Konstrukční návrh kompozitní koloběžky

Bc. Antonín Lankaš

Diplomová práce
2022

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Bc. Antonín Lankaš**
Osobní číslo:	**T20117**
Studijní program:	**N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia:	**Prezenční**
Téma práce:	**Konstrukční návrh kompozitní koloběžky**

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární rešerši na danou problematiku. Využití kompozitů v konstrukci sportovních pomůcek.
- 3D model rámu kompozitní koloběžky.
- FEM analýza zvoleného dílů.
- Konstrukční návrh formy pro výrobu kompozitního dílu.
- Zkoušky pevnosti dle doporučení.
- Technologický postup výroby kompozitních dílů koloběžky.
- Formulace závěrů.

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

Seznam doporučené literatury:

EHRENSTEIN G. W.: Polymerní kompozitní materiály, Praha, SCIENTIA v Prahe, 351s, 2009, ISBN 978-80-86960-29-6.
LIPTÁKOVÁ, T.: Polymérne konštrukčné materiály. University of Žilina, Žilina, 189 s, 2012, ISBN 978-80-554-0505-6.
SRINIVASAN, K.: Composite Materials: Production, Properties, Testing and Applications, Alpha Science International Limited, 2009, ISBN 1842654918, 9781842654910.
ŠUBA, O.: Mechanika polymerů a kompozitů, Zlín, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, ISBN 978-80-7454-015-8.
ŠUBA, O.: Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů. Vyd. 3. Zlín, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010, 112 s., ISBN 978-80-7318-948-8.

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

Datum zadání diplomové práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

L.S.

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

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

Ve Zlíně dne 18. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA
DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové 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.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta: Antonín Lankaš

……..
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce pojednává v první polovině teoretické části o kompozitních materiálech, jejich jednotlivých složkách a celkové problematice kompozitů. Ve druhé polovině je práce rozebrána všeobecná aplikace kompozitních materiálů ve sportovním odvětví a v závěru je práce zaměřena na představení koloběžek. V praktické části je znázorněn celkový vývoj kompozitní koloběžky od definice typu koloběžky, volby komponentů, návrhu prototypu rámu až po konstrukční návrh forem pro výrobu toho rámu a podrobení FEM analýze včetně zhodnocení výsledů. V poslední části je znázorněn technologický postup výroby a ekonomické zhodnocení celé výroby jednotlivých částí.

Klíčová slova: Kompozitní materiál, aplikace kompozitů na sportovní odvětví, koloběžky, vývoj kompozitní koloběžky, FEM analýza.

ABSTRACT

This diploma thesis talk in the first half of the theoretical part about composite materials, their individual components and the overall issue of composites. The second part of the work is about the application of composite materials in the sports and in the end, the work is focused on the introduction of scooters. The practical part shows the overall development of a composite scooter from the definition of the type of scooter, the choice of components, the design of the prototype frame to the design of molds for the production of that frame and subjecting FEM analysis and evaluation of their results. The last part shows the technological process of production and economic evaluation of the entire production of individual parts.

Keywords: Composite material, application of composites to sports, scooters, development of composite scooters, FEM analysis.

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí této práce doc. Ing. Soni Rusnákové, Ph.D. za veškerou pomoc, kterou mi poskytla během posledního roku, kdy jsem pracoval na této práci. Dále bych chtěl poděkovat doc. Ing. Jakubu Javoříkovi, Ph.D. a Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za konzultace, které mi poskytli v rámci FEM analýzy a zásad technické dokumentace.

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

OBSAH

ÚVOD **10**
I TEORETICKÁ ČÁST **11**
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY **12**
1.1 DEFINICE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ 12
1.2.1 Homogenita a nehomogenita 13
1.2.2 Izotropní a anizotropní materiál 14
1.2.3 Synergický efekt 15
1.3 VÝZTUŽE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ 16
1.3.1 Částicové výztuže 16
1.3.2 Vláknové výztuže 16
1.4 POLYMERNÍ MATRICE 18
1.4.1 Termoplastické matrice 18
1.4.2 Reaktoplastické matrice 19
2 APLIKACE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ PRO SPORTOVNÍ ODVĚTVÍ **22**
2.1 VÝHODY UPLATNĚNÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ PRO SPORTOVNÍ VYBAVENÍ 22
2.2 LYŽOVÁNÍ 23
2.2.1 Jádro lyže 23
2.2.2 Kompozitní tkaniny 24
2.2.3 Titanal 25
2.2.4 Základní konstrukce lyží 26
2.3 CYKLISTIKA 28
2.3.1 Druhy konstrukcí rámů jízdních kol 28
2.3.2 Rámy z hybridního kompozitu 30
2.4 HOKEJ 33
2.4.1 Hokejové hole pro brankáře 33
2.4.2 Hokejové hole pro hráče v poli 34
2.5 BASEBALL 34
3 KOLOBĚŽKY **36**
3.1 HISTORIE KOLOBĚŽEK 36
3.2.1 Dětské koloběžky 38
3.2.2 Koloběžky pro dospělé 38
3.2.3 Freestylové koloběžky 39
3.2.4 Dirtové koloběžky 40
3.2.5 Elektrické koloběžky 41
3.2.6 Skládací koloběžky 41
3.3 KOMPOZITNÍ KOLOBĚŽKY 42
3.3.1 Kostka Racer CTI 42

3.3.2 Idea Strandel S1 43
3.3.3 Koncept Exion 44
4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY KOMPOZITŮ 45
4.1 Pevnost v tahu (ASTM D638) 45
4.2 Ohybové vlastnosti (ASTM D790) 46
4.3 Pevnost v tlaku (ASTM D695) 46
4.4 Rázová houževnatost IZOD (ASTM D256) 47
4.5 Retenční schopnost děr (ASTM D953) 47
4.6 Smyková pevnost (ASTM D3846) 48
4.7 Modul pružnosti 49
4.8 Tvrdost Barcol (ASTM D2583) 49
II PRAKTICKÁ ČÁST 50
5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI 51
6 NÁVRH RÁMU KOLOBĚŽKY 52
6.1 Stanovení základních parametrů koloběžky 52
6.2 Volba komponentů 53
6.2.1 Kola 53
6.2.2 Vidlice 54
6.2.3 Brzdy 56
6.2.4 Řídítka 58
6.2.5 Představec 58
6.2.6 Hlavové složení 59
7 VÝVOJ KONSTRUKČNÍHO NÁVRHU RÁMU KOLOBĚŽKY 61
7.1 Prototyp č. 1 61
7.2 Prototyp č. 2 61
7.3 Prototyp č. 3 62
7.4 Prototyp č. 4 63
7.5 Prototyp č. 5 64
7.6 Doplňky k rámu 64
7.6.1 Krk pro uchycení přední vidlice 65
7.6.2 Koncovky zadní vidlice 65
7.7 Výsledná vizualizace navržené koloběžky 66
8 KONSTRUKČNÍ NÁVRH FOREM PRO VÝROBU RÁMU 68
8.1 Rozdělení rámu 68
8.2 Návrh forem 69
8.3 Spojení jednotlivých částí 72
9 NASTAVENÍ FEM ANALÝZY NAVRŽENÉHO RÁMU 74

9.1 ZÁSADY KLADENÍ JEDNOTLIVÝCH VRSTEV PODLE SPOLEČNOSTI AIRBUS 74
9.1.1 Pravidlo č. 1 – Symetrie 74
9.1.2 Pravidlo č. 2 – vyváženost 75
9.1.3 Pravidlo č. 3 – procento orientace vrstev 75
9.1.4 Pravidlo č. 4 – vnější vrstvy 76
9.1.5 Pravidlo č. 5 – pravidelné rozložení orientace vrstev 76
9.1.6 Pravidlo č. 6 – Maximální seskupení 77
9.1.7 Pravidlo č. 7 – zlepšení chování při vzpěru 78
9.2 VYTVOŘENÍ SÍTĚ NA POVRCHU TESTOVANÉHO MODELU 78
9.3 VOLBA A NASTAVENÍ MATERIÁLU RÁMU 80
9.4 VYTVOŘENÍ TESTOVACÍCH SUBJEKTŮ 82
9.4.1 Varianta č. 1 – Orientace vrstev 0 stupňů 83
9.4.2 Varianta č. 2 – Proměnná orientace po 45 stupních bez dodržení zásad 83
9.4.3 Varianta č. 3 – Proměnná orientace po 45 stupních podle zásad Airbus 84
9.5 UMÍSTĚNÍ JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ PREPREGU A VOLBA STŘIHU 85
9.6 NASTAVENÍ ULOŽENÍ A ZATÍŽENÍ 86
10.1 VÝSLEDKY ANALÝZY VARIANTY Č. 1 – STEJNÁ ORIENTACE 0 STUPŇŮ 88
10.1.1 Velikost posunutí elementů (displacement magnitude) 88
10.1.2 Velikost rotace elementů (Rotation magnitude) 89
10.2 VÝSLEDKY VARIANTY Č. 2 – PROMĚNNÁ ORIENTACE PO 45 STUPNÍCH BEZ DODRŽENÍ ZÁSAD 90
10.2.1 Velikost posunutí elementů (displacement magnitude) 90
10.2.2 Velikost rotace elementů (Rotation displacement) 92
10.3 VÝSLEDKY ANALÝZY VARIANTY Č. 3- PROMĚNNÁ ORIENTACE PO 45 STUPNÍCH PODLE ZÁSAD AIRBUS 93
10.3.1 Velikost posunutí elementů (Displacement magnitude) 93
10.3.2 Velikost rotace elementů (Rotation magnitude) 94
10.4 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ANALÝZY 96
11 VÝROBNÍ POSTUP A KALKULACE CENY RÁMU 97
11.1 TECHNOLOGICKÝ POSTUP 97
11.2 KALKULACE CENY RÁMU 98
11.3 KALKULACE KOMPONENTŮ 99
ZÁVĚR 100
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 101
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 105
SEZNAM OBRÁZKŮ 106
SEZNAM TABULEK 109
SEZNAM PŘÍLOH 110

ÚVOD

Tato diplomová práce je zaměřena primárně na aplikaci kompozitních materiálů ve sportovním odvětví. Samotná teoretická část je rozdělena na čtyři hlavní kapitoly. V první kapitole jsou představeny obecně kompozitní materiály, jejich složení a problematika. Druhá část pojednává o aplikaci zmíněných kompozitních materiálů na sportovní pomůcky. V této kapitole je vybraných několik typických sportů, u kterých je uvedena konkrétní aplikace kompozitů a zhodnocení jejich výhod a nevýhod. Předposlední kapitola teoretické části je zaměřena na rozdělení a představení jednotlivých typů koloběžek. Poslední kapitola pak obecně pojednává o mechanických zkouškách kompozitů podle normy ASTM.

Praktická část je zaměřena na celkový proces vývoje kompozitní koloběžky. Na začátku je znázorněna volba jednotlivých komponentů koloběžky, které jsou potřebné pro následující vývoj rámu. V rámci tohoto vývoje rámu je zde představených několik milníků vývoje ve formě prototypů, u kterých jsou zhodnoceny výhody a nevýhody. Pro navržený rám jsou poté v následující kapitole představeny navržené doplňky, které jsou nezbytné pro celkovou kompletaci. V další kapitole je pak vytvořen konstrukční návrh forem pro jednotlivé části rámu, které jsou představeny a zhodnoceny. V předposlední kapitole je navržený rám podroben FEM analýze pro ověření požadované mechanické pevnosti. Na základě analýzy jsou pak zhodnoceny a porovnány jednotlivé výsledky. V závěrečné kapitole diplomové práce je pak znázorněn technologický postup a ekonomické zhodnocení výroby částí rámu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

1.1 Definice kompozitních materiálů

Při popisu kompozitního materiálu je nejčastěji uváděna definice, podle které je jakýkoliv materiál, který není čistá látka a obsahuje více než jednu složku, považován za kompozit. Tím by však mezi kompozity patřily téměř všechny přírodní látky a také většina materiálů vytvořených člověkem. Nedostatkem této definice je, že do kompozitů zahrnuje jakoukoliv směs materiálů, bez označení její specifičnosti nebo zákonů, které by ji odlišily od běžné heterogenní materiálové směsi. [1]

Kompozity nemohou být označovány jednoduše kombinací dvou materiálů. Při kombinaci materiálů je potřeba, aby výsledný materiál získal vlastní, odlišné vlastnosti, které nemůže poskytnout některá ze složek samostatně. Proto tato definice není přesná a klasifikovala by tak většinu materiálů, které se současnými kompozity nemají nic společného. Při popisu kompozitního materiálu je tak potřeba využít daleko přesnější definice. [1]

První definice se týká především rozdílu mezi slitinou a kompozitem: „Kompozity jsou složené materiály, které se liší od slitin tím, že jednotlivé složky si ponechávají své charakteristiky, které se liší od slitin tím, že jednotlivé složky si ponechávají své charakteristiky, ale jsou vloženy do materiálového systému tak, že jsou uplatněny pouze jejich přednosti a jsou potlačeny jejich nedostatky, aby bylo docíleno zlepšení vlastností“. [1]

Druhá definice zdůrazňuje jejich vícefunkčnost: „Kompozity jsou multifunkční materiálové systémy, které mají charakteristiky nezískatelné žádným z jednotlivých materiálů. Jsou to kohezivní struktury, vytvoření fyzikální kombinací dvou nebo více kompatibilních materiálů, lišících se složením a vlastnostmi, někdy i popřípadě tvarem.“ [1]

Třetí definice klade větší důraz na návrhovou filozofii: „Kompozity jsou takové heterogenní materiály, u kterých se po smíšení materiálů se zcela odlišnými vlastnostmi vytvoří jediný struktura, jestliže se tyto vlastnosti doplňují, vzniká kompozitní materiál s přídavnými nebo lepšími vlastnostmi, než mají jednotlivé složky samy, nebo smíšené dohromady.“ [1]

Z předchozí definice jasně vyplívá, že během návrhu a výroby kompozitního materiálu má být vyvolán takzvaný synergický účinek v jeho struktuře tak, aby bylo umožněno získat nový materiál s lepšími vlastnostmi, než mají jednotlivé složky samy nebo ve směsi.“ [1]

Synergický účinek pak lze naznačit vztahem, který popírá jakékoliv matematické zákonitosti. [1]

Rovnice č. 1 – Synergický účinek

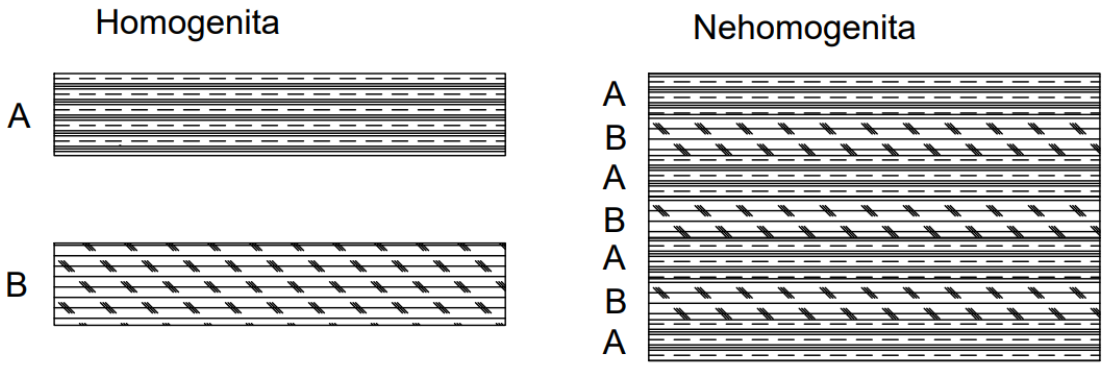
$$2 + 3 = 8$$
$$A + B = C$$

Díky těmto uvedeným definicím lze pak kompozitní materiály definovat takto: „Kompozit je každý materiálový systém, který je složen z více fází, z nichž alespoň jedna je pevná, s makroskopicky rozeznatelným rozhraním mezi fázemi, a který obsahuje vlastnosti, které nemohou být dosaženy kteroukoli složkou (fází) samostatně ani prostým součtem. [1]

1.2 Základní vlastnosti kompozitních materiálů

1.2.1 Homogenita a nehomogenita

V atomárním měřítku je pochopitelně každý technický materiál nehomogenní. Proto je nutné považovat, aby nehomogenity v kompozitu byly v mnohem větším měřítku než atomárním. Musí přitom být ale dostatečně malé, aby bylo možné v makroměřítku srovnatelném s rozměry konstrukčních dílů z tohoto kompozitu považovat za homogenní materiál. [2]



Obrázek 1 – Homogenita a nehomogenita [3]

V souvislosti s homogenitou je možné se setkat se dvěma problémy:

- U nových, moderních tzv. nanokompozitů již mohou být rozměry nehomogenit poměrně blízké atomárním rozměrům. Pak již pro takovéto kompozity nejsou plně použitelné jen rovnice klasické fyziky, může dojít i k některým efektům spojeným s atomovou fyzikou. [2]

- - Existuje řada struktur, které jsou blízké kompozitům, ale liší se tím, že počet nehomogenit je velmi malý, takže materiál není možné považovat za přirozeně homogenní v makroměřítku. Jsou to například několikavrstevné struktury (vrstvená skla) nebo armovaný beton. V těchto případech se často mluví o kompozitních strukturách. Metody jejich výpočtu jsou blízké metodám výpočtu kompozitů. [2]

Je dobré si uvědomit, že to, že kompozit je vnitřně nehomogenní, ale z makroskopického hlediska homogenní, vede k zavádění vlastností kompozitního materiálu, které jsou však často fiktivní. [2]

