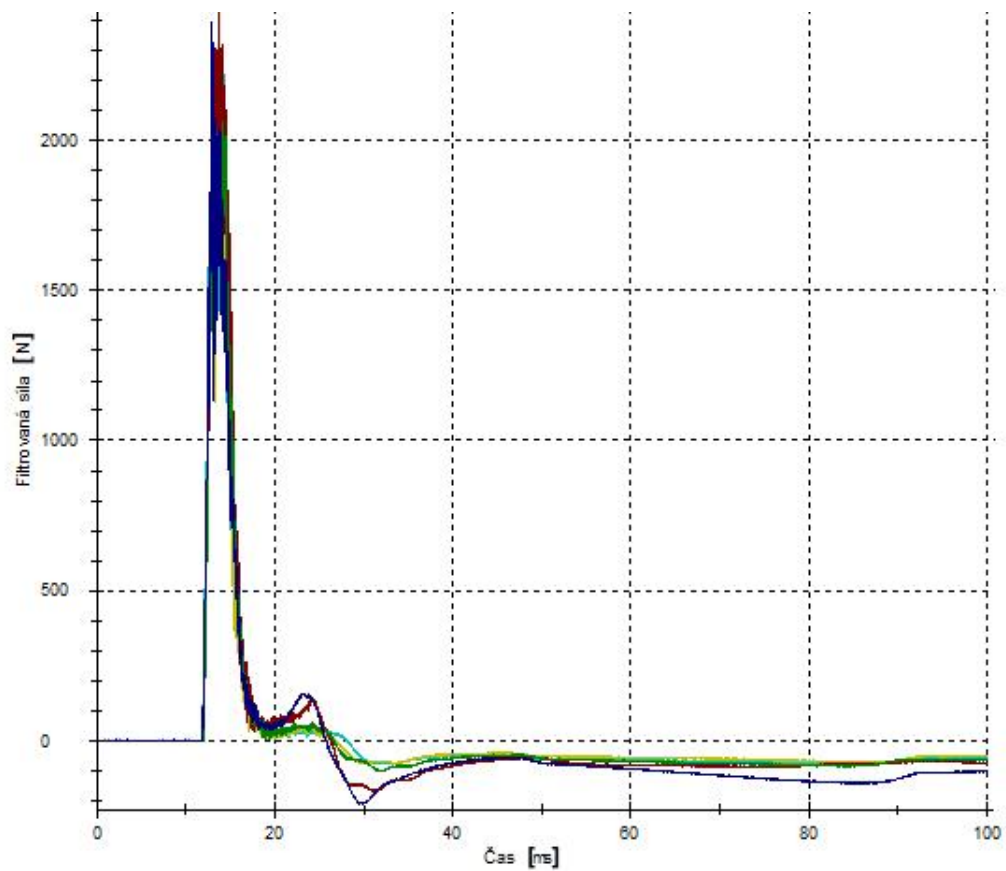
4 vrstvy	E	F_m	W_m	W
n = 5	[J]	[N]	[J]	[J]
\bar{x}	99,96	1571,77	2,24	9,62
s	0	131,12	0,32	0,59
\bar{s}	0	8,34	14,51	6,11

Tab. 12: Výsledné hodnoty – padostroj (4 vrstvy)

Obr. 87: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na čase [ms] (4 vrstvy)

6 vrstev	E	F_m	W_m	W
n = 5	[J]	[N]	[J]	[J]
\bar{x}	99,96	2283,46	4,37	15,34
s	0	141,96	1,73	0,89
\bar{s}	0	6,22	39,56	5,79