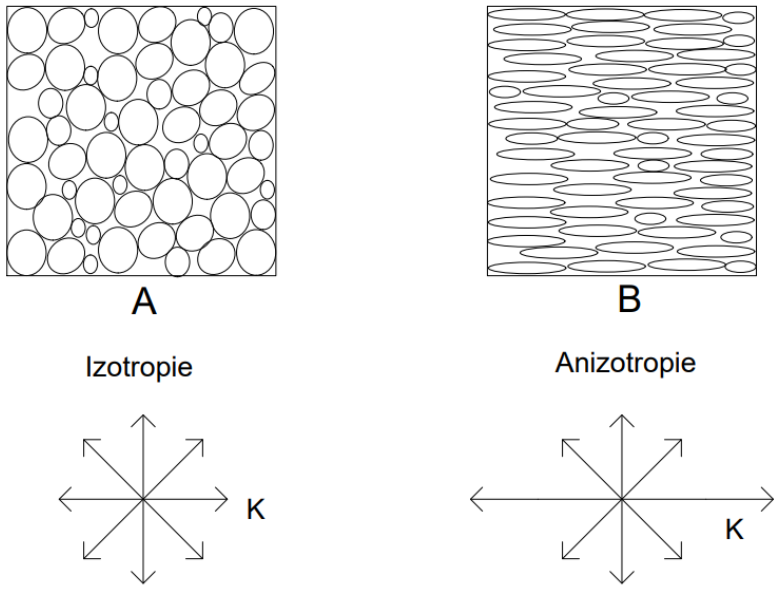
1.2.2 Izotropní a anizotropní materiál

Běžné klasické technické materiály jsou zcela izotropní, nebo jeví jen velmi malou izotropii (například za studena tažený drát). Naproti tomu pro kompozitní materiály je typické, že řada z nich jeví velmi silnou anizotropii vlastností. U kompozitu s polymerní matricí a uspořádanými skleněnými vlákny se jeho tuhost nebo pevnost ve směru vláken a kolmo na ně může lišit až o několik řádů. Proto je nutné s anizotropií kompozitu vždy počítat. [2]

Základní typy materiálu z hlediska symetrie jeho vlastností jsou:

- **Izotropní materiá**l má ve všech směrech stejné vlastnosti. Kdybychom nanesli jednotlivé směrové vektory od počátku souřadnic velikost určité vlastnosti, vytvořily by koncové body kouli. [2]
- Zcela **anizotropní materiál** má vlastnost v každém směru jinou. Kdybychom nanesli na jednotlivé směrové vektory od počátku souřadnic velikost určité vlastnosti, vytvořily by koncové body obecnou plochu. [2]

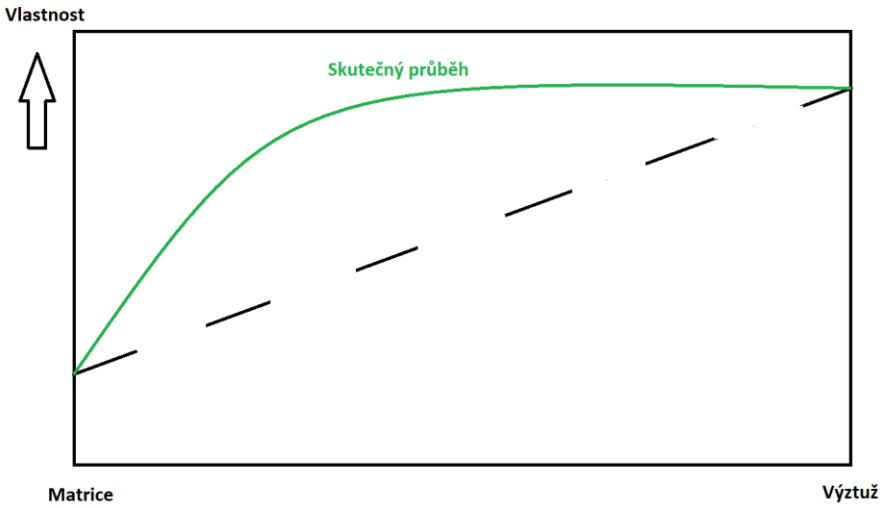
Pro kompozitní materiály je typická především příčná izotropie. [2]



Obrázek 2 – Izotropie a anizotropie [3]

1.2.3 Synergický efekt

Jako synergický efekt označujeme efekt, kdy dochází v kompozitu ke kombinaci pozitivních vlastností jeho složek tak, že celek přesahuje poměrný součet složek. Schematicky to znázorňuje následující diagram. [2]



Obrázek 3 – Znázornění synergického efektu [2]

Zpravidla se snažíme připravit kompozitní materiály tak, aby v nich byl synergický efekt co nejsilnější, a to především u těch vlastností, na kterých nám nejvíce záleží. [2]

1.3 Výztuže kompozitních materiálů

Kompozitní materiály lze rozdělit podle geometrického tvaru výztuže na dvě skupiny.

- Částicové.
- Vláknové.

1.3.1 Částicové výztuže

U částicových kompozitů nepřesahuje jeden rozměr útvarů výztuže výrazně rozměry ostatní. Vyztužující částice pak mohou mít tvar kulovitý, destičkovitý, tyčinkovitý i nepravidelný. [4]

1.3.2 Vláknové výztuže

Materiály ve formě vláken se jako konstrukční prvky používají zřídka. Zajímavou skupinou materiálů se stávají teprve v kompaktní formě, jako je tomu v kompozitních materiálech. Kompozitní, vlákny vyztužené materiály se skládají jednak z vláken s vysokou měrnou pevností, jednak z rozmanitě přizpůsobivého úložného materiálu – matrice. [5]

Skleněná vlákna

Textilní skleněná vlákna (GF – Glass Fiber) je společný název pro tkaná vlákna s pravidelným kruhovým průřezem, tažená z roztavené skloviny a používaná pro textilní účely. [5]

Podobně jako tomu je například u ocelí, skleněná vlákna existují v mnoho různých chemických složení skleněných vláken, která jsou komerčně dostupná. Běžná vlákna jsou na bázi oxidu křemičitého (50–60 % SiO_2) a obsahují řadu dalších oxidů (například vápníku, boru, hliníku, železa a podobně). [6]

Aramidová vlákna

Aramidová vlákna (AF – Aramid Fiber) jsou vlákna na bázi lineárních organických polymerů, jejichž kovalentní vazby jsou orientovány podle osy vlákna. Předností těchto vláken je vysoká pevnost a tuhost. Hlavní složkou aramidových vláken je syntetický polyamid s dlouhým řetězcem. Známé komerční názvy těchto vláken jsou Kevlar, Nomex a Twaron. [5], [6]

Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna (CF – Carbon Fiber) jsou technická vlákna s extrémně vysokou pevností a tuhostí, ale s nízkou tažností. Uhlík může existovat v různých krystalických formách. V případě těchto vláken se jedná o tzv. grafitickou strukturu, kde jsou atomy uhlíku uspořádány v šestiúhelníkových vrstvách. Výchozí organické suroviny ve vláknitém tvaru jsou nejprve karbonizovány, přičemž se odštěpí téměř všechny prvky až na uhlík. Se stoupající teplotou, a tím se zvyšující grafitizací jsou zlepšeny mechanické vlastnosti. Uhlík v grafitické formě je vysoce anizotropní, Pevnost vazby je určena modulem pevnosti materiálu. Vysokopevnostní vazba mezi atomy uhlíku v rovině vede k extrémně vysokému modulu, zatímco Van der Waalsova vazba mezi sousedními vrstvami vede k nižšímu modulu v tomto směru. [5], [6]

Keramické vlákno

Kontinuální keramické vlákno představuje atraktivní kombinaci vlastností. Kombinuje vysokou pevnost a modul pružnosti s odolností vůči vysokým teplotám bez vlivu prostředí. Tyto vlastnosti jsou vhodné pro výztuž v konstrukčních materiálech, které podléhají teplotnímu namáhání. Ve většině případů se keramické vlákno vyskytuje v kombinaci s jiným vláknem, například uhlíkovým. [6]

Borové vlákno

Bor je ze své podstaty křehký materiál. Vyrábí se chemickou depozicí z plynné fáze (CVD) boru na substrátu. Vzhledem k tomu, že pro tento proces jsou vyžadovány poměrně vysoké teploty, je výběr substrátu, který tvoří jádro vlákna velmi omezený. Obecně je pro tento účel využíván jemný wolframový drát. Případně je možné také využít pro substrát uhlík. Borové vlákno je pak využíváno pro vysokoteplotní aplikaci například pro vojenskou techniku, letecký a sportovní průmysl. Nevýhodou je však velmi vysoká cena, a proto je pro tento účel využíváno spíše uhlíkové vlákno. [6]

1.4 Polymerní matrice

Pod pojmem matrice se rozumí materiál, kterým je prosycen systém vláken a partikulárních komponent tak, že po zpracování vznikne tvarově stálý výrobek. Vzniklá surovina je pak označována jako kompozit. [5]

Úkolem matrice je zaručení geometrického tvaru, zavedení a přenos sil, ochrana vláken, tj.:

- Přenos namáhání na vlákna.
- Převedení namáhání z vlákna na vlákno.
- Zajištění geometrické polohy vláken a tvarové stálosti výrobku.
- Ochrana vláken před vlivy okolí. [5]

Zásadním hlediskem pro kvalitu kompozitu je zajištění adheze na fázovém rozhraní matrice – vlákno. Pro dosažení lepší fyzikální a popřípadě i chemické vazby mezi vláknem a matricí se nanese na vlákno apretace vhodná pro určitý druh matrice. Matrice musí mít vhodnou viskozitu a povrchové napětí, aby vlákno smočila úplně bez bublin. [5]

U polymerních kompozitů se matrice dělí na termosety (reaktoplasty) a termoplasty. [5]

1.4.1 Termoplastické matrice

Termoplastové polymery pro matrici mohou značně redukovat cenu kompozitů (o 25–80 % oproti reaktoplastovým a o 20–50 % oproti hliníku). Cenové úspory jsou především výsledkem snadnější výroby i složitějších tvarů. Výhodou může být poměrně dobrá dimenzionální stabilita, malý obrus, zvýšená pevnost, modul a houževnatost. [1]

Z termoplastů, které přicházejí v úvahu pro vyztužování vlákny jsou nejčastěji polyamidy, polyethylen, polypropylen, polykarbonát, styren – akrylonitril acetáty, polybutylentereftelát, polysulfon, polyethersulfon, polyfenylen-sulfid, polyvinyldenfluorid, tavitelné kopolymery tetrafluorethylenu. [1]

Výhody termoplastických matric:

- Krátká doba zpracování díky absenci síťování.
- Díky opakovatelnému zpracování termoplastů jsou odpady recyklovatelné.
- Výrobky lze tvarovat a svařovat za tepla díky termoplastickým vlastnostem.
- Při správné přípravě materiálu před procesem nedochází k uvolnění vodní páry a plynů. [7]

Nevýhody termoplastických matric:

- Se stoupající teplotou klesá modul pružnosti díky absenci chemických vazeb.
- Oproti reaktoplastům mají termoplastické matrice horší viskoelastické vlastnosti.
- Vlivem působení vysokých teplot dochází k vymizení zbytkové fyzikální soudržnosti. [7]

1.4.2 Reaktoplastické matrice

V technologii vláknových kompozitních materiálů se v současné době používá převážně reaktoplastických matric. Jsou to kapalné nebo tavitelné pryskyřice, které buď samostatně, nebo za pomoci jiných složek(tvrdidel) vytvrzují polyadicí nebo polymerací bez odštěpení těkavých složek. [8] [5]

Jako matrice se nejčastěji používají nenasycené polyestery (UP), vinylestery (VE), epoxidy (EP) a fenolické pryskyřice (PR) pro kompozity s výrazně sníženou hořlavostí. [8]

Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP)

Tyto reaktivní pryskyřice jsou bezbarvé, až slabě nažloutlé roztoky v reaktivních rozpouštědlech, které je možno vytvrzovat za normální nebo zvýšené teploty, aniž by vznikaly těkavé vedlejší produkty. Při vytvrzování se uvolňuje reakční teplo a dochází k objemovému smrštění o 5–9 %. Vysokoviskozní pryskyřice se rozpouštějí ve styrenu, který současně působí při vytvrzování jako kopolymerační monomer. Vytvrzují se radikálovým mechanismem. [5]

Vzhledem k nízké viskozitě, dobrému smáčení vláken, vysoké rychlosti vytvrzování a přiměřeně nízké ceně jsou UP v mnoha případech nejčastěji používaným materiálem pro kompozitní matrice. [5]

Vinylesterové pryskyřice (VR)

Vinylesterové pryskyřice jsou velmi vhodné pro výrobu kompozitů, vyztužených skelnými i uhlíkovými vlákny určených pro náročnější aplikace, zejména do agresivního chemického prostředí a pro kompozity, vystavené velkému mechanickému namáhání. Ve většině aplikací, nevyžadujících speciální elektrické vlastnosti a dlouhodobé využití při vysokých teplotách je možno pomocí VE nahradit dražší a mnohými technologiemi hůře zpracovatelné epoxidové pryskyřice, které vyžadují v důsledku neradikálového charakteru vytvrzovacích reakcí delší dobu vytvrzování a vyšší teploty. [8]

Epoxidové pryskyřice (EP)

Epoxidové pryskyřice jsou za normální teploty kapalné až pevné látky, které mohou obsahovat pomocné látky, například rozpouštědla. V molekule obsahují nejméně jednu, většinou však dvě epoxidové skupiny, nutné jako funkční skupiny pro stavbu makromolekuly. Tvrdidlo se přidává v kapalné nebo pevné formě a obsahuje v molekule aktivní vodíkové ionty, které reagují s epoxidovými skupinami pryskyřice. [5]

Epoxidové pryskyřice patří mezi velmi hodnotné termosety s velice dobrými mechanickými vlastnostmi, vysokou rozměrovou stálostí a přilnavostí k podkladu. Důležitými aplikačními oblastmi jsou zalévací hmoty pro elektroniku, výroba forem a nástrojů pro různé povlaky, zejména pro práškové nanášení. Díky tomu, že se při vytvrzování neodštěpují vedlejší, dochází jen k malému polymeračnímu smrštění (kolem 2 %) jsou vhodné také pro výrobky s požadavkem na přesné rozměry. [5], [8]

Fenolické pryskyřice (PF)

Fenolické pryskyřice jsou reaktivní pryskyřice, které se vyrábějí kondenzací fenolů a 30-50 % vodných roztoků aldehydů. Jednotlivé varianty vycházejí z různých druhů fenolických surovin, různých molárních poměrů fenol/formaldehyd a různých chemických nebo fyzikálních modifikací. [5]

Běžně se fenolické pryskyřice používají jako základ lepidel pro laminování dřeva a 64 % celkové produkce fenolických pryskyřic je používání při výrobě překližky a laminovaných papírových panelů. Velké využití také nachází při výrobě brzdových destiček a jiných frikčních součástí jako jsou například brusné kotouče. Použití fenolických matric při výrobě pultrudovaných kompozitních profilů vede k materiálům, které mají výrazně sníženou hořlavost a vysokou retenci vlastností při působení vysoké teploty. Typickou aplikací jsou profily, které jsou používány při výrobě pochůzkových roštů. [8]

Výhody reaktoplastických matric:

- V kapalné fázi jsou lépe zpracovatelné.
- Ve srovnání s termoplasty dosahují lepších viskoelastických vlastností.
- Se stoupající teplotou roste také modul pružnosti díky přítomnosti chemických vazeb.
- Při vlivu vysokých teplot nedochází ke ztrátě mechanické soudržnosti materiálu. [7]

Nevýhody reaktoplastických matric:

- Díky nutnosti vytvrzování je prodloužen výrobní cyklus.
- Jelikož reaktoplasty nejsou opakovaně zpracovatelné, není možné recyklovat odpad.
- U některých matric dochází k uvolnění plynů.
- Proces zpracování je náročnější kvůli nutnosti dosažení rovnováhy mezi síťováním a tvarováním. [7]

2 APLIKACE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ PRO SPORTOVNÍ ODVĚTVÍ

S postupným rozvojem ekonomiky se zlepšuje také životní úroveň lidí, kteří stále více tráví svůj volný čas sporty na rekreační úrovni. S tím také úzce souvisí zdokonalování sportovního vybavení, které slouží pro tyto účely. [9]

Z aplikace kompozitních materiálů na sportovní vybavení pak pro jejich uživatele plynou velké výhody, které zážitek z těchto rekreačních sportů posunují na vyšší úroveň. [9]

2.1 Výhody uplatnění kompozitních materiálů pro sportovní vybavení

Jak je známo, dříve před příchodem kompozitních materiálů bylo pro sportovní vybavení využíváno převážně dřevo, ocel, nerezová ocel, hliníkové slitiny a podobně. Ve srovnání s těmito materiály mají kompozitní materiály jisté výhody v následujících aspektech: [9]

Hmotnost

Spoustu sportovního vybavení je založeno na uvedení do pohybu člověkem a snížení hmotnosti má pak velký vliv na zvýšení efektivnosti těchto sportovních úkonů. Konkrétně se jedná například o tenisové rakety, golfové hole, kola a koloběžky, lyže a podobně. Jako příklad je možné uvést třeba golfové hole z uhlíkového vlákna. Ve srovnání s holemi z různých slitin jsou kompozitní odlehčeny o 30 až 50 %. [9]

Mechanické vlastnosti

Sportovní vybavení by mělo mít dobrý využitelný výkon a musí disponovat výbornými mechanickými vlastnostmi. Kompozitní materiál vyztužený vlákny má vynikající pevnost a vysoký modul pružnosti, který je velmi vhodný právě pro sportovní aplikaci. Ve srovnání s ocelí a různými slitinami také kompozitní materiály dokážou výborně tlumit nárazy, což má pak vliv také na komfort sportovců. [9]

Design

Vývoj technologie výroby a tváření kompozitních materiálů dovoluje také větší volnost a rozmanitost ve tvarech sportovního vybavení ve srovnání s tradičními materiály. Díky tomu je pak zlepšen pocit z estetiky vybavení a výrobci sportovních pomůcek pak mají více možností, jak zaujmout zákazníky. [9]

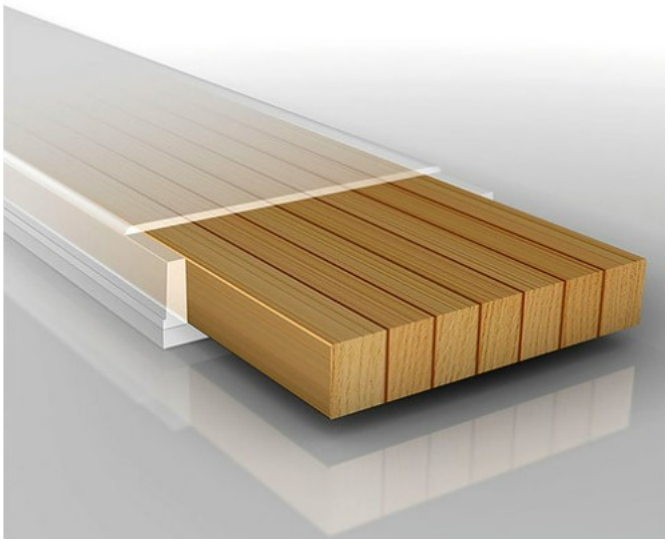
2.2 Lyžování

V poslední době lyže dosahují větších rozměrů, což přináší také potenciální nárůst hmotnosti. Tato vlastnost není v lyžařském sportu považovány za pozitivní, jelikož příliš těžké lyže znamenají zbytečný nápor na kolena lyžaře. Například při použití lyží na skialpinismus, kdy je vyžadována nízká hmotnost se zachováním větších rozměrů, je potřeba se při návrhu lyží uchýlit k volbě modernějšího materiálového složení. [10]

2.2.1 Jádro lyže

Jádro je možné vyrobit z více druhů materiálu. Převážně ale bývá dřevěné nebo pěnové, přičemž pěnové jádro je používáno převážně u nejobyčejnějších lyží, u kterých není předpokládána dlouhá životnost (například dětské lyže). Primárním materiálem jádra lyží jsou tím pádem různé variace dřevin. Nejčastěji se jedná o kombinaci měkké a lehké dřeviny s tužší a těžší. Typickou kombinací je například kombinace topolu a jasanového dřeva. Existují ale také lyže, u kterých je použito pouze měkká nebo naopak tvrdá dřevina. Tyto lyže jsou pak ale určeny na konkrétní druh lyžování. [10]

Jádra ovlivňují svou hustotou a tuhostí hmotnost a mechanické vlastnosti lyže. Velkou roli také v konstrukci lyže hraje tloušťka samotného jádra, která vymezuje, jak daleko jsou od sebe jednotlivé vrstvy výztuh (laminační tkaniny, titanal, karbon) pod jádrem a nad jádrem. Tato vzdálenost a náběh od nejtenčích míst po nejširší místo nejvýrazněji ovlivňuje tuhost výsledné lyže. [10]

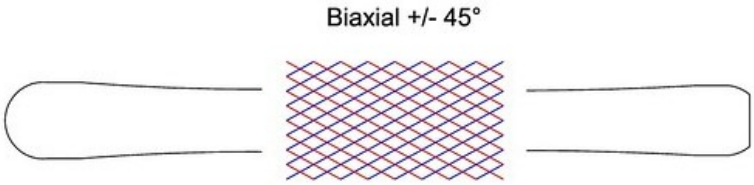


Obrázek 4 – Jádro lyže [11]

2.2.2 Kompozitní tkaniny

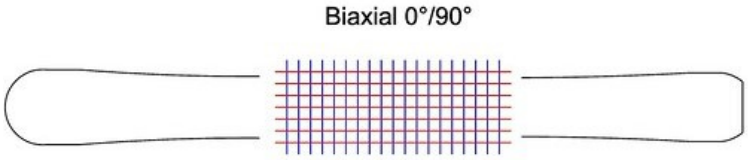
Bez kompozitních výztuh v podobě různých laminačních tkanin by se v současné době nemohla výroba lyží obejít. Tyto materiály ovlivňují nejvíce tuhost, odolnost a životnost lyží. Vlákna zajišťují tuhost lyže v podélném směru, torzní tuhost lyže a napomáhají také v příčném přenosu sil od boty po hranu lyže. Podle orientace samotných vláken je pak možné vyčíst směr, ve kterém vlákna zachytávají namáhání. [10]

Biaxiál +/- 45˚ - zachytává torzní tuhost.



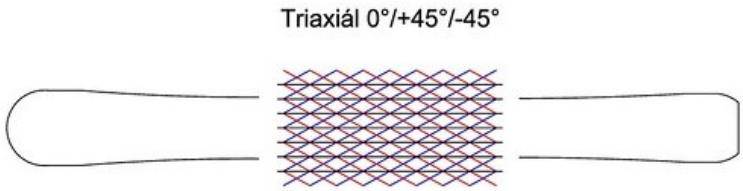
Obrázek 5 – Biaxiální tkanina +/-45˚ [10]

Biaxiál 0/90˚ - Zachytává podélnou a příčnou tuhost.



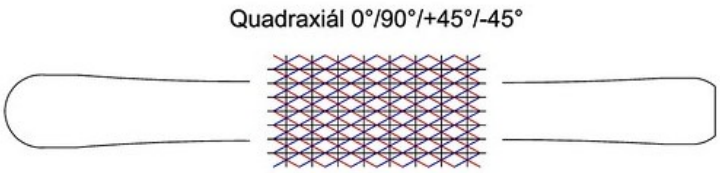
Obrázek 6 – Biaxiální tkanina 0/90˚ [10]

Triaxiál 0/+/-45˚ - Zachytává podélnou a torzní tuhost.



Obrázek 7 – Triaxiální tkanina 0/+/-45˚ [10]

Quadraxiál +/-45/0/90˚ - Zachytává všechny směry.



Obrázek 8 - Quadraxiální tkanina +/-45/0/90˚ [10]

Nejstandardnější tkaninou, používanou k laminaci lyží, je skelné vlákno. Je levné, poměrně houževnaté a tvrdé. Jeho nevýhodou je pak vyšší hmotnost. [10]

Další stále častěji používanou tkaninou je uhlíkové vlákno. Při stejné hmotnosti je přibližně třikrát tvrdší než skelné vlákno. Je možné ho použít výrazně méně a tím pádem je možné ušetřit hmotnost a vyrobit tvrdší lyže. Nevýhodou oproti skelnému vláknu je mnohem vyšší cena. [10]

Využíváno je také například lněné vlákno (Flax). Tato tkanina je přibližně o 30 % tužší ve srovnání se skelným vláknem. Jeho hlavní předností je houževnatost a tlumící účinky, kterými skelné ani uhlíkové vlákno nedisponují. Cena lněného vlákna se pak pohybuje na přibližně stejné úrovni, jako uhlákového. [10]

U high-tech lyží se často využívají kombinace výše zmíněných vláken. Podobně jako u dřevin pro jádro, i zde je potřeba najít tu správnou kombinaci pro správné složení vláken. Například kombinace uhlíkového vlákna s lněným poskytne lyžím výbornou tuhost, houževnatost a schopnost pohlcovat vibrace. [10]

2.2.3 Titanal

Dlouholetý vývoj závodních lyží ukázal, že nejlepší vlastnosti pro vysokou rychlost lyže jsou prokázány u lyží, které spolu s kompozitními tkaninami obsahují také pláty, většinou z hliníkové slitiny, které jsou zapuštěny do struktury lyže. [12]

Nejběžnější používaným materiálem pro tuto výztuž je titanal, což je slitina hliníku na bázi zinku, hořčíku a mědi. Tato slitina byla vyvinuta firmou Amag za účelem výrob\y lehké slitiny, která má velmi vhodné vlastnosti právě pro sportovní aplikaci. Tato slitina byla později využívána také v leteckém průmyslu. [12]

Tato specifická slitina velmi dobře odpovídá požadavkům na konstrukci lyží, jelikož je lehká, elastická a pevná. Lyžím poskytuje stabilitu a spolehlivost při vysokých rychlostech, jelikož zvyšuje torzní tuhost a velmi dobře tlumí vibrace. [12]

Samotné pláty titanalu jsou vloženy do struktury lyží tak, aby spojily anizotropní materiály, stejně jako kompozitní vrstvy vyztužené vlákny, izotropním materiálem za účelem poskytnutí přilnavosti hran a pevnosti. [12]

Vrstvy titanalu podléhají chemické úpravě eloxováním kyselinou fosforečnou a tepelné úpravě T6 (kalení a umělé stárnutí). Chemická úprava poskytuje drsný povrch, kdy polymerní matrice může lépe proniknout do struktury a zvýšit tak soudržnost. Tepelná úprava pak slouží pro zlepšení mechanických vlastností až o 20 %. [12]

2.2.4 Základní konstrukce lyží

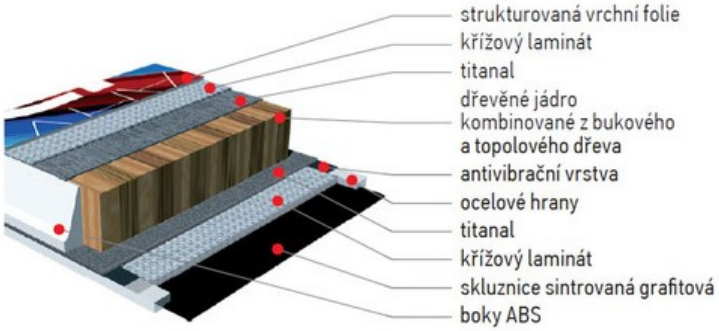
Lyže, vyráběné v současné době se skládají z nosných částí, jádra, hran, skluznice a případně také tlumících prvků. Podle konstrukčního uspořádání jednotlivých vrstev je možné lyže rozdělit na několik základních typů. [13]

Sendvičová konstrukce

Tato konstrukce pochází již z roku 1950 a byla touto technologií ještě začátkem 21. století vyráběna podstatná část produkce. V současné době je tato konstrukce, která vyniká pružností a torzní tuhostí využívány spíše pro ostré verze závodních lyží. [13]

Základem konstrukce jsou dva nosné pláty, které jsou vyrobeny ze skelných, karbonových či kevlarových vláken nebo případně ze slitin na bázi hliníku. Mezi nosnými pláty je umístěno jádro. To je vyráběno jako složitý skládaný dřevěný slepenec, nebo může být založeno na umělo hmotné bázi, obohacené aramidovými nebo kovovými prvky a měkkými tlumícími materiály. [13]

Ke konstrukci jsou přidány hrany a skluznice a celá konstrukce je za vysoké teploty a tlaku spojena do jednoho pevného celku. [13]



Obrázek 9 – Sendvičová konstrukce [14]

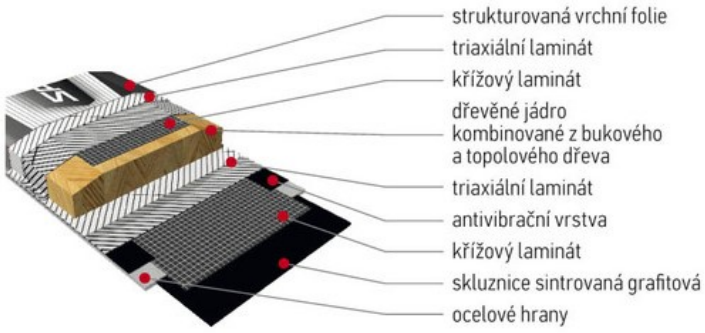
Torzní box

Tento typ konstrukce vyvinuly některé firmy ve snaze zlepšit mechanické vlastnosti lyže, zejména její torzní tuhost při zachování nebo snížení hmotnosti oproti sendvičové konstrukci. Nejčastěji se jednalo o několikanásobné ovinutí skelné tkanina, většinou v kombinaci s karbonem a kevlarem, okolo jádra. Následovalo prosycení matricí a vytvrzení za vysokého tlaku a teploty. Další variantou byla také velmi odolná technologie trojitého torzního boxu, a to i ve variantě s dutým jádrem. Většina firem však od této technologie ustoupila z důvodu složitosti. [13]

Obrázek 10 – Torzní box [14]

Capová konstrukce

S touto výrobně poměrně jednoduchou technologií nazvanou Monocoque přišla firma Salomon a postupně na ni, nebo případně její upravené verze, přešla většina výrobců. Hlavní nosnou částí lyže je nosník ve tvaru širokého U-profilu. Ten zároveň tvoří vrchní část lyže a oba boky. Ke konstrukci tohoto nosníku jsou použity stejné materiály jako u sendvičového typu. Doplněny jsou spodním plátem a hranami se skluznicí. Jádro je buď vyplněno polyuretanovou pěnou nebo je tvořeno opět kombinací dřevin. U některých modelů střední a nižší třídy je použito také voštinové jádro. [13]



Obrázek 11 – Capová konstrukce [14]

Protože capová konstrukce zcela nevyhovuje všem požadavkům na mechanické vlastnosti lyží a vyskytují se také potíže se životností lyží, většina firem postupně vyvíjí různé modifikace a hybridní verze, které vychází z těchto tří zmíněných základních typů konstrukce lyží. [13]

2.3 Cyklistika

Cyklistiku je možné charakterizovat jako jízdu na jízdním kole se sportovním, rekreačním, turistickým či dopravním zaměřením. Jedná se o další sportovní odvětví, ve kterém v posledních letech hrají kompozitní materiály velkou roli. Když se zaměříme konkrétně na závodní cyklistiku, při dosažení maximálního výkonu a spolehlivosti je základem snížení hmotnosti sportovního vybavení (v tomto případě jízdního kola). [15]

2.3.1 Druhy konstrukcí rámů jízdních kol

Nejčastějším materiálem ze skupiny kompozitů, který je v cyklistice využíván je uhlíkové vlákno, ze kterého jsou vytvořeny různé konstrukce rámů jízdních kol. [15]

Konstrukce trubka-trubka

Tento typ konstrukce lze přirovnat ke svařování trubek dohromady. Předtvarované trubky jsou vzájemně spojeny pomocí ovinutí uhlíkovou tkaninou a pryskyřicí. Spoje jsou uchyceny do speciálních přípravků a celý rám je buď umístěn buď do pece nebo ke spojení dojde díky topných tělesech, umístěných v přípravcích. Spoje jsou tak tepelné a dosahují vynikající pevnosti, které jsou srovnatelné se zbytkem konstrukce rámu. Tyto tepelné spoje se liší od lepení tím, že v oblasti spoje vzniká kompozit z uhlíkových vláken. [16]

Obrázek 12 – Konstrukce trubka – trubka [17]

Tato metoda je vhodná pro velkoobjemovou hromadnou výrobu a má srovnatelný výkon jako monokoková konstrukce. Rámy typu trubka-trubka mají omezenější tvar a profily trubek, protože výrazné přechody profilů pak vyžadují nadměrné použití tmelu k vyhlazení spojů. V poslední době však existuje trend vyrábět stále větší prvky pro konstrukci tohoto typu a hranice mezi trubkovými a monokokovými konstrukcemi se stále zmenšuje. [16]

Konstrukce s použitím rámových spojek

Konstrukce typu spoje rámovými spojkami se od předchozího typu liší tím, že samotné trubky jsou robeny technologií navíjení, popřípadě vstřikováním, a následně jsou spojeny pomocí rámových spojek. Tento typ konstrukce je výrobně jednodušší a levnější díky automatizací výroby. [16]

Obrázek 13 – Konstrukce s použitím rámových spojek [18]

Monoklová konstrukce

Celý rám je umístěn ve formě, která má tvar na míru. V tomto případě rám není složen z trubek, ale jedná se o jeden celistvý dutý profil. Tato konstrukční metoda je nejlepší pro

práci s kompozitními materiály. Vzhledem k tomu, že uhlíková vlákna lze poskládat přesně podle potřeba, je možné kombinací uspořádání a tvaru získat jakýkoliv tvar s výbornými výkonnostními parametry. Neexistují zde žádné vnější spoje jednotlivých částí rámu, takže i nejpečlivěji navržený rám z trubek nedosahuje takových vlastností, jako monoklová konstrukce. [16]

Obrázek 14 – Monoklová konstrukce [19]

Neexistují však žádné komerčně dostupné univerzální formy. Pro každý tvar rámu je potřeba vyrobit formu, která kopíruje jeho tvar. Tvar rámu ale není nějak omezený a limitovaný, jako tomu je u trubkové konstrukce. Existují zde však určitá omezení, která se týkají velikosti profilu, jelikož je potřeba mít správně vyřešené formování vnitřní části rámu pomocí různých sáčků, pěnového jádra nebo silikonového trnu, které zajišťují přitlačení kompozitního materiálu na stěnu formy při fázi vytvrzování tak, aby bylo dosaženo rovnoměrné tloušťky výsledného rámu. [16]

2.3.2 Rámy z hybridního kompozitu

Dyneema

Výhodou využití kompozitních materiálů pro výrobu rámu kola vede k velkému snížení hmotnosti. Tato výhoda však přichází na úkor odolnosti. Zatímco hliník a další kovy se při plném nárazu promáčknou nebo ohnou, uhlíková vlákna převážně prasknou a v horším případě se roztříští. [20]

Řešení této problematiky v minulosti zahrnovala silnější vlákna nebo záplaty v oblastech náchylných k poškození, ale to pak vedlo ke zvýšení hmotnosti. Hybridní kompozity místo

toho mísí materiály dohromady ve stejné vrstvě, čímž poskytují hybridní vlastnosti obou složek bez velkého dopadu na celkovou hmotnost. [20]

Dva z použitých materiálů v hybridních kompozitech jsou v podstatě polymerní. Dyneema je polyetylenové vlákno, zatímco Innegra je polypropylén. Když se uhlíková vlákna a Dyneema spojí dohromady, stanou se z toho vlákna vysoce flexibilní a získají vysokou pevnost v tahu. Holandská společnost DSM Dyneema, stojící za tímto vláknem tvrdí, že absorpce energie může být zvýšena až o 100 %. [20]

Obrázek 15 – Rám z hybridního kompozitu Dyneema [20]