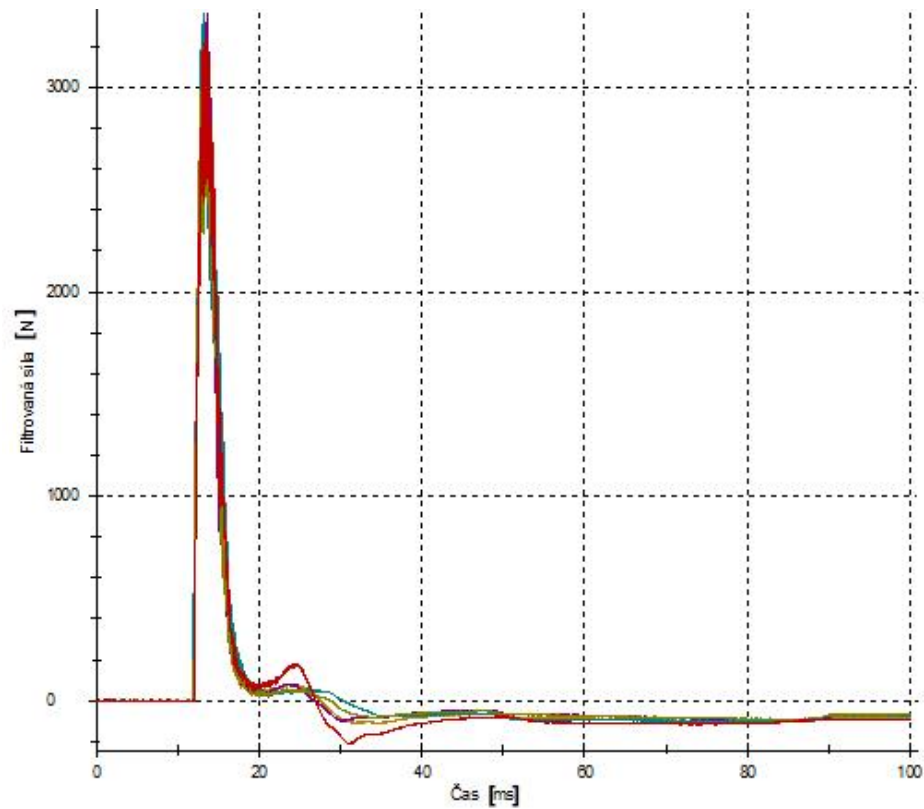
Tab. 13: Výsledné hodnoty – padostroj (6 vrstev)



Obr. 88: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na čase [ms] (6 vrstev)

8 vrstev	E	F_m	W_m	W
n = 5	[J]	[N]	[J]	[J]
\bar{x}	99,96	3266,12	9,21	22,53
s	0	99,65	1,74	1,09
\bar{s}	0	3,05	18,88	4,86

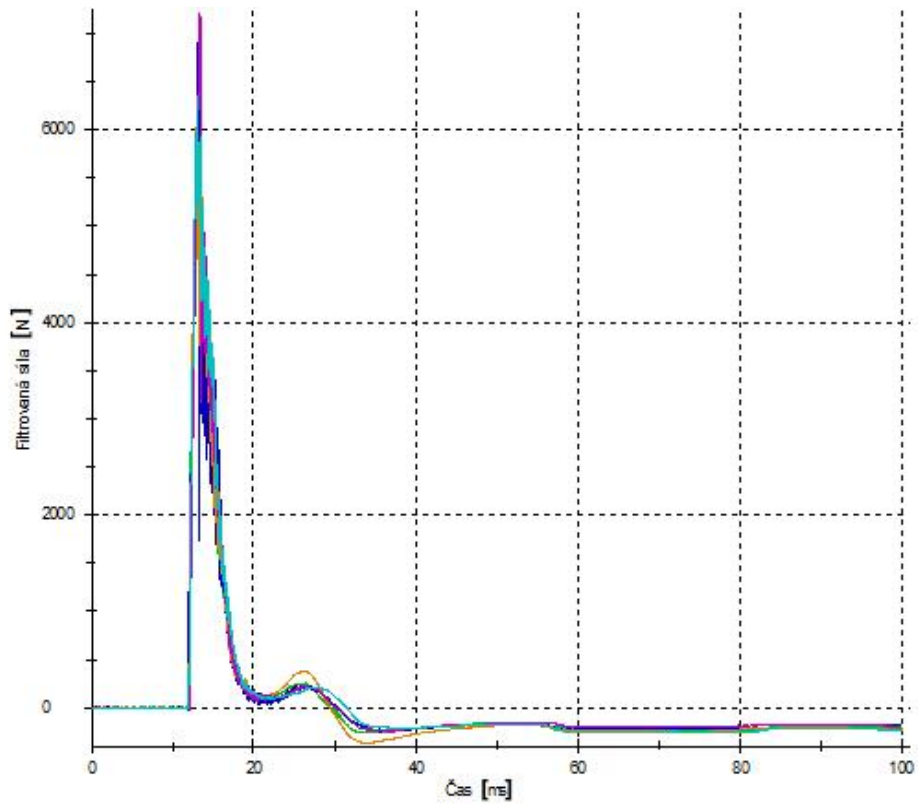
Tab. 14: Výsledné hodnoty – padostroj (8 vrstev)