Hybrid uhlíkových a ocelových vláken

Zajímavějším materiálem je kombinace uhlíkových a ocelových vláken od formy Rein4ced. Na rozdíl od pružných polymerních vláken tento belgický materiál neobětuje tolik tuhosti. Směs nebude vyžadovat tolik vyztužení, aby si zachovala požadovanou tuhost. Ve skutečnosti společnost očekává nulový přírůstek hmotnosti pro rámy, vidlice a další komponenty. [20]

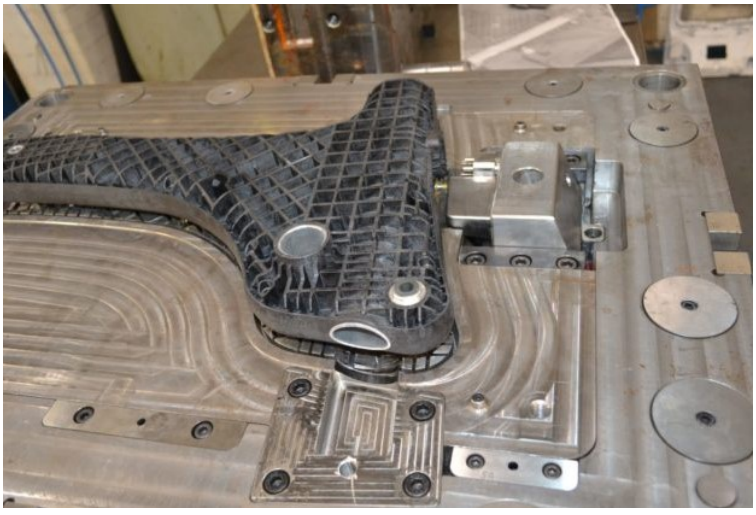
Rostoucí a skládací kolo Sharvan

Sharvan je první kolo svého druhu. Jedná se o unikátní prototyp, který spojuje tři funkce dohromady. Díky nastavitelným řídítkům, sedátku a výsuvnému rámu je možné střídat jezdce s rozdílnou výškou a hmotností. Díky vyměnitelným krytům, které tvoří povrch rámu je možné také střídat barvy kola. [21]

Obrázek 16 – Sharvan bike [21]

Rám je navržen jako jeden kus, který tvoří převážně soustava žeber, které zaručují vysokou pevnost a pomocí technologie vstřikování je vyroben za zhruba 60 sekund. Materiál, ze kterého je rám vyroben tvoří kompozit polyamidu jako matrice, vyztuženého 30 % uhlíkovým vláknem. [21]

Díky již zmíněné soustavě žeber, které tvoří většinu povrchu, je rám natolik pružný, že pohltí nerovnosti na cestě a jízda se tak stává maximálně komfortní. Mimo pružnost si rám také zachovává všechny požadované pevnostní charaktery i po letech aktivního používání. [21]



Obrázek 17 – Sharvan bike – rám kola [21]

2.4 Hokej

Kompozitní materiálem je v současné době základem pro hokejové vybavení. Má většinový podíl na materiálovém složení hokejky a postupně tak vystřídal dřevo, ze kterého se z velké většiny skládaly hokejky, využívané ještě ve 20. století. [22], [23]

Hlavní požadavky na mechanické vlastnosti hokejek jsou nízká hmotnost, pružnost a pevnost. Při hře totiž podléhá tvrdým nárazům a ohybu při střetu hráčů. Nízká hmotnost v kombinaci s těmito vlastnostmi má pak také velký vliv na efektivnost střely puku. [22], [23]

2.4.1 Hokejové hole pro brankáře

V hokeji se často puky střílí rychlostí přesahující 100 mil/h a úkolem brankáře je zabránit tomu, aby se puky dostaly do sítě. Brankařská hůl je v tomto případě primárním nástrojem, který má brankář k dispozici. Dřevěné hole jsou konstruovány pomocí tenkých vrstev břízy, které jsou slepeny dohromady a většina z holí je obalena kompozitní tkaninou. V tomto případě je využíváno převážně skelné vlákno, které má sice větší hmotnost, ale lépe tlumí vibrace. V sezóně 2009–2010 v NHL použili pouze dva brankaři hole, které byly celé z kompozitního materiálu. [23], [24]

Obrázek 18 – Hokejka pro brankáře [25]

2.4.2 Hokejové hole pro hráče v poli

U hráčů, kteří jsou postaveni v poli je tomu spíše naopak z pohledu materiálu, ze kterého se skládá jejich hokejka. Kompozitní hole jsou vyrobeny z vrstev jednosměrných uhlíkových vláken, které jsou naskládány na sebe. Změnou směru orientace vrstev lze získat požadovanou pružnost a tuhost a znatelně tak snížit celkovou hmotnost, která oproti postu brankáře hraje daleko větší roli vzhledem k většímu pohybu po herní ploše. Kompozitní hokejové hole jsou v oblasti čepele a pádla vyplněny lehkou pěnou, která slouží v tomto případě jako jádro hokejky. Rukojeti pak zůstávají duté. [23], [24]

Obrázek 19 – Hokejka pro hráče v poli [26]

2.5 Baseball

Duté nedřevěné pálky byly zavedeny do baseballu v 70. letech minulého století, jako cenově výhodná alternativa ke dřevěným pálkám. Protože jsou tyto duté pálky vyrobeny z hliníku, jsou odolnější ve srovnání těmi dřevěnými. [27], [28]

U dřevěných pálek se poškození během používání projevuje prasknutím nebo rozštěpením dřeva. Jakmile k takovému poškození dojde, pálka je trvale vyřazena. Duté pálky jsou vyrobeny z hliníkové slitiny a při střetu s míčkem dojde k deformaci tenkostěnné hlavy pálky či ke tvorbě prasklin, což má pak velký vliv na kvalitu a výkon odpalů. [27], [28]

Kompozitní baseballové pálky se obvykle vyrábějí pomocí navíjení vláken, splétání nebo vrstvení tenkých látek, vyrobených ze skelných a popřípadě uhlíkových vláken, zpevněných

polymerní matricí. Při opakovaných dopadech míčku na povrch pálky dojde ke tvorbě mikrotrhlin, které při vyšší četnosti způsobí tvorbu větších trhlin. [27], [28]

Obrázek 20 – Kompozitní baseballová pálka [29]

Hlavním problémem baseballových pálek je tvorba vibrací, které vznikají při tvrdém dopadu míčku na povrch pálky, přičemž míček pálce předá velké množství energie, které se projevuje chvěním pálky a nepříjemným bodáním do rukou práče, který pálku drží. V tomto ohledu mají kompozitní pálky velkou výhodu oproti ostatním materiálům, jelikož tyto vibrace jsou schopné velmi dobře tlumit. [27], [28]

3 KOLOBĚŽKY

Koloběžka je jednostopý dopravní prostředek, jehož pohon je založen na fyzické aktivitě, která spočívá v odrážení jednou nohou od země, kdy druhá noha je umístěna na plošině, která se nachází jen pár centimetrů nad vozovkou. Řízení je zajištěno pomocí řídítek, které jsou spojeny s předním kolem. Existuje mnoho variací koloběžky, které jsou zaměřeny na konkrétní terén a užití od malých koloběžek pro přepravu po městě, přes zaměření na terén či akrobatické triky na rampách, které by se daly přirovnat například skateboardu. Existují také speciální druhy koloběžek, které slouží například pro psí spřežení. Většina druhů koloběžek byla s postupem doby také elektrifikována.

3.1 Historie koloběžek

Díky masivnímu rozmachu průmyslu na přelomu 19. a 20. století vyrůstaly u velkých měst továrny. V jejich stínu pak vznikala rozsáhlá průmyslová předměstí, obydlená tisíci dělníky a jejich dětmi. Tehdejší doba rodičům často nedovolovala kupovat dětem nové hračky, a tak si potomci museli poradit sami. [30]

Dětská fantazie a chuť se zabavit daly vzniknout prvním doma vyráběným prototypům koloběžek. Z počátku šlo o podvozky a kolečka z vysloužilých kolečkových bruslí, které se připevňovaly na klasická prkna ze starých dřevěných beden, řízení pak zajišťovalo prkno (často podélně rozpůlené). Zkrátka koloběžky v té době byly vyrobeny z čehokoliv, co bylo zrovna po ruce. [30]

Obrázek 21 – Historie koloběžek [30]

Tehdejší modely měly hodně daleko k současným uhlazeným designům a technologiím. Mezi dětmi se staly obrovským hitem, proto se o koloběžky začali zajímat také větší výrobci.

Používáním v praxi se zjistilo, že největší slabinou koloběžek jsou především použité materiály. Dřevo působením vlhka hnilo a podvozek se vlivem rzi zadrhával. Řešením bylo použití komponentů a koleček z jízdních kol, díky kterému se jízdní vlastnosti koloběžek mnohonásobně zlepšily. Nafukovací pneumatiky jsou ostatně základem pro většinu současných koloběžek, ať už se jedná o přepravu po městě či terénu. [30]

Obrázek 22 – Znovuzrození koloběžek [30]

Spolu s masovým rozšířením jízdních kol ustoupily koloběžky na čas do pozadí. Ve prospěch bicyklů hrála jejich využitelnost, ale také otázka aktuální módy. Koloběžky a zábavu na nich udržovala v povědomí jen hrstka nadšenců, pohádky Jana Wericha a oblíbená postava Hurvínka. [30]

Za iniciátora koloběžkové renesance je dnes považován švýcarský vynálezce a bývalý bankéř Wim Ouboter, který koncem 90. let 20. století představil svou vlastní konstrukci lehké hliníkové koloběžky. K vynálezu ho údajně inspirovala jeho sestra a také život ve městě, kde jsou vzdálenosti často příliš velké na chůzi a malé pro jízdu autem. [30]

3.2 Rozdělení koloběžek

Koloběžky můžeme nejzákladnějším způsobem rozdělit podle toho, kdo na nich bude jezdit. Hmotnost a výška uživatele se dá členit velmi podrobně. Většina modelů má však nastavitelná řídítka, tudíž jsou poměrně univerzální a snadno přizpůsobitelné. [31]

Tyto typy se využívají především jako dopravní prostředky pro přesun z místa na místo nebo zábavu a rekreační projížďky. Existují ale i jiné druhy koloběžek. Ty se od základních provedení liší svými speciálními prvky nebo zaměřením na konkrétní sportovní disciplínu.

3.2.1 Dětské koloběžky

Již z názvu je jasné, na jakou věkovou kategorii jezdců se tyto koloběžky zaměřují. Juniorské modely poslouží jako zábava a u starších dětí i jako praktický dopravní prostředek. Většinou se jedná o konstrukčně jednoduché a cenově přijatelné výrobky, které nedosahují závratných rychlostí a ani nejsou určené pro pohyb v náročném terénu. [31]

Obrázek 23 – Dětská koloběžka Worker plofi [32]

3.2.2 Koloběžky pro dospělé

Koloběžky pro dospělé mají v porovnání s dětskými verzemi větší velikost, vyšší nosnost a mnohdy i pokročilejší konstrukci. Také na nich častěji můžeme najít nafukovací kola většího průměru, širší řídítka a účinnější brzdy. Všeobecně se vyznačují lepším přizpůsobením pro rychlou a dlouhou jízdu. [31]

Obrázek 24 – Koloběžka Kostka tour fun [33]

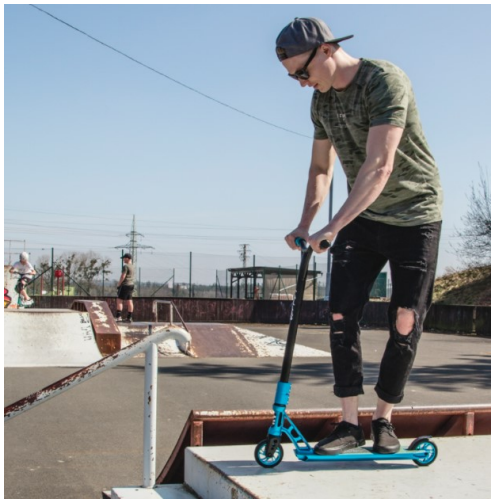
V posledních letech se koloběžky pro dospělé stávají oblíbeným dopravním i sportovním prostředkem. Na trhu tvoří nejširší kategorii napříč všemi typy. Tento typ koloběžek je možné podobně jako jízdní kola rozdělit podle toho, do kterého terénu se hodí. [31]

Tabulka 1 – Rozdělení koloběžek podle druhu terénu [31]

Specifikace	Městské koloběžky	Turistické koloběžky	Horské koloběžky
Druh terénu	Na zpevněné cesty.	Do města i lehčího terénu, ideální pro dlouhé vyjížďky.	Vhodné pro sportovní jízdy i v těžším terénu.
Konstrukce	Malá, lehká, dobře skladná.	Mohutná a zároveň aerodynamická.	Robustní a odolná.
Kola	Menší	Hodně velké přední kolo s nafukovacími a středně silnými pneumatikami.	Větší a nafukovací s hodně silnou pneumatikou a výrazným vzorem.
Řídítka	Úzká	Střední a komfortní.	Širší
Brzdy	Základní	Kvalitní a účinné.	Kvalitní a účinné.

3.2.3 Freestylové koloběžky

Tento typ na první pohled připomíná městské nebo některé dětské koloběžky. Jedná se ale o specializované modely. Freestylové koloběžky se využívají pro provádění triků na rampách a ve skate parcích. Mají malá kola, poměrně dlouhá řídítka a nízko položenou nášlapnou plochu. Vynikají perfektní ovladatelností. [31]



Obrázek 25 – Freestylová koloběžka inSportline Osprey [34]

Freestylové koloběžky lze používat nejen na rampách, ale i pro běžnou jízdu po upravené cestě. Je však nutné dávat pozor na sníženou platformu. Snadno dojde k zadrhnutí o obrubník či jiné nerovnosti. [31]

3.2.4 Dirtové koloběžky

Dirtové koloběžky neboli koloběžky pro dirt jumping jsou stejně jako freestyle tyoy určené pro provádění triků. V tomto případě však najdou uplatnění v terénu, nikoliv na rampách. Drobné nerovnosti běžného ježdění je tudíž nerozhází, stejně jako skoky a tvrdé dopady na přírodních překážkách. Jejich pevná, a přesto lehká konstrukce vydrží opravdu hodně. [31]

Obrázek 26 – Dirtová koloběžka Longway Chimera [35]

Aby dirtové koloběžky zvládaly terén, mají větší nafukovací pneumatiky se širokými plášti. Výrazný dezén zabraňuje smykům a pomáhá s lepším záběrem. Nášlapná platforma bývá potažená protiskluzovým materiálem. [31]

3.2.5 Elektrické koloběžky

Pro přepravu z místa na místo s minimálním úsilím než pro sport, jsou pro tento typ jízdy vhodné koloběžky v elektrickém provedení. Tyto typy mají vlastní motor a akumulátor. Při jízdě se tak není nutné vůbec odrážet. Některé elektro koloběžky mají i sedátko. [31]

Obrázek 27 – Elektrická koloběžka W-Tec Tenmark 500 W [36]

Na trhu je možné se setkat s městskými i terénními verzemi, stejně jako u klasických koloběžek pro dospělé. Dojezd se pohybuje v rámci desítek kilometrů a rychlost je okolo 30–40 km/hod. [31]

3.2.6 Skládací koloběžky

Skládací koloběžky mají většinou jednoduché, přesto odolné a kvalitní zpracování. Jak je již patrné z názvu, lze je složit do kompaktnějších rozměrů. Složení není náročné a nezabere příliš moc času. [31]

Obrázek 28 – Skládací koloběžka inSPORTline Rundeer II [37]

Největší využití mají skládací koloběžky ve městech. Hodí se zpravidla pro zpevněné cesty i lehčí terén. Díky perfektní skladnosti se s nimi pohodlně cestuje hromadnou dopravou. Také je možné je uložit bez obtíží doma, v práci nebo ve škole. [31]

3.3 Kompozitní koloběžky

Vývoj koloběžek a pokrok v tomto odvětví spěje neustále kupředu, což v koloběžkové závodící veřejnosti vzbuzuje pocit, že karbonovou koloběžku už lze považovat za standart, bez kterého se závodní jezdci neobejdou. Podobně jako u sportů, zmíněných v předchozích kapitolách, i u koloběžek je snížení hmotností a zlepšení mechanických vlastností velkou výhodou. [38]

Při srovnání s kompozitními rámy jízdních kol nejsou kompozitní koloběžky tak dostupné. Jedná se převážně o výrobu na zakázku, popřípadě amatérsky po domácku vyrobené rámy.