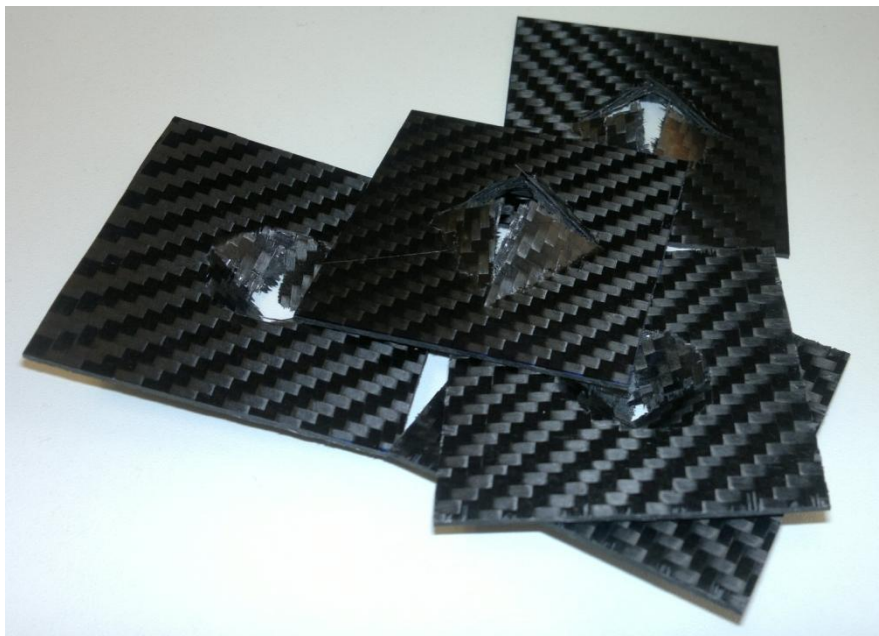
Obr. 89: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na čase [ms] (8 vrstev)

12 vrstev	E	F_m	W_m	W
n = 5	[J]	[N]	[J]	[J]
\bar{x}	99,96	6613,36	12,75	41,51
s	0	431,96	1,48	2
\bar{s}	0	6,53	11,62	4,81

Tab. 15: Výsledné hodnoty – padostroj (12 vrstev)



Obr. 90: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na čase [ms] (12 vrstev)



Obr. 91: Vzorky testované na padostroji

Kompletní výsledky všech tří zkoušek jsou přiloženy v příloze na CD (PŘÍLOHA PIV).

ZÁVĚR

Přínos kompozitních materiálů do sportovního průmyslu je značný a jejich používání je stále oblíbenější. V mnoha ohledech předčí původní materiály a často jsou tak používány jako jejich plnohodnotná náhrada. Největší výhodou je lehkost a zároveň vysoká pevnost vytvořených výrobků.

Cílem diplomové práce je prohloubení znalostí o kompozitních materiálech a jejich použití. Teoretické znalosti v této oblasti spolu se znalostmi získanými během studia jsou využity při návrhu a výrobě vlastního holenního chrániče z uhlíkových vláken. Základem je 3D návrh modelu chrániče a vytvoření funkční formy, která je určena pro lisování kompozitních prepregů. Hliníková forma je vyrobena CNC frézováním. Lisování je prováděno na univerzitním lisu o maximální přitlačné síle 5t a také s doporučenými podmínkami od výrobce prepregu. Po dokončení se chrániče pro lepší vzhled lakují bezbarvým lakem na kompozitní materiál. Z vnitřní strany chrániče je pro pohodlnost uživatele a lepší kontakt s nohou přilepena speciálním lepidlem na plasty polyethylenová pěna. Posledním detailem na hotovém výrobku je jednoduchá nálepka vlastního návrhu.

Ke zjištění vlastností a chování materiálu jsou určeny zkoušky rázové a jedna zkouška ohybová. U ohybové zkoušky je testováno vždy deset vzorků o čtyřech různých tloušťkách. Stejně tak je tomu u zkoušky rázové s využitím Charpyho kladiva. Třetí zkouška, kde je použito u každé tloušťky pět vzorků, je provedena na padostroji. Celkově posloužily všechny zkoušky pro zjištění vlastností použitého materiálu. Z vyhodnocení zkoušek je patrné, že vzorky s větší tloušťkou, které jsou složeny z více vrstev prepregu, vydrží větší zatížení oproti vzorkům tenčím. Například při testování rázovou zkouškou na padostroji je u vzorků ze 4 vrstev dosažená průměrná síla na přelomení 1571,77 N. Při porovnání se vzorky z 12 vrstev, kde je dosažená průměrná síla na přelomení 6613,36 N, je tedy potvrzeno, že vyšší počet prepregů má vysoký vliv na finální tuhost a pevnost výrobku.

Na základě výše uvedených informací a poznatků vznikl z vlastního návrhu chrániče a hliníkové formy funkční výrobek z uhlíkových vláken. Neméně důležitým faktem je, že v porovnání s běžně dostupnými výrobky tohoto typu na trhu dosáhl vyrobený chránič v ekonomickém odhadu na třetinovou cenu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Wikipedie: Kompozitní materiál. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 2015, 5. 2. 2015 [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Kompozitn%C3%AD_materi%C3%A1l
- [2] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [3] Kompozity - vyztužené plasty: Co jsou to kompozitní materiály. *Gdpkoral.cz: Kompozity - vyztužené plasty* [online]. 2009 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.gdpkoral.cz/co-jsou-kompozitni-materialy/w6>
- [4] *Epoxy-matrix: Dragonplate* [online]. 2014 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://dragonplate.com/images/photos/tech/epoxy-matrix.jpg>
- [5] Wikipedie: Roving. *Wikipedie: Otevřená Encyklopedie* [online]. 2013 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Roving>
- [6] *Roving-fiberglass: NaucicExpo* [online]. 2015 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.naunicexpo.com/prod/abahsain-fiberglass/rovings-fiberglass-39124-296882.html>
- [7] *Typy tkanin: HAVEL Composites* [online]. 2014 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/newsimages/obr4.jpg>
- [8] *Skelné tkaniny: ICONTEX* [online]. 2014 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://www.icontex.cz/images_galerieobr/0_26.jpg
- [9] *Pedexdren: JUTA* [online]. 2015 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://e-shop.juta.cz/products/petexdren/petexdren_kom-vetsi.vel..jpg
- [10] Kompozity: Vlákna. *KOMPOZITY: Ing. Zdeněk Kořínek* [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://mujweb.cz/zkorinek/vlakna.pdf>
- [11] *E-glass_fiber_cloth: DIYTrade* [online]. 2015 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://img.diytrade.com/cdimg/670740/5659870/0/1208237224/E-glass_fiber_cloth.jpg
- [12] Wikipedie: Aramidová vlákna. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 2015, 5. 2. 2015 [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Aramidov%C3%A1_vl%C3%A1kna