3.3.1 Kostka Racer CTI

Za první sériově vyráběnou kompozitní koloběžku lze považovat model Racer CTI od společnosti Kostka, která je velmi rozšířeným českým výrobcem koloběžek. [39]

Obrázek 29 – Kostka Racer CTI [39]

3.3.2 Idea Strandel S1

Další sériově vyráběnou kompozitní koloběžkou je Idea S1, která je výsledkem dlouhodobé spolupráce mezi firmou Rafkarna a firmou Strandel. [40]

Celá myšlenka začít s výrobou karbonových rámů pro koloběh začala v roce 2014, kdy Libor Strandel vyrobil první rám, který byl primárně určen jako posouvadlo po depu pro motorsport. Zájem o tyto koloběžky byl tak obrovský, že se společnost rozhodla zaměřit výrobu přímo na sportovní koloběh, jehož výsledkem je Idea Strandel S1. [40]

Obrázek 30 – Idea Strandel S1 [40]

Závodní rámy Idea Strandel S1 se začaly vyrábět v průběhu roku 2016. V následujícím roce 2017 pak probíhalo testování a vývoj samotného technologického postupu. Výsledkem je celokarbonový rám o váze 1750 gramů. Tento rám byl pak podroben důkladnému testování a zátěžovému testování na 250 kg, při kterém se rám prohnul o 1,4 cm. [40]

3.3.3 Koncept Exion

Exion, předložený Ceesem Bakkerem, je vysoce výkonný koncept koloběžky. Rám koloběžky Exion je vyroben z uhlíkových vláken, přičemž aerodynamika a energetická účinnost byla hlavní prioritou celkového designu. Každá část konceptu byla navržena tak, aby udržovala nízký odpor větru, a proto nabídne vysokou rychlost s co nejmenší námahou. [41]

Obrázek 31 – Exion footbike [41]

Díky elegantnímu zúženému rámu lze Exion označit za jeden z nejtenčích dostupných koloběžek. Jezdec může ovládat koloběžku v nízkoprofilové poloze, což usnadňují závodní řídítka s chráničem loktů a sloupkem. Pro jezdce, kteří chtějí dosáhnout co největší rychlosti, nabízí Exion odnímatelný kryt řídítek z uhlíkových vláken, který napomáhá zvýšit rychlost a silné větrné podmínky. [41]

4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY KOMPOZITŮ

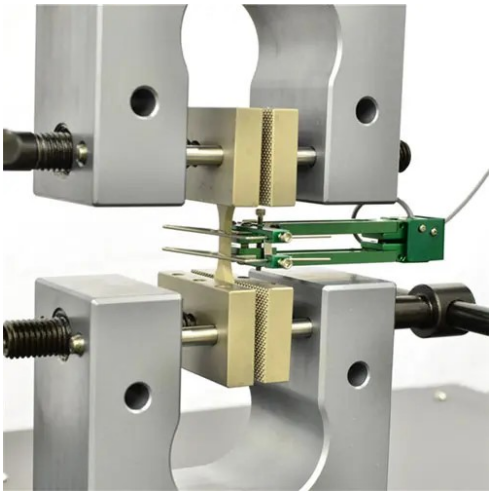
V porovnání s nevyztuženými plasty není závislost vlastností kompozitů na teplotě, době zatížení a podmínkách prostředí tak výrazná. Vliv na jejich chování při mechanickém namáhání má především vytvrzení matrice, rozložení plniva nebo vláken, orientace vláken, případně jejich zakřivení, a zvláště obsah vláken. Proto je třeba při vzájemném srovnání vlastností nepominout velikost obsahu vláken. [5]

Při statických, stejně jako dynamických, zkouškách pevnosti kompozitů jsou to lokální poškození různého druhu, způsobující porušení nosných vláken, která předcházejí celkový lom materiálu. Zejména ve vrstvách, kde existuje nebezpečí vzniku mezivláknové poruchy, například zatížení tahem kolmo ke směru vláken nebo smykem pod úhlem 45 stupňů, mohou vznikat trhliny, které se negativně projeví i u vrstev zatížených ve směru vláken. Z toho plyne, že vrstvy s orientací vláken 0 stupňů ke směru zatížení samy vykazují vyšší pevnosti než stejné vrstvy ve spojení s vrstvami s orientací výztuže 90 stupňů ke směru zatížení, ve kterých dochází k prvním poruchám. Při zatížení tlakem je v takovém případě snížena lokální schopnost podepření vláken matricí, a je umožněno jejich lokální vybočení. Při zatížení tahem vedou lokální přerozdělení napětí a vzniká vrubová napětí ke koncentracím napětí a vrubovým účinkům v přilehlých vrstvách. [5]

Okrajové podmínky vlastní techniky provedení zkoušek často ovlivňují výsledek měření. V oblasti zavedení síly dochází k počátečním deformacím a k bránění v příčné kontrakci. To u vysokopevných a tuhých kompozitů s anizotropními vlastnostmi vyvolává zvýšenou úroveň trojrozměrné napjatosti v okolí upnutí zkušebních těles a může to výrazně ovlivnit výsledek zkoušky. [5]

4.1 Pevnost v tahu (ASTM D638)

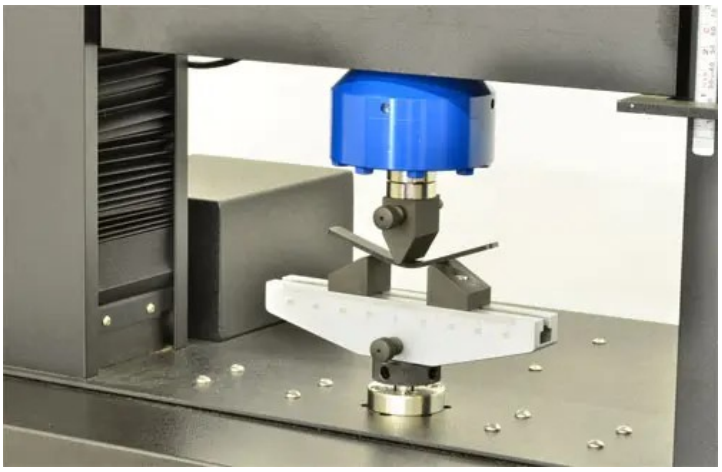
Pevnost v tahu je určována měřením, při kterém je na konce kompozitního zkušebního tělesa aplikována tahová deformace až do přetržení. Modul pružnosti v tahu je pak vypočítán jako poměr mezi napětím a odpovídající deformací. Pokud je pevnost v tahu měřena v podélném směru, je v první aproximaci indikátorem obsahu skleněného rovingu. Například pultrudovaná tyčovina má větší pevnost v tahu než komplikovanější profily, které mají kromě rovingu ve své struktuře zabudovány i rohože. [8]



Obrázek 32 – Pevnost v tahu (ASTM D638) [42]

4.2 Ohybové vlastnosti (ASTM D790)

Pevnost při namáhání v ohybu je měřena tak, že je zkušební těleso umístěno mezi dvě podpěry a uprostřed mezi nimi je aplikována vnější deformace kolmo na rovinu tělesa. ASTM D790 požaduje specifický poměr mezi vzdáleností podpěr a výškou zkušebního tělesa během testu. Ohybové zkoušky na plochých kompozitních zkušebních tělesech jsou často využívány na testování vlivu teploty y chemikálií na vlastnosti kompozitů. [8]



Obrázek 33 – Ohybové vlastnosti (ASTM D790) [42]

4.3 Pevnost v tlaku (ASTM D695)

Pevnost v tlaku kompozitu je maximální napětí nutné k porušení kompozitního zkušebního tělesa namáhaného na jeho koncích tlakovým vnějším zatížením. Zkouška v tlaku je velmi dobrým indikátorem adheze mezi výztuží a pryskyřicí a byla přijata ve specifikaci ANSI A14.5 pro zábradlový profil jako hlavní fyzikální veličina pro určení kvality. [8]

Obrázek 34 – Pevnost v tlaku (ASTM D695) [42]

4.4 Rázová houževnatost IZOD (ASTM D256)

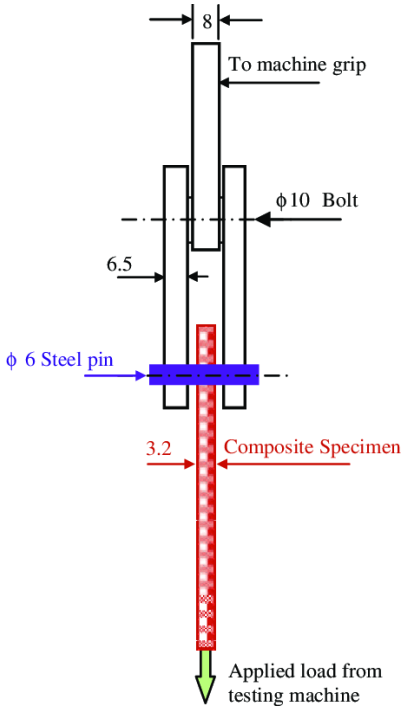
Při měření rázové houževnatosti IZOD je na jednom konci kompozitního zkušebního tělesa vytvořen zářez, který představuje počáteční trhlinu a na druhém konci je upevněno těleso do držáku a je na něj působeno testovacím zařízením ve tvaru kyvadla s definovanou energií úderníku a jeho rychlostí. Je měřena energie nutná k porušení tělesa. Tento test je využíván k určení odolnosti materiálů proti rázovému namáhání (auta, sportovní potřeby, bezpečnostní zařízení a podobně). [8]

Obrázek 35 – Rázová houževnatost (ASTM D256) [43]

4.5 Retenční schopnost děr (ASTM D953)

Zkušební kompozitní těleso je na jednom konci upevněno do držáku a na druhém konci je do předem vyvrtaného otvoru umístěn čep, na který je aplikováno vnější takové zatížení. Následně je měřeno napětí potřebné k tomu, aby se těleso porušilo trhlinou vycházející

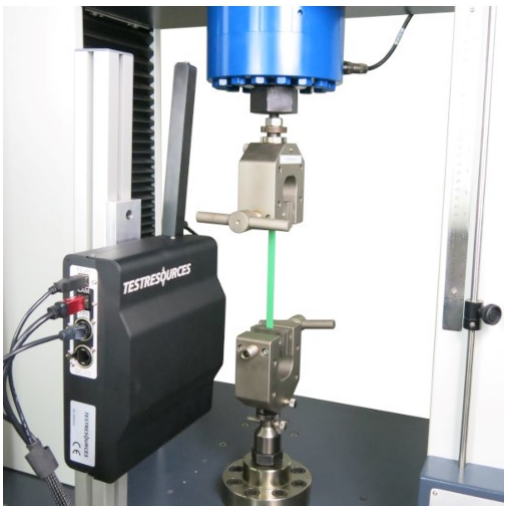
z navrtané díry. Jedná se o důležitý parametr pro navrhování šroubovaných a nýtovaných spojů. [8]



Obrázek 36 – Retenční schopnost děr (ASTM D953) [44]

4.6 Smyková pevnost (ASTM D3846)

V tomto testu jsou do protějších povrchů kompozitního zkušebního tělesa vytvořeny ploché zářezy tak, aby nosný průřez tělesa byl minimalizován. Poté je aplikováno buď tahové nebo tlakové namáhání na koncích tělesa a je měřeno napětí nutné k vytvoření podélné trhliny vzniklé v důsledku vnitřních smykových napětí. [8]



Obrázek 37 – Smyková pevnost (ASTM D3846) [45]

4.7 Modul pružnosti

Tento parametr je měřen tak, že je zatěžován daný profil o předepsané délce. Profil je na koncích podepřen a zatěžován uprostřed ve směru kolmém na délku profilu. Z naměřených hodnot průhybů, napětí a vzdálenosti mezi podpěrami je možno určit tuhost, což je součin geometrického faktoru a skutečného modulu pružnosti. Jedná se tedy o spolehlivější odhad chování konečného prvku v konstrukci ve srovnání s testem na plochých standartních tělesech (ASTM 638). Získané hodnoty se pak vztahují pouze na konkrétní zkoušený profil. [8]

4.8 Tvrdost Barcol (ASTM D2583)

Tvrdost Barcol je mírou odolnosti povrchu zkušebního tělesa proti pronikání zkušební jehly vtlačené do povrchu pružinou. Hodnota tvrdosti je obecně průměrem z mnoha měření na stejném tělese a je přibližnou mírou úplnosti vytvrzení pryskyřice. [8]

Obrázek 38 – Tvrdost Barcol (ASTM D2583) [46]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem praktické části této diplomové práce je navrhnout rám koloběžky, který bude následně podroben mechanickým analýzám a poté vyroben z uhlíkových vláken. Výsledný rám musí dosáhnout dostatečné pevnosti pro stanovenou kategorii uživatelů a zároveň je potřeba dosáhnout co nejnižší hmotnosti.

Praktická část je rozdělena do jednotlivých kapitol, které budou obsahovat vývoj a realizaci celého projektu:

- Stanovení základních parametrů koloběžky.
- Volba komponentů koloběžky.
- Návrh a vývoj designu rámu koloběžky v programu Catia V5.
- Návrh doplňků, potřebných pro kompletaci rámu.
- Návrh forem pro tvorbu jednotlivých částí rámu.
- Volba materiálu a rozvržení skladby jednotlivých vrstev kompozitu.
- FEM analýza rámu.
- Ekonomické zhodnocení.
- Závěr.

6 NÁVRH RÁMU KOLOBĚŽKY

Aby bylo zajištěno správné a efektivní navržení rámu, je potřeba nejprve stanovit základní parametry koloběžky a zvolit jednotlivé komponenty, podle kterých se budou následně odvíjet rozměry konkrétních částí rámu.

6.1 Stanovení základních parametrů koloběžky

Jak již bylo zmíněno v teoretické části (kapitola 3.2), koloběžky lze rozdělit do několika kategorií podle druhu uživatele a terénu, po kterém bude koloběžka jezdit.

Navržená koloběžka bude určena pro dospělé jezdce a bude sloužit pro přepravu po městě a jízdu po cyklostezkách a lehkém terénu na střední vzdálenosti. Podle tohoto zaměření se bude odvíjet velikost samotného rámu, velikost kol, druh vidlice a brzd, které budou na rámu upevněny.

Navržená koloběžka bude takovou hybridní kombinací městské a turistické koloběžky a musí splnit tyto parametry:

- Koloběžka bude určena pro dospělé jezdce.
- Druh terénu budou zpevněné cesty ve městě a lehčí terén mimo ně.
- Konstrukce koloběžky bude středně velká s důrazem na nízkou hmotnost a komfort při jízdě.
- Velikost kol bude 20 palců vpředu i vzadu, což zaručí dobrou manévrovatelnost ve městě, ale zároveň také bude zajištěna efektivita při jízdě na větší vzdálenosti po cyklostezkách.
- Brzdy budou kvalitní a účinné, aby bylo dosaženo co nejmenší brzdné dráhy ve městě, kde je potřeba lépe manévrovat a zároveň aby efektivně brzdila při vyšších rychlostech mimo město.
- Vidlice, která bude upevněna na koloběžce bude odpružena, aby byly kompenzovány nerovnosti, které budou v lehčím terénu a také ve městě, jelikož chodníky a cesty ve městech jsou různé, a ne všechny bývají v dobrém stavu.

6.2 Volba komponentů

Jak již bylo zmíněno, volba komponentů je před samotným návrhem rámu velmi důležitá. Tuto část není dobré podcenit, jelikož od většiny komponentů se budou odvíjet tvary a velikosti konkrétních částí rámu. S druhem kol, řídítek a vidlice souvisí také aerodynamika a poloha jezdce. V případě, že by tyto vlastnosti nebyly správné, samotná jízda na koloběžce by byla kontraproduktivní a také zdraví škodlivá, jelikož by s tím mohly po určité době užívání souviset možné zdravotní potíže jezdce.

6.2.1 Kola

Kola, která budou pevněna na rámu navržené koloběžky, budou o velikosti 20 palců v přední i zadní části koloběžky. Šířka pneumatiky bude střední vzhledem k možné přepravě po lehkém terénu. Vhodným modelem jsou kola od společnosti Remerx Top disc 406 mm s roztečí náboje 100 mm. Tato kola dosahují požadované kvality a disponují také slotem pro kotouče brzd a rychloupínacím šroubem. Zohledněna byla také hmotnost kol, která je 746 gramů. Podrobnější specifikace jsou uvedeny v přiložené tabulce.

Obrázek 39 – Zapletená kola Top disc 406 [47]

Tabulka 2 – Technické specifikace kol [47]

Povrchová úprava	Černý elox + nýt
Špice	Rx nerez 2 mm černé
Náboj	RX 2503 disc BA, rozteč 100 mm, rychloupínací šroub
Počet výpletů	32
Hmotnost	746 gramů
Niple	Mosaz

6.2.2 Vidlice

Vidlice je důležitou součástí jak kol, tak i koloběžek. Jelikož je na ní upevněno přední kolo, přímo se podílí na tlumení vibrací z nerovnosti terénu a má také vliv na tuhost rámu. Z konstrukčního hlediska lze vidlice rozdělit na dvě kategorie:

- **Pevné vidlice** jsou oproti odpruženým lehčí, ale špatně tlumí vibrace, vzniklé nerovností vozovky. Jsou využívány spíše u koloběžek, které jezdí po zpevněných vozovkách, kde nehrozí nerovnost povrchu a drobné překážky. Nejlepším příkladem takové vozovky je cyklostezka.
- **Odpružené vidlice** jsou sice těžší, díky složitější konstrukci a většímu počtu komponentů, ze kterých se skládá, ale zato výborně tlumí vibrace, které vznikají nerovností povrchu vozovky.

Pro navrhovanou koloběžku bude nejvhodnější odpružená vidlice, jelikož vozovky ve městě bývají nerovné a v některých oblastech i poškozené. V lehkém terénu je to podobně. Sice je jedním z hlavních požadavků nízká hmotnost, ale v tomhle případě je nutno udělat výjimku vzhledem k dosažení co nejvyššího komfortu při jízdě.

Jelikož velikost kol 20 palců není u koloběžek tak častá v pozici předního kola a u jízdních kol je tato velikost převážně u juniorských velikostí rámů, není k dispozici tolik typů vidlic, jako by tomu bylo u větších velikostí.

Obrázek 40 – Vidlice Sunrout XCM [48]

Nejvhodnějším typem je vidlice od společnosti Suntour s označením XCM JR Air disc 20“. Značka JR sice označuje juniorskou velikost, ale v toto označení nebude mít vliv na funkčnost koloběžky. Vidlice je odpružená vzduchem a umožňuje také regulaci zdvihu, což je vhodnou vlastností při vyvážení rozdílu terénu ve městě a mimo něj. Osa je pak určena pro rychloupínací šrouby a obsahuje také slot pro upevnění kotoučové brzdy. Při srovnání hmotnosti s ostatními vidlicemi, které jsou k dispozici patří tento typ k těm nejlehčím díky slitině magnesia, ze které jsou vyrobeny nohy vidlice. Podrobnější specifikace jsou uvedeny v přiložené tabulce.