- [13] *Aramid fiberfabric: NauticExpo* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://img.nauticexpo.com/images_ne/photo-mg/not-specified-aramid-fiber-fabrics-not-specified-not-specified-not-specified-39320-369129.jpg
- [14] Wikipedie: Uhlíkové vlákno. *Wikipedie: Otevřená Encyklopedie* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Uhl%C3%ADkov%C3%A9_vl%C3%A1kno
- [15] *Dinoc-Carbon-Fiber: CarbonFiberGear* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://store.carbonfiberglass.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/1/-/1-3m-dinoc-carbon-fiber-ca421.jpg>
- [16] VZLÚ: VÝZKUMNÝ A ZKUŠEBNÍ LETECKÝ ÚSTAV, A.S. *Časopis TRANSFER: Ročník 2011* [online]. 2011 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.vzlu.cz/cz/publikace/casopis-transfer/rocnik-2011>
- [17] *Gelcoat-White-5kg: CFS Fibreglass* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.cfsnet.co.uk/acatalog/cfs-Gelcoat-White-5kg+cat-1.jpg>
- [18] *Techno1: HAVEL Composites* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/newsimages/techno1.jpg>
- [19] *3M DI-NOC CARBON FIBER VINYL: CARBON FIVER GEAR* [online]. 2015 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://store.carbonfiberglass.com/3m-dinoc-carbon-fiber-vinyl>
- [20] ThaiLaminateManufacturerCo.,Ltd. *Introduction: ProcessesofPrepreg and LaminateProduction* [online]. 2014 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://www.tlm.co.th/p_introduction.php
- [21] *Pic_prepregs01: ProcessesofPrepreg and LaminateProduction* [online]. 2014 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://www.tlm.co.th/images/pic_prepregs01.jpg
- [22] *Obr. 5.2. Výroba jednosměrně orientovaného prepregu: EHRENSTEIN, Gottfried W. Polymerní kompozitní materiály: KAPITOLA: Výroba prepregů. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.*
- [23] *Hitex-composite: Sookuu.com* [online]. 2015 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://img.mysoocuu.com/photo/hitex-composite/products/20120916184139_50750.jpg

- [24] HEXALU. *Kompozity.cz: Alu compositepanels* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.kompozity.com/102-hexalu>
- [25] TEPEX formed panel. *EconCore: economiccoretechnologies* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.econcore.com/upload/wysiwyg/images/TEPEX%20formed%20panel.jpg>
- [26] DC Duratec. *Použité materiály: Uhlíková vlákna - karbonové kompozity* [online]. 2011 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: www.duratec.cz/cs/techinfo/pouzivane-materialy/uhlikova-vlakna-karbonove-kompozity/
- [27] *Md_bike: Makezineblog* [online]. 2008 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://makezineblog.files.wordpress.com/2008/02/md_bike1.jpg
- [28] *Hullreadyforinfusion: CompositeMouldings Group: Technology* [online]. 2012 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.compositemouldings.com/Portals/0/7M%20hull%20ready%20for%20infusion.jpg>
- [29] *Sedacka_K1_KC: Charles CompositeProduction* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://charles.cz/data/images/sedacka_k1_kc.jpg
- [30] Technika: Konstrukční materiály v F1, jejich kombinace a výrobní proces. *F1 News* [online]. 2013 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://f1news.autoroad.cz/technika/45744-technika-konstrucni-materialy-v-f1-jejich-kombinace-a-vyrobn-proces/>
- [31] *Roso_M: Zroso* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.zroso.com/index/images/m7.jpg>
- [32] *CarbonFiber Hood: DIYTrade* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://img.diytrade.com/cdimg/445385/4985823/0/1198836246/carbon_fiber_hood.jpg
- [33] PREDATOR III. *Brón.pl: obrona, strzelectwo, survival* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://www.bron.pl/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/c/o/co-032bs_0.jpg
- [34] *Jilemnice.cz. Začínáme s lukostřelbou* [online]. 2014 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.jilemnice.cz/cz/lukostrelba.pdf>

- [35] Easton Axis Nfused. *ArcheryShop.sk* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://www.archeryshop.sk/images/easton_axis_nfused_400.jpg
- [36] Golfee: Žiju golfem. *Klaciky, lžíce nebo kosmické technologie. I to jsou golfové hole* [online]. 2013 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.golfee.cz/kronika/historie-golfu/historie-golfove-hole/>
- [37] *KahrP9: TombstoneTactical* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.tombstonetactical.com/images/kahr-arms/KP9093NA-1-large.jpg>
- [38] Rybářské potřeby TOMI-KORDA S.R.O. *Rybářské pruty* [online]. 2013 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.tomi-korda.cz/rybarske-pruty/c-1122/>
- [39] *SHIMANO - AlivioSlimTelescopic: Jet Fish* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.jetfish.eu/images/51e9108dbd339/shopItemThumb>
- [40] Chrániče NIKE. *Top4Football* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://top4football.cz/products/SP0255-702/1.jpg>
- [41] Chrániče NIKE Mercurial. *Heureka.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://im9.cz/iR/importprodukt-orig/0e8/0e88e2b1ec9512b68052dd624b862d2a.jpg>
- [42] EN ISO 14125. *Vlákný vyztužené plastové kompozity - Stanovení ohybových vlastností*. CEN, 1998.
- [43] EN ISO 179-2. *Plasty - Stanovení rázové houževnatosti Charpy - Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška*. CEN, 1999-05-06.
- [44] EN ISO 6603-2. *Plasty - Stanovení chování tuhých plastů při víceosém rázovém namáhání: Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška*. CEN, 2001.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

GSD	Generative Shape Design
CNC	Computer Numeric Control
NC	Numerical Control
μm	mikrometr
mm	milimetr
Al	hliník
Ca	kalcium
Pb	olovo
Mg	hořčík
B	bor
GF	Glass fiber (skelné vlákno)
AF	Aramid fiber (aramidové vlákno)
CF	Carbon fiber (uhlíkové vlákno)
RTM	Resin Transfer Molding
\bar{x}	Aritmetický průměr
s	Směrodatná odchylka
\bar{s}	Chyba měření
F_m	Síla potřebná k přeražení [N]
A_b	Rázová houževnatost [kJ/m^2]
A_m	Rázová houževnatost při síle F_m [kJ/m^2]
σ_{Max}	Mez pevnosti v ohybu [MPa]
$\varepsilon_{\sigma\text{Max}}$	Poměrná deformace [%]
$W_{\sigma\text{Max}}$	Práce na mezi pevnosti [Nmm]
W	Vykonaná práce [J]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Schematické zobrazení vláken spojených s matricí [4]</i>	14
<i>Obr. 2: Pramenec skelných vláken [6]</i>	15
<i>Obr. 3: Druhy vazeb u tkanin [7]</i>	16
<i>Obr. 4: Vizuelní porovnání vazeb uhlíkových vláken [8]</i>	16
<i>Obr. 5: Příklad vláknité rohože a netkané textilie [9]</i>	17
<i>Obr. 6: Skelné vlákno ve formě tkaniny [11]</i>	18
<i>Obr. 7: Aramidové vlákno [13]</i>	18
<i>Obr. 8: Výrobek z uhlíkového vlákna [15]</i>	19
<i>Obr. 9: Bílý Gelcoat (balení 5 kg) [17]</i>	22
<i>Obr. 10: Ukázka formy při ručním kladení prepregu [18]</i>	22
<i>Obr. 11: Příklad prepregu z uhlíkových vláken [19]</i>	23
<i>Obr. 12: Zjednodušené schéma výroby prepregů (mokrý způsob) [21]</i>	24
<i>Obr. 13: Schéma výroby jednosměrného prepregu [22]</i>	25
<i>Obr. 14: Jednosměrný prepreg navinutý na kotouči [23]</i>	26
<i>Obr. 15: Schéma sendvičového kompozitu s hliníkovými prvky [24]</i>	27
<i>Obr. 16: Příklad kompozitního výrobku s voštinovým jádrem [25]</i>	27
<i>Obr. 17: Rám kola z uhlíkových vláken [27]</i>	28
<i>Obr. 18: Výroba kompozitního skeletu lodě vakuovou infuzí [28]</i>	29
<i>Obr. 19: Kompozitní sedlo do závodních lodí [29]</i>	29
<i>Obr. 20: Volant vozu Formule 1 z uhlíkových vláken [31]</i>	30
<i>Obr. 21: Karbonová kapota pro upravené sportovní vozy [32]</i>	31
<i>Obr. 22: Závodní luk z uhlíkových vláken [33]</i>	31
<i>Obr. 23: Šíp z uhlíkových vláken [35]</i>	32
<i>Obr. 24: Část golfové hole z uhlíkových vláken [36]</i>	33
<i>Obr. 25: Pistole Kahr P9 s kompozitním rámem [37]</i>	33
<i>Obr. 26: Rybářský prut z kompozitu [39]</i>	34
<i>Obr. 27: Holenní chrániče s chráničem kotníků [40]</i>	36
<i>Obr. 28: Holenní chrániče z uhlíkových vláken [41]</i>	37
<i>Obr. 29: Základní skořepinový tvar</i>	41
<i>Obr. 30: 3D model chrániče</i>	41
<i>Obr. 31: Finální render chrániče s potiskem</i>	42
<i>Obr. 32: Detail dosedací plochy a závitu u tvárnice</i>	43