Tabulka 3 – Technické specifikace vidlice [48]

Model	XCM JR Air disc	**Hmotnost**	1780 gramů
Použití a rozměr v palcích	MTB 20“	**Sloupek**	Železný, 1 1/8“ Ahead, délka 255 mm
Systém pružení	Vzduch	**Uchycení brzdy**	Post mount
Systém tlumení	Olejová patrona	**Typ sloupku**	28,6 mm Ahead
Zámek	Z korunky	**Barva**	Černá
Materiál vnějších nohou	Magnesium	**Zdvih**	80 mm

6.2.3 Brzdy

Brzdy pro koloběžky mohou být silniční, ráfkové nebo kotoučové. Pro správnou volbu typu brzd u koloběžky je potřeba zohlednit několik aspektů:

- Požadovanou brzdnou sílu.
- Možnost uchycení.
- Tloušťka ráfků.
- Cena.

Jelikož navrhovaná koloběžka bude sloužit primárně pro přepravu po městě, kde bývá potřeba manévrovat a rychle reagovat, z hlediska brzdného efektu jsou nejvhodnější kotoučové brzdy, které jsou zároveň vhodnější také z konstrukčního hlediska uchycení samotné brzdy pro zadní kolo. V úvahu by připadaly také silniční brzdy, ale ty jsou určeny pouze pro tenké ráfky a ty součástí koloběžky v tomto případě nebudou.

Pro uchycení kotoučové brzdy je potřeba pouze vytvořit v oblasti uchycení kola dva otvory se závitem, které musí být umístěny ve správné vzdálenosti od středu kola tak, aby bylo možné správně nasunout brzdový třmen na kotouč, který je uchycen ve středu kola.

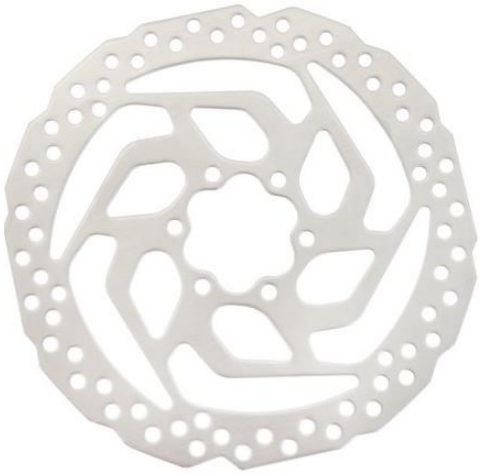
Pro navrženou koloběžku byly zvoleny hydraulické kotoučové brzdy od společnosti Shimano s označením MT200. Tyto brzdy jsou základní verzí hydraulických brzd, které disponují dostatečnou brzdnou silou a zároveň jsou také cenově přijatelné.

Obrázek 41 – Hydraulické brzdy Shimano BR-MT200 [49]

Tabulka 4 – parametry zvolených brzd [49]

Technické označení	BR-MT200 / BL-MT200
Typ hadice	SMBH59
Délka hadice	170 cm
Brzdové destičky	B01S-polymerové
Hmotnost páru brzd	560 gramů

Kotouče, které budou spojovat kolo a brzdový třmen byly zvoleny opět od společnosti Shimano s označením SM-RT26 o velikosti 160 milimetrů. Tato velikost je standartní pro kola o velikosti 20 palců.



Obrázek 42 – Kotouče Shimano SM-RT26 [50]

Tabulka 5 – parametry zvolených kotoučů [50]

Technické označení	SM-RT26S
Materiál	Ocel
Hmotnost páru	292 gramů
Průměr kotouče	160 mm
Uchycení kotouče	INTL – 6 děr

6.2.4 Řídítka

U koloběžek bývají nejčastěji použity řídítka typu vlaštovky, rovná nebo BMX. Pro správnou volbu je potřeba zohlednit ergonomii, způsob jízdy a délku zvolené vidlice. Vzhledem k délce zvolené vidlice a stylu městské jízdy byly zvolena řídítka typu BMX od společnosti Gusset s označením MXR Cruiser bars. Tato řídítka jsou odolná a tuhá a velmi lehká, což částečně vykompenzuje poměrně vysokou hmotnost zvolené odpružené vidlice.

Obrázek 43 – Zvolená řídítka Gusser MXR cruiser bars [51]

Tabulka 6 – Parametry zvolených řídítek [51]

Materiál	13x zeslabovaná, tepelně upravená Cr-Mo slitina
Šířka	730 mm
Výška	147 mm
Prohnutí	2 stupně nahoru, 11 stupňů dozadu
Cross bar	16 mm
Úprava	Frézované X-knurled drážky uprostřed pro lepší kontakt s představcem
Hmotnost	615 gramů

6.2.5 Představec

Představec slouží pro spojení přední vidlice a řídítek. Typ představce se pak odvíjí od druhu zvolených řídítek a tloušťky sloupku vidlice. S ohledem na hmotnost a cenu byl zvolen

představec od společnosti Max1 s označením BMX. Tento představec je vyroben z hliníku, a tak je ve srovnání s ostatními o poznání lehčí.

Obrázek 44 – Představec MAX1 BMX [52]

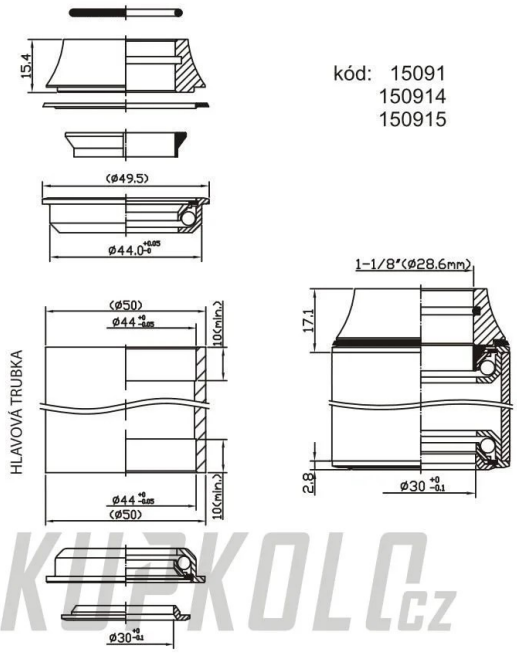
Tabulka 7 – Parametry zvoleného představce [52]

Délka	50 mm
Průměr pro řídítka	22,2 mm (standart BMX)
Výška	30 mm
Materiál	Al 6061 T6
Hmotnost	280 gramů

6.2.6 Hlavové složení

Hlavové složení umožňuje rotační pohyb mezi sloupkem vidlice a rámem koloběžky, díky čemuž je pak koloběžka schopna zatáčet. Stejně jako u všech ostatních komponentů existuje několik typů tohoto komponentu a liší se konstrukcí, cenou a vhodností pro styl jízdy. Pro navrženou koloběžku bylo zvoleno Semi-integrované složení 1 1/8“ od spolčenosti Force, které je vhodné pro standartní koloběžky. Díky jednoduché konstrukci je zaručená velmi jednoduchá montáž, při které stačí pouze jednotlivé misky s ložisky nalisovat do trubky, ve které je umístěna přední vidlice.

Obrázek 45 – Semi-integrované hlavové složení [53]



Obrázek 46 – Uchycení a rozměry hlavového složení [53]

Tabulka 8 – Parametry hlavového složení [53]

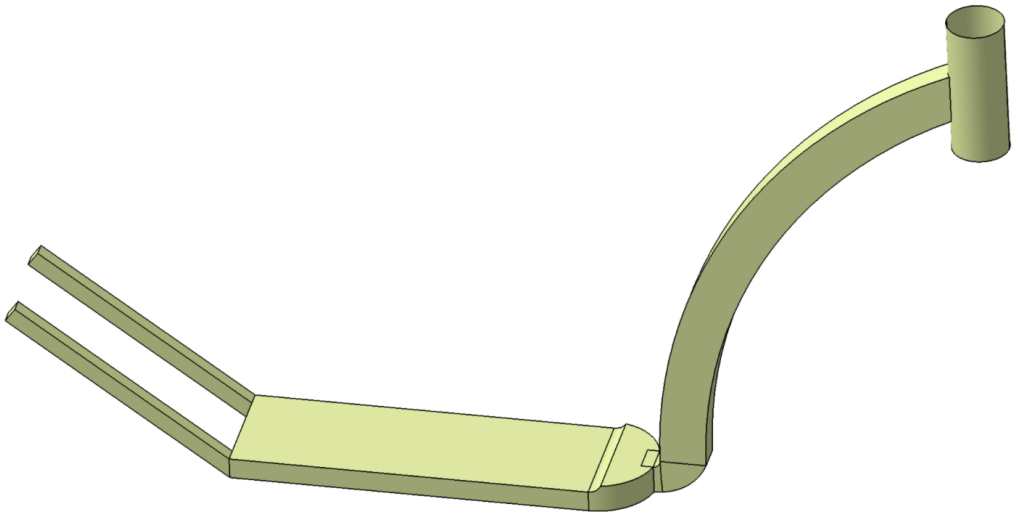
Druh složení	Polointegrované 1 1/8“
Druh ložisek	Utěsněné věnečkové ložiska
Materiál	Železo
Hmotnost	149 gramů

7 VÝVOJ KONSTRUKČNÍHO NÁVRHU RÁMU KOLOBĚŽKY

Pro konstrukční návrh rámu koloběžky byl využit modul Generative shape design, který je součástí programu Catia V5R20. V tomto modelu byl nejprve vytvořen rám v bezrozměrných plochách a následně byl převeden do skořepiny se zvolenou tloušťkou.

7.1 Prototyp č. 1

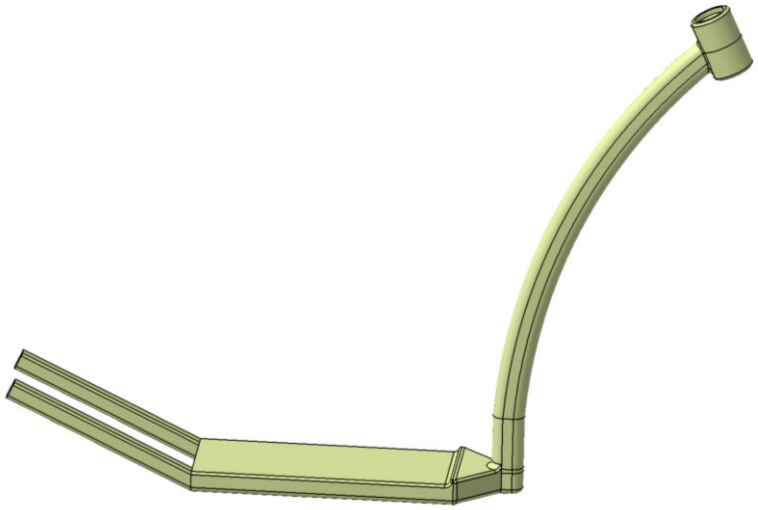
Tento prototyp sloužil jako prvotní převod z vize rámu na viditelnou podobu. Zároveň se také jednalo o seznámení se s možnostmi modelování rámu v modulu ploch. Byly také stanoveny první problematické oblasti z hlediska konstrukce a samotného tvaru. Mezi tyto oblasti patří přechod zadní vidlice na nášlapnou desku, přechod nášlapné desky na šíji a tvar samotné šíje, na kterou bude poté nasazena přední vidlice.



Obrázek 47 – Prototyp č. 1

7.2 Prototyp č. 2

Prototyp číslo dvě se od předchozího liší převážně v oblasti napojení nášlapné desky na šíji. Rozdílné je také zakřivení samotné šíje. Z pevnostního hlediska byl však tento tvar rámu vyhodnocen jako nevyhovující. Na obou koncích nášlapné desky by s velkou pravděpodobností došlo k poškození vlivem zatížení. Zároveň byly vyhodnoceny rozměry nášlapné desky, jako zbytečně velké. V tomto případě se jedná o nášlapnou desku o rozměrech 480 x 200 milimetrů a tloušťce 40 mm. Došlo by tak k velké spotřebě materiálu a prostor by při postavení se na desku nebyl plně využit.



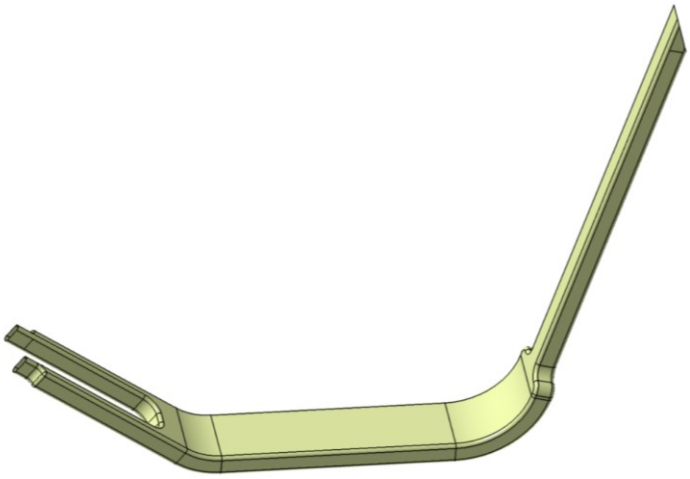
Obrázek 48 – Prototyp č. 2

7.3 Prototyp č. 3

Při tvorbě tohoto prototypu došlo k radikálním změnám ve tvaru a také v rozměrech. Rám působí více jednotně a byla částečně vyřešena problematika přechodů na obou koncích nášlapné desky. Šíje byla vyrovnána a skloněna o požadované stupně tak, aby byla zajištěna správná výška pro přední vidlici. Také byl odstraněn krk, který slouží pro uchycení přední vidlice a řídítek. Z výrobního hlediska bude jednodušší tuto součást vyrobit zvlášť a poté připevnit na přední část rámu. Zbývá už jen zakončení zadní vidlice, kde bylo vytvořeno zúžení, ve kterém po výrobě bude vytvořen otvor pro uchycení zadního kola

Případné komplikace by však mohly nastat v oblasti šíje, která spojuje nášlapnou desku a přední vidlici. Vzhledem ke zmenšení celkové velikosti byla snížena tloušťka šíje ze 40 mm na 30 mm. Další problematika nastala ohledně uchycení zadní brzdy. Nejvhodnějším řešením bude tuto oblast vyřešit podobně jako krk na přední části rámu. Tato oblast bude odstraněna a koncovky pro uchycení kola a brzdy budou vyrobeny zvlášť a připevněny k rámu.

V případě nášlapné desky je potenciální možnost ještě tloušťku snížit ze 30 mm na 20 mm z důvodu snížení potřebného materiálu. Komplikace by však mohly nastat opět v oblasti šíje, jelikož tato tloušťka je jednotná po celé délce rámu. Zbylé rozměry byly sníženy z původních 480 x 200 mm na 330 x 100 mm. Tato plocha je dostatečná pro umístění obou nohou při jízdě.

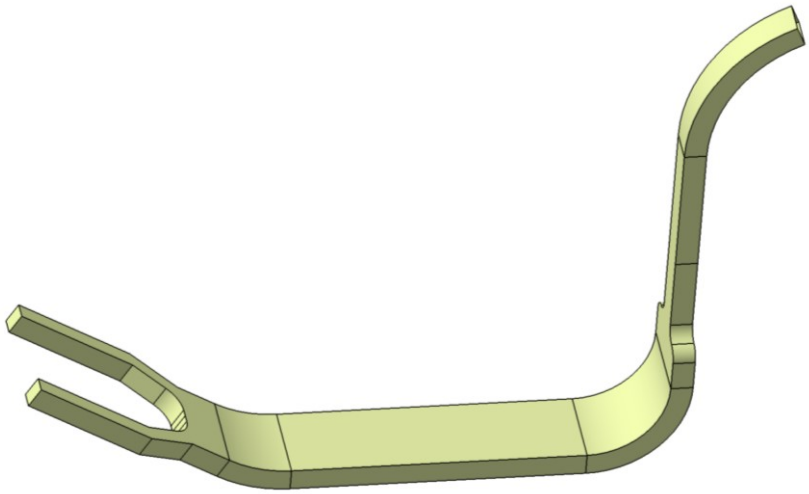


Obrázek 49 – Prototyp č. 3

7.4 Prototyp č. 4

Při tvorbě čtvrtého prototypu došlo pouze k doladění několika rozměrů a úpravě přední a zadní části rámu. V přední části rámu byla navrácena zakroucená šíje oproti předchozí rovné. Byla snížena celková tloušťka rámu ze 30 na 25 milimetrů z důvodu úspory materiálu. Zadní vidlice na kolo byla celkově rozšířena, jelikož náboj zvoleného kola má šířku 100 milimetrů, což byla zároveň také původní šířka zadní vidlice. Z tohoto důvodu bylo nutné vidlici rozšířit tak, aby vnitřní šířka vidlice byla požadovaných 100 milimetrů pro rychloupínací šroub. Zároveň bylo odstraněno zakončení vidlice pro uchycení kola, jak bylo zmíněno u předchozího prototypu. Tyto koncovky budou vyrobeny zvlášť a poté připevněny k rámu.

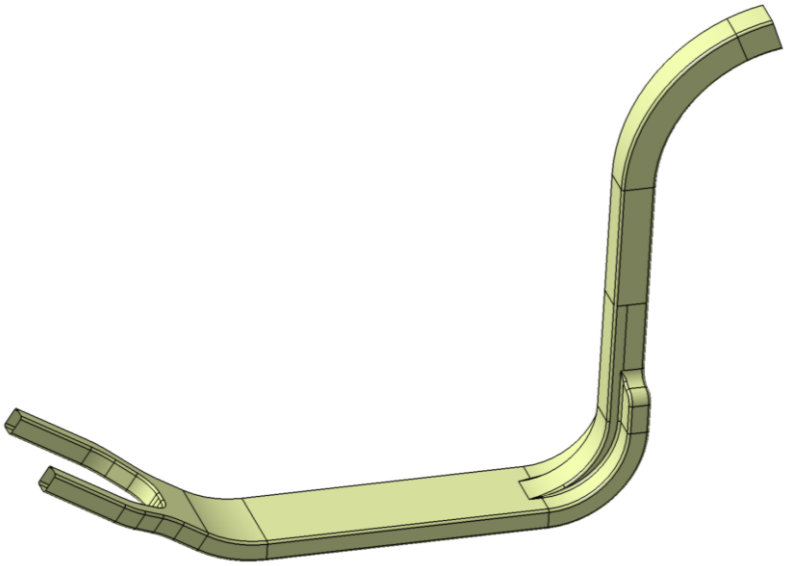
Případné obtíže by však mohly nastat v oblasti přechodu nášlapné desky na šíji, kde je umístěna přední vidlice. Z důvodu celkového snížení tloušťky dojde sice ke značné úspoře materiálu, ale zároveň se sníží tloušťka šíje, která je podstatným nosníkem celého rámu. Nejvhodnějším řešením bude lokální zesílení v této oblasti alespoň na 40 milimetrů.