<i>Obr. 33: Detail otvoru pro šroub u tvárniku</i>	43
<i>Obr. 34: Render modelu tvárnice (Catia V5)</i>	44
<i>Obr. 35: Render modelu tvárniku (Catia V5)</i>	44
<i>Obr. 36: Render sestavy formy (Catia V5)</i>	45
<i>Obr. 37: Výsledek frézování tvárnice, etapa I.</i>	46
<i>Obr. 38: Výsledek frézování tvárniku, etapa I.</i>	46
<i>Obr. 39: Simulace pohybu nástroje u hrubování tvárnice (Cavity Mill)</i>	47
<i>Obr. 40: Simulace pohybu nástroje u dokončení kolmých stěn (Zlevel Profile)</i>	47
<i>Obr. 41: Simulace pohybu nástroje u dokončení tvarové dutiny (Contour Area)</i>	48
<i>Obr. 42: Simulace pohybu nástroje u frézování drážky tvárnice (Profile 3D)</i>	48
<i>Obr. 43: 3D náhled finální obrobené plochy tvárnice v programu NX 9</i>	49
<i>Obr. 44: Funkce Show Thickness by Color</i>	49
<i>Obr. 45: Hrubování tvárnice</i>	50
<i>Obr. 46: Dokončená tvárnice</i>	50
<i>Obr. 47: Detail povrchu dutiny tvárnice</i>	51
<i>Obr. 48: Simulace pohybu nástroje u hrubování tvárniku (CavityMill)</i>	52
<i>Obr. 49: Simulace pohybu nástroje u dokončení kolmých stěn (Zlevel Profile)</i>	52
<i>Obr. 50: Simulace pohybu nástroje u dokončení vodorovných ploch (Floor Wall)</i>	53
<i>Obr. 51: Simulace pohybu nástroje u dokončení tvarové plochy (Contour Area)</i>	53
<i>Obr. 52: 3D náhled finální obrobené plochy tvárniku v programu NX 9</i>	54
<i>Obr. 53: Funkce Show Thickness by Color</i>	54
<i>Obr. 54: Dokončení tvarové plochy tvárniku</i>	55
<i>Obr. 55: Dokončený tvárník</i>	55
<i>Obr. 56: Detail povrchu tvárniku</i>	56
<i>Obr. 57: Sestava formy pro sériovou výrobu (1)</i>	57
<i>Obr. 58: Tvárník s ocelovými držáky (1)</i>	58
<i>Obr. 59: Tvárník s ocelovými držáky (2)</i>	58
<i>Obr. 60: Sestava formy pro sériovou výrobu (2)</i>	59
<i>Obr. 61: Sestava formy pro sériovou výrobu (3)</i>	60
<i>Obr. 62: Připravené nastřižené prepregy</i>	61
<i>Obr. 63: Chráníč na tvárniku po vytažení z lisu</i>	61
<i>Obr. 64: První vylisovaný chráníč – vnější strana</i>	62
<i>Obr. 65: První vylisovaný chráníč – vnitřní strana</i>	62