Obrázek 50 – Prototyp č. 4

7.5 Prototyp č. 5

Prototyp číslo pět lze považovat za finální návrh rámu. Oproti předchozímu modelu bylo vytvořeno lokální zesílení v oblasti předního konce nášlapné desky a samotné šíje z 25 mm na 40 mm z důvodu zvýšení tuhosti, jelikož tato oblast je jednou z kritických oblastí. Přidáno bylo také zaoblení veškerých hran.



Obrázek 51 – Prototyp č. 5

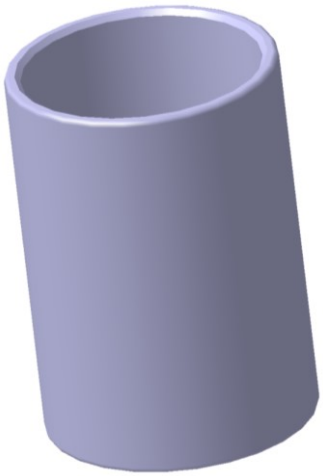
7.6 Doplňky k rámu

Jak již bylo zmíněno v předchozích podkapitolách, některé součásti rámu budou vyrobeny zvlášť a následně připevněny k rámu z důvodu zjednodušení výroby samotného rámu.

Konkrétně se jedná o krk pro místění hlavového složení a přední vidlice a koncovky pro zadní vidlici, kde bude upevněno zadní kolo a brzdový třmen.

7.6.1 Krk pro uchycení přední vidlice

Tato součást bude sloužit pro uchycení hlavového složení a také umístění hlavového složení, které umožní otáčení řídítek. Samotná součást bude vyrobena z hliníkové trubky s vnějším průměrem 50 milimetrů a vnitřním průměrem 44 milimetrů. Tyto rozměry byly zvoleny podle předepsaných rozměrů pro správné uchycení hlavového složení, které bude poté nalisováno do součásti. Hotový krk i s hlavovým složením bude poté připevněn k přední části rámu pomocí uhlíkového textilu, kterým bude spoj ovinut a prosycen pryskyřicí, která bude poté vytvrzena. Pro správné přilehnutí trubky k rámu bude na konci šíje vytvořen kruhový otvor, který bude kopírovat část připevněné trubky. Aby bylo umožněno správné ovinutí spoje textilem, trubka bude nejprve k rámu připevněna tavnou pistolí z důvodu zafixování správné vzájemné polohy mezi trubkou a rámem.



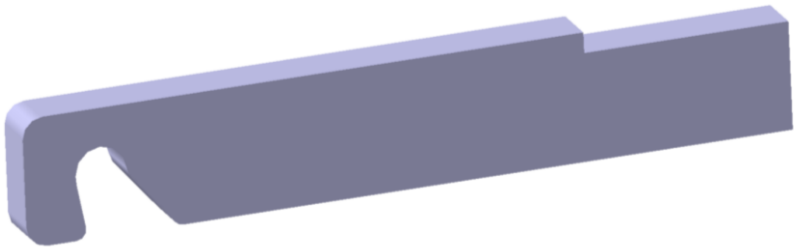
Obrázek 52 – Krk pro uchycení přední vidlice

7.6.2 Koncovky zadní vidlice

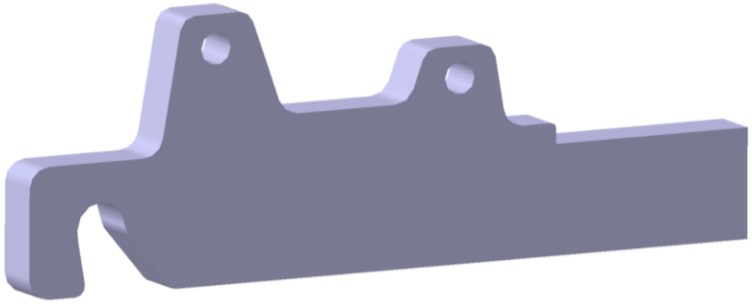
Podobně, jako je tomu u krku pro uchycení vidlice, koncovky pro uchycení zadního kola a brzdy budou opět vyrobeny zvlášť a následně pak budou upevněny k rámu koloběžky. Obě části budou vyrobeny technologií řezání laserem, kdy do plátu o tloušťce 10 milimetrů bude vypálen vnější tvar levé i pravé koncovky.

Jelikož nejmenší možný průměr, který může být vypálen se musí minimálně rovnat tloušťce samotného plátu (10 mm), poloha otvorů bude pomocí laseru pouze naznačena. V této oblasti bude následně vyvrtán otvor a vytvořen závit pro upevnění třmenu pomocí šroubů.

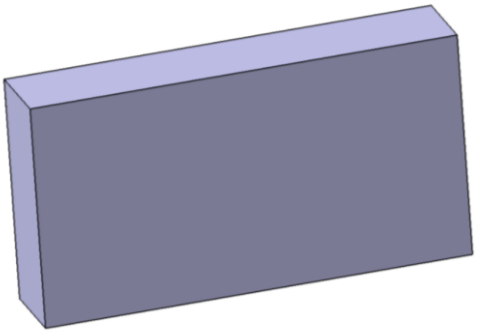
Vytvořené koncovky budou částečně zasunuty do rámu a poté budou zafixovány pomocí malých plátů, které vyplní zbylý prostor v rámu tak, aby byly koncovky správně zafixovány. Aby byla zajištěna správná vzájemná poloha otvorů pro rychloupínací šroub, byly na koncovkách vytvořeny záhyby, o které se rám opře. Poté bude spoj opět ovinut uhlíkovým textilem a prosycen pryskyřicí, která bude poté vytvrzena.



Obrázek 53 – Pravá koncovka zadní vidlice



Obrázek 54 – Levá koncovka zadní vidlice



Obrázek 55 – Plát pro zafixování vzájemné polohy koncovek

7.7 Výsledná vizualizace navržené koloběžky

Pro ověření správnosti rozměrů navrženého rámu a také pro celkovou představu vzhledu koloběžky byly vytvořeny modely jednotlivých komponentů tak, aby byly zachovány hlavní rozměry zvolených komponentů. Následně byla vizualizace převedena do reálnější podoby

pomocí funkce renderování, kterou program Catia V5 obsahuje. Z důvodu lepšího kontrastu byly zvoleny světlejší barvy rámu tak, aby model vynikl v rámci zvoleného pozadí.

Obrázek 56 – Sestava celé koloběžky bez zvolených materiálů

Obrázek 57 - Vizualizace navržené koloběžky pomocí renderování

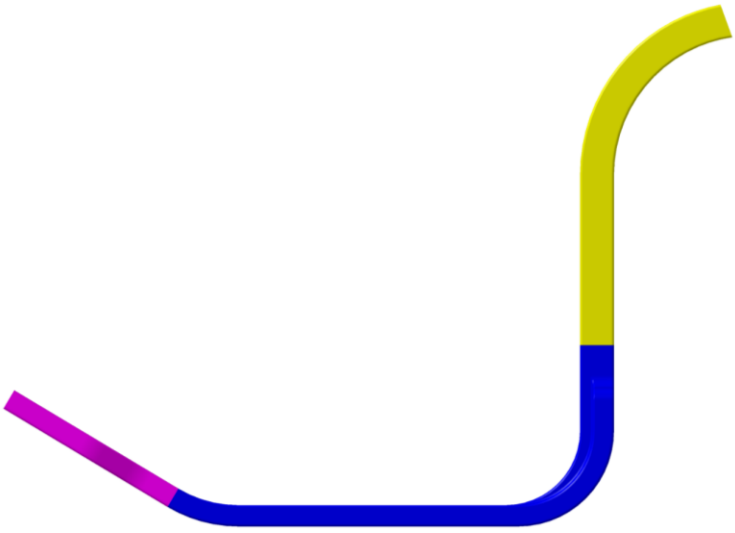
8 KONSTRUKČNÍ NÁVRH FOREM PRO VÝROBU RÁMU

Po dokončení rámu a sestavení kompletní koloběžky je potřeba také navrhnout formy, ve kterých bude rám vyráběn. Vzhledem k celkové velikosti koloběžky bude rám rozdělen na několik částí, které budou vyrobeny zvlášť a poté spojeny do jednoho celku.

8.1 Rozdělení rámu

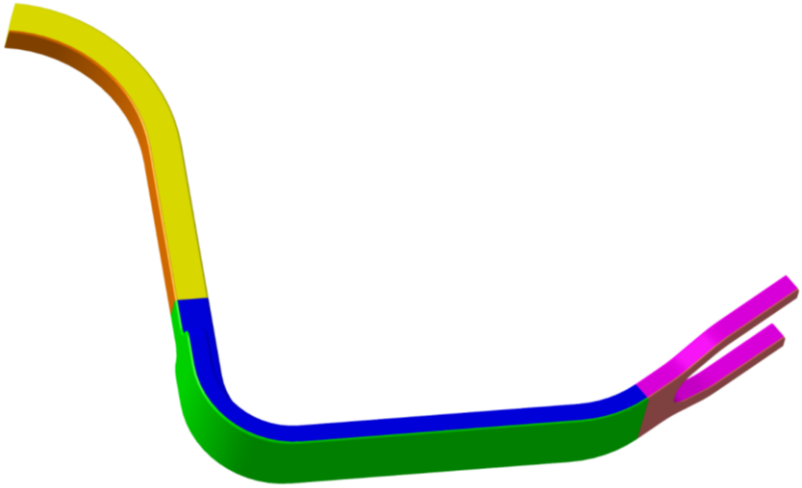
Jak již bylo zmíněno, rám vzhledem k jeho velikosti je potřeba rozdělit na více částí, které budou pak následně spojeny v jeden celek. Konkrétně se bude jednat o rozdělení na tři části:

- Zadní vidlice.
- Nášlapná deska.
- Šíje.



Obrázek 58 – Rozdělení rámu

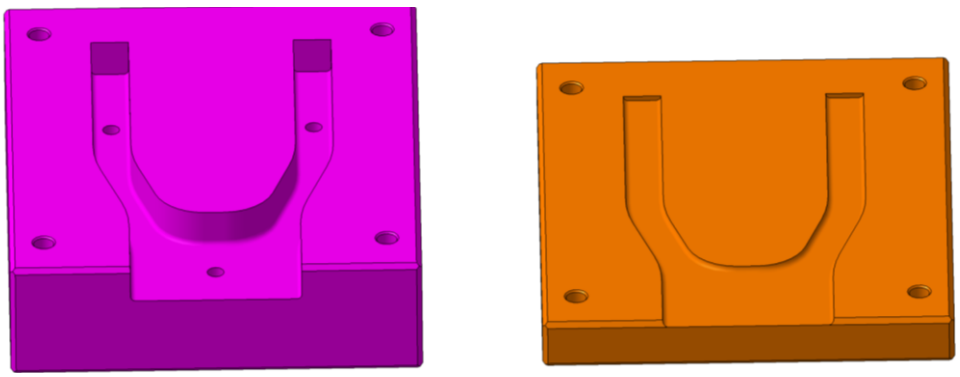
Každá jednotlivá část rámu pak byla následně rozdělena na horní a spodní polovinu tak, aby byla po výrobě co nejméně viditelná stopa po dělící rovině forem.



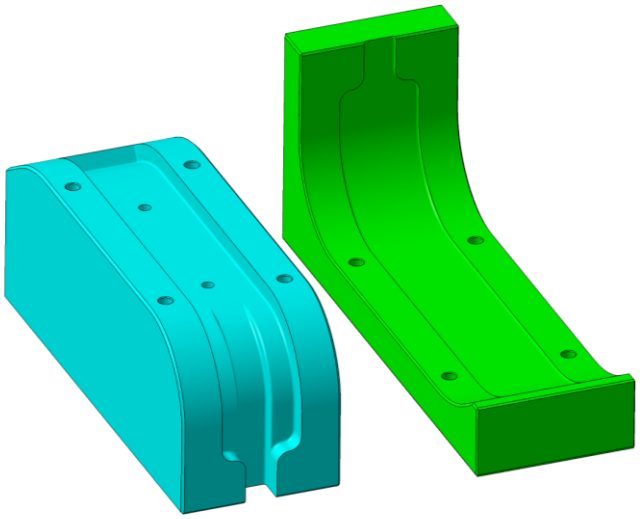
Obrázek 59 – Umístění dělící rovin do jednotlivých částí rámu

8.2 Návrh forem

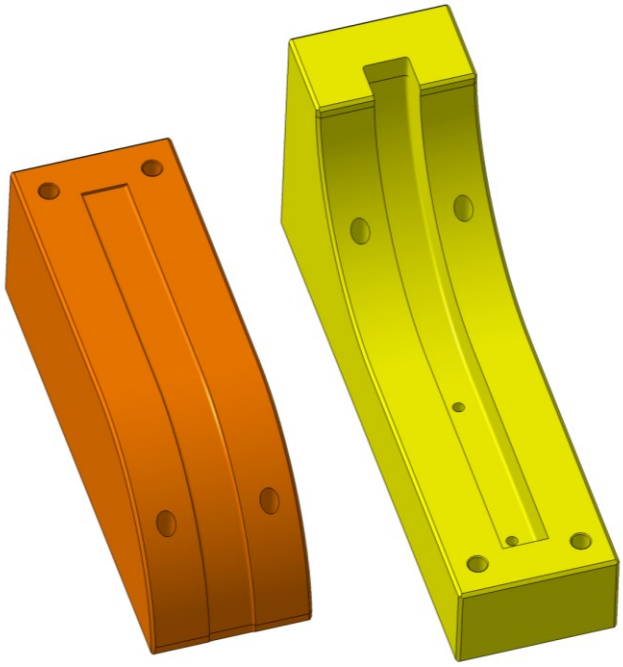
Na základě rozdělení rámu a umístění dělících rovin byly navrženy formy pro jednotlivé části rámu. Jelikož se jedná o výrobu jednoho prototypu, materiálem forem bude Necuron 690, který odolá i vyšším vytvorzovacím teplotám v autoklávu. Díky zvolenému materiálu sice nebude zajištěn nejkvalitnější povrch, ale výhodou bude nižší cena a lepší obrobitelnost materiálu. Na úkor příznivější ceny bude muset být každý vyrobený prototyp podroben povrchové úpravě. Při sériové výrobě by však bylo lepší volit některou z hliníkových slitin, kdy by byla povrchová úprava provedena na povrchu tvarových dutin forem. Všechny tři formy obsahují otvor, do kterého bude umístěna membrána, která svým rozfouknutím zajistí stejnoměrnou tloušťku materiálu. Jelikož okraje vyrobených kompozitních dílů bývají v praxi většinou méně kvalitní než zbytek dílu, oba konce tvarových dutin byly protaženy o 10 milimetrů. Tyto přebytky budou po vytvrzení a vyjmutí odděleny.



Obrázek 60 – Forma zadní vidlice

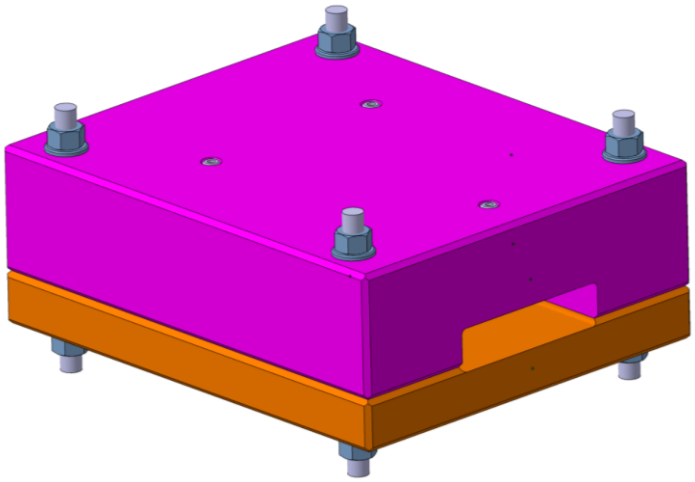


Obrázek 61 – Forma nášlapné desky

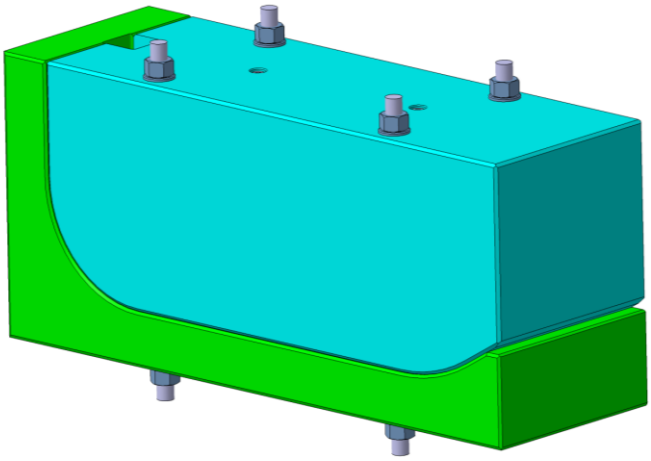


Obrázek 62 – Forma šíje

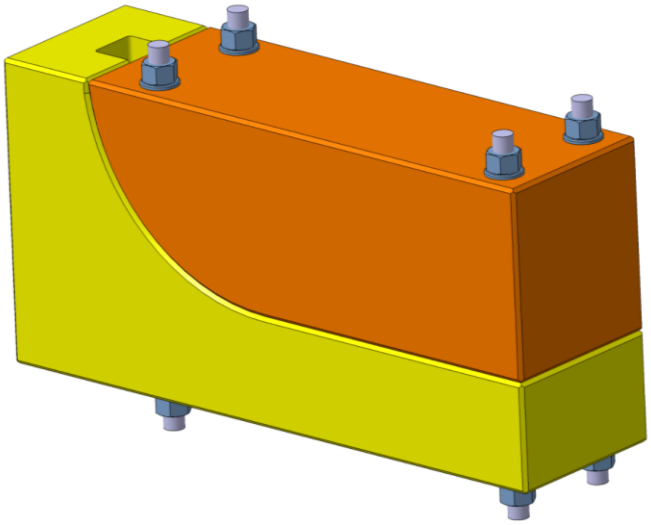
Samotné uzavření formy je realizováno pomocí svorníku, který bude umístěn v krajních otvorech a z obou stran zajištěn pomocí podložky a matice. Po uzavření formy a utažení matic pak bude dodatečně ještě celá forma překryta membránou a přitlačena pomocí vakua přímo v autoklávu.