<i>Obr. 66: Naskládané vrstvy prepregu na vytemperované formě</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 67: Vypodložení horní desky lisu.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 68: Otočená forma v lisu</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 69: Chráníč s pohledovou vrstvou.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 70: Vzhledové porovnání dvou chráničů.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 71: Náhled vlastního designu nálepky.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 72: Finální podoba fotbalového holenního chrániče</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 73: Rozvinutá plocha chrániče</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 74: Grafické zobrazení odhadu nákladů na výrobu</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 75: Laboratorní stroj Zwick Roell 1456.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 76: Graf dosažené síly F [MPa] v závislosti na deformaci [%] (4 vrstvy)</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 77: Graf dosažené síly F [MPa] v závislosti na deformaci [%] (6 vrstev)</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 78: Graf dosažené síly F [MPa] v závislosti na deformaci [%] (8 vrstev)</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 79: Graf dosažené síly F [MPa] v závislosti na deformaci [%] (12 vrstev)</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 80: Vzorčky po zatížení ohybem</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 81: Charpyho kladivo</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 82: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na deformaci [mm] (4 vrstvy).....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 83: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na deformaci [mm] (6 vrstev).....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 84: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na deformaci [mm] (8 vrstev).....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 85: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na deformaci [mm] (12 vrstev).....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 86: Padostroj ZwickRoell HIT230F</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 87: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na čase[ms] (4 vrstvy)</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 88: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na čase[ms] (6 vrstev)</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 89: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na čase[ms] (8 vrstev)</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 90: Graf dosažené síly F [N] v závislosti na čase[ms] (12 vrstev)</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 91: Vzorčky testované na padostroji</i>	<i>79</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1: Vizuální srovnání vybraných typů chráničů</i>	35
<i>Tab. 2: Cenové a materiálové srovnání fotbalových chráničů</i>	38
<i>Tab. 3: Vlastnosti laboratorního lisu</i>	60
<i>Tab. 4: Výsledné hodnoty - ohybová zkouška (4 vrstvy)</i>	70
<i>Tab. 5: Výsledné hodnoty - ohybová zkouška (6 vrstev)</i>	71
<i>Tab. 6: Výsledné hodnoty - ohybová zkouška (8 vrstev)</i>	71
<i>Tab. 7: Výsledné hodnoty - ohybová zkouška (12 vrstev)</i>	72
<i>Tab. 8: Výsledné hodnoty – Charpyho kladivo (4 vrstvy)</i>	73
<i>Tab. 9: Výsledné hodnoty – Charpyho kladivo (6 vrstev)</i>	74
<i>Tab. 10: Výsledné hodnoty – Charpyho kladivo (8 vrstev)</i>	74
<i>Tab. 11: Výsledné hodnoty – Charpyho kladivo (12 vrstev)</i>	74
<i>Tab. 12: Výsledné hodnoty – padostroj (4 vrstvy)</i>	76
<i>Tab. 13: Výsledné hodnoty – padostroj (6 vrstev)</i>	76
<i>Tab. 14: Výsledné hodnoty – padostroj (8 vrstev)</i>	77
<i>Tab. 15: Výsledné hodnoty – padostroj (12 vrstev)</i>	78

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA PI (CD):

DIPLOMOVÁ PRÁCE – NÁVRH DESIGNU, VOLBA MATERIÁLU A
EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ PROTOTYPU HOLENNÍHO CHRÁNIČE
SOUBOR: NÁVRH DESIGNU, VOLBA MATERIÁLU A EXPERIMENTÁLNÍ
TESTOVÁNÍ PROTOTYPU HOLENNÍHO CHRÁNIČE.pdf

PŘÍLOHA PII (CD):

VÝKRESY PRO FRÉZOVÁNÍ VE FIRMĚ KOVEX s. r. o.

SOUBORY: tvarnice_vykres_KOVEX.pdf a tvarnice_vykres_KOVEX.pdf

PŘÍLOHA PIII (CD):

MATERIÁLOVÉ LISTY

SOUBORY: IMP503Z rev1 english.pdf, Specifikace prepregu Epoxy Resin EMT 125
PLUS.pdf

PŘÍLOHA PIV (CD):

VÝSLEDKY ZKOUŠEK: CHARPYHO KLADIVO, OHYBOVÁ ZKOUŠKA,
PADOSTROJ

SOUBORY: OHYBOVA_ZKOUSKA.xlsx, CHARPYHO_KLADIVO.xlsx,
PADOSTROJ.xlsx