Obrázek 63 – Sestava formy pro zadní vidlici rámu

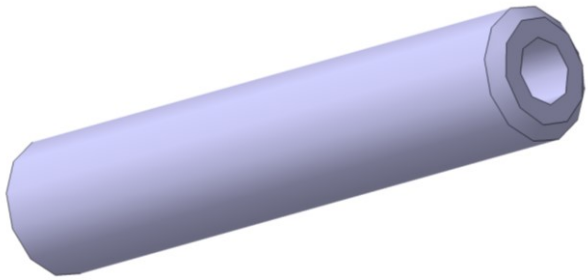


Obrázek 64 – Sestava formy pro nášlapnou desku



Obrázek 65 – Sestava formy pro šíji

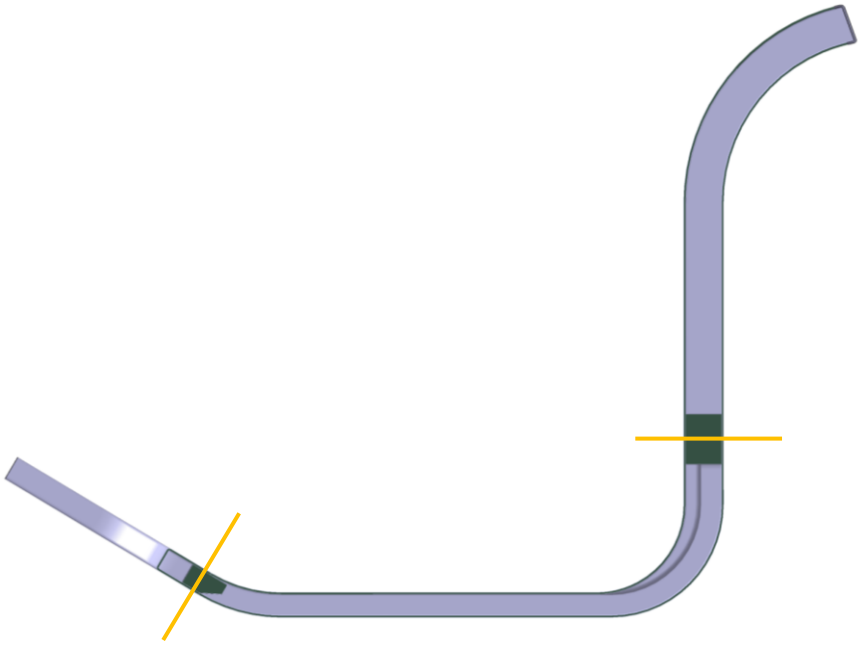
Vzhledem ke složitějšímu tvaru rámu nebylo možné realizovat boční úkosy, které by sloužily pro jednodušší vyjmutí rámů z forem. Z toho důvodu bylo do každé tvarové dutiny vytvořeno několik otvorů, do kterých budou umístěny speciální vložky. Tyto vložky budou sloužit k utěsnění dutiny při procesu vytvrzování a následně budou vyjmuty a do otvorů bude přiveden stlačený vzduch, který pomocí dostatečného tlaku vytlačí vytvořenou část rámu z formy. Vyjmutí vložek z formy je realizováno pomocí otvoru se závitem, do kterého bude našroubováno madlo a celou vložku tak bude možné vytáhnout.



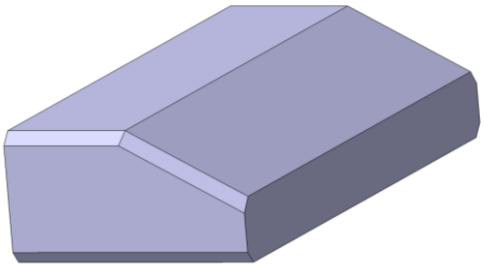
Obrázek 66 – Vyhazovací vložka

8.3 Spojení jednotlivých částí

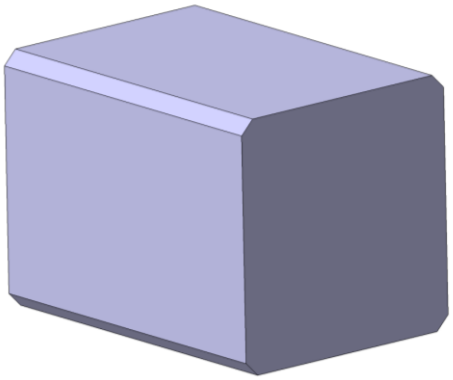
Po vyrobení všech tří částí rámu bude potřeba tyto části spojit do jednoho celku. Pro tento případ byla zvolena nejjednodušší varianta, kdy bude mezi sousedící části rámu vložena hliníková spojka, která bude prosycena pryskyřicí a poté vytvrzena. Oba spoje jsou znázorněny na níže uvedeném obrázku, kdy zelená plochy znázorňuje navržené spojky.



Obrázek 67 – Spoje jednotlivých částí rámu



Obrázek 68 – Spojovací součást pro zadní vidlici a nášlapnou desku



Obrázek 69 – Spojovací součást nášlapné desky a šíje

9 NASTAVENÍ FEM ANALÝZY NAVRŽENÉHO RÁMU

Aby byla ověřena mechanická pevnost navrženého rámu, je potřeba provést FEM analýzu, pomocí které budou zjištěny problematické oblasti a velikost deformace celého rámu po zatížení. Zásadní váhu na celkové pevnosti bude mít orientace a skladba jednotlivých vrstev. Proto bude analýza vyhotovena ve třech variantách:

- Stejná orientace 0 stupňů.
- Proměnlivá orientace, střídající se po 45 stupních.
- Střídavá orientace podle zásad společnosti Airbus.

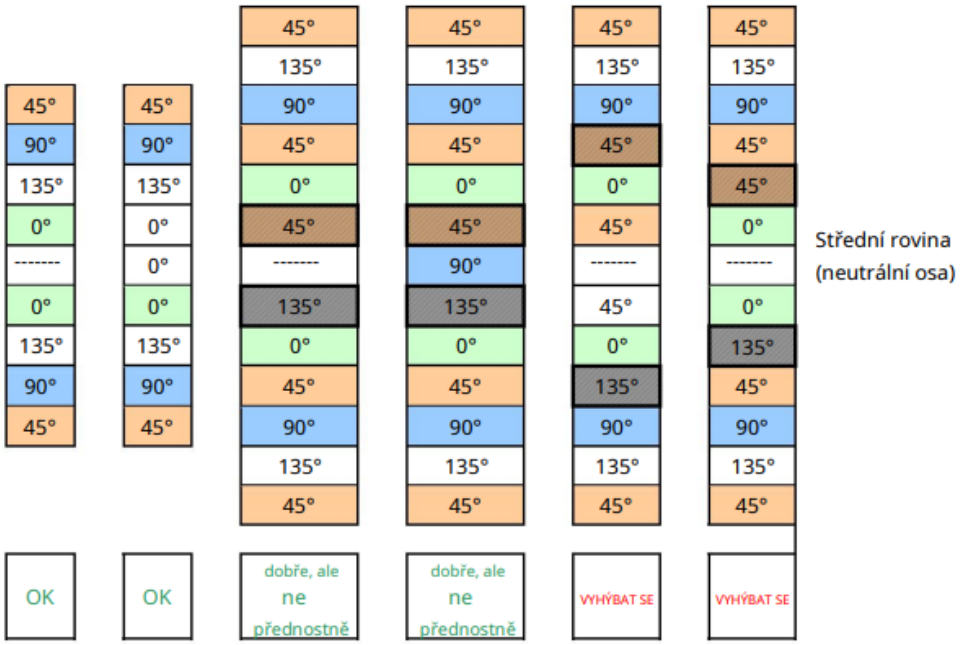
9.1 Zásady kladení jednotlivých vrstev podle společnosti Airbus

Při návrhu skladby jednotlivých vrstev materiálu by měl konstruktér použít následující pravidla stohování, aby získal zvláště ortotropní lamináty nebo jinak minimalizoval spojovací efekty a pomohl tak výrobnímu procesu. Ne vždy je však možné všechny pravidla splnit. V těchto případech je vyžadován souhlas s Manufacturing and stress po prostudování zvláštností každého případu. Všechna uvedená pravidla by měla být aplikována nezávisle na použité technologii výroby laminátu. [54]

9.1.1 Pravidlo č. 1 – Symetrie

Sekvence stohování by měla být symetrická kolem neutrální osy. Pro každou osu ve směru + θi ve vzdálenosti Zi od střední roviny existuje vrstva ve směru + θi ve vzdálenosti - Zi, θi je úhel s ohledem na hlavní směr zatížení. [54]

Není-li dokonalá symetrie možná, musí být „asymetrie“ udržována co nejblíže střední rovině. Tyto případy by měly být analyzovány, aby se zabránilo výrobním deformacím. [54]



Obrázek 70 – Pravidlo č. 1 symetrie [54]

9.1.2 Pravidlo č. 2 – vyváženost

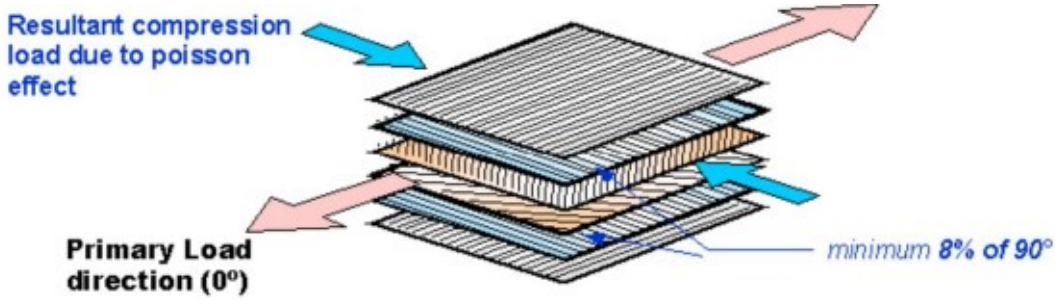
Skladba jednotlivých vrstev vláken by měla být vyvážená. Pro každou vrstvu ve směru + θi existuje vrstva ve směru – θi. Není-li možné rovnoměrně rozložit vrstvy, musí být „nevyváženost“ udržována co nejblíže střední rovině. Tyto případy by měly být poté analyzovány, aby bylo zabráněno výrobním deformacím. [54]

Tabulka 9 – pravidlo č. 2 vyvážení [54]

ÚHEL	POČET VRSTVŮ	
	20	20
0°	10	10
45°	4	6
135°	4	2
90	2	2
	OK	Vyhýbat se

9.1.3 Pravidlo č. 3 – procento orientace vrstev

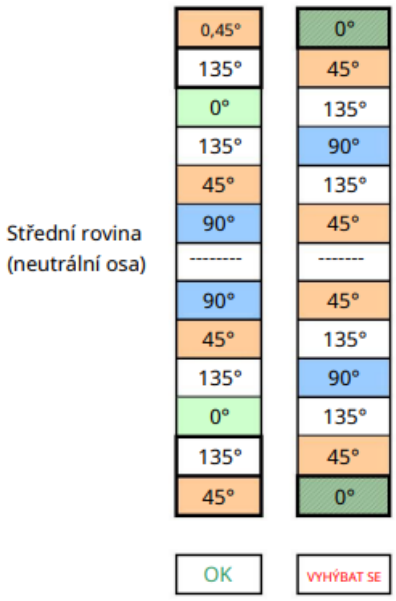
U pevných laminátových dílů by procento vrstev položených v každém směru mělo být mezi 8 % a 67 %. [54]



Obrázek 71 – pravidlo č. 3 procento orientace vrstev [54]

9.1.4 Pravidlo č. 4 – vnější vrstvy

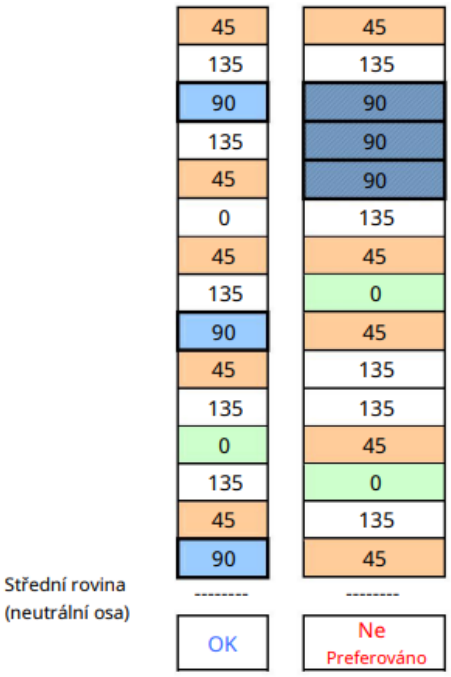
Vnější vrstvy by nikdy neměly být ve směru hlavního zatížení. Pro vnější vrstvy laminátu je doporučeno použít pár 45˚/135˚. V určitých aplikacích (CWB) by však mohla být použita 90˚ vnější vrstva. [54]



Obrázek 72 – pravidlo č. 4 vnější vrstvy [54]

9.1.5 Pravidlo č. 5 – pravidelné rozložení orientace vrstev

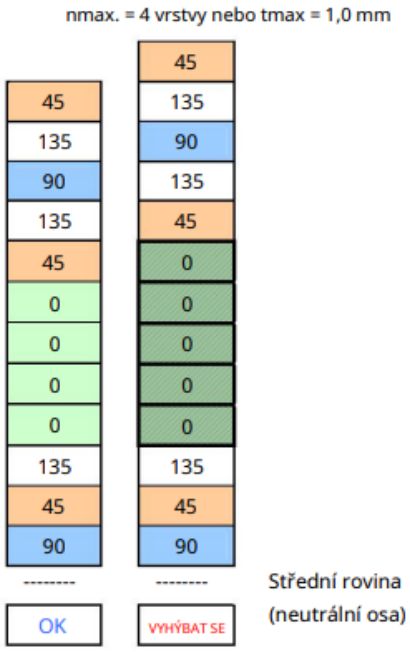
Vrstvy se stejnou orientací by měly být rovnoměrně rozmístěny v celé sekvenci stohování. Aby se minimalizovaly spojovací účinky a bylo zajištěno homogenní rozložení napětí v celém laminátu. [54]



Obrázek 73 – Pravidlo č. 5 pravidelné rozložení orientace vrstev [54]

9.1.6 Pravidlo č. 6 – Maximální seskupení

Maximální počet vrstev seskupených ve stejném směru je omezen. Tento maximální počet závidí na tloušťce vrstvy. Doporučují se však maximálně tři vrstvy. V případech, kdy je laminát obzvláště silný, je možné po dohodě se společností Stress and Manufacturing lze nmax navýšit. [54]



Obrázek 74 – Pravidlo č. 6 maximální seskupení [54]

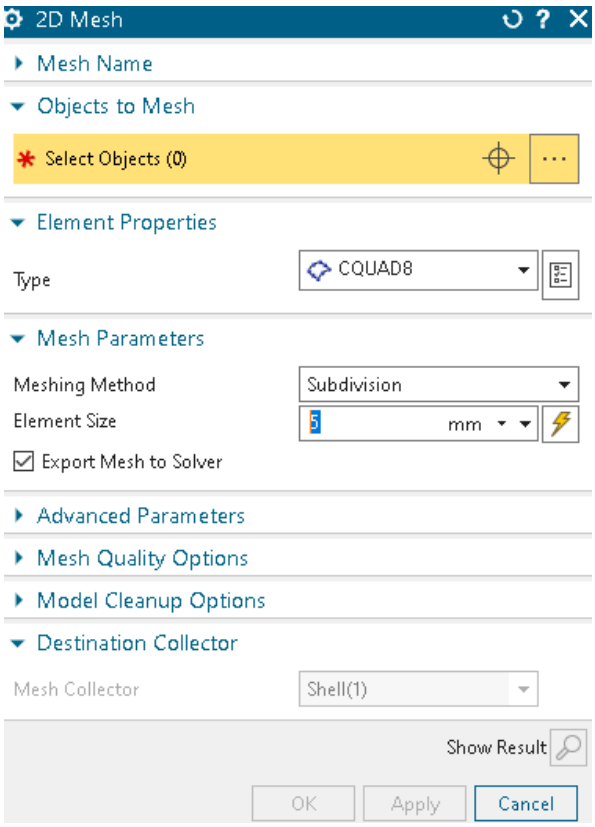
9.1.7 Pravidlo č. 7 – zlepšení chování při vzpěru

V případě tlakového zatížení se umístěním vrstev ve směru 0° co nejdále od linie symetrie zvýší přípustné vybočení. V ostatních zatěžovacích stavech (smykové a kombinované) nejsou k dispozici žádná zjednodušená pravidla s ohledem na umístění vlákna k neutrální ose. [54]

9.2 Vytvoření sítě na povrchu testovaného modelu

Aby bylo možné provést pevnostní analýzu, je nejprve potřeba vytvořit síť elementů na povrchu vytvořeného dílu.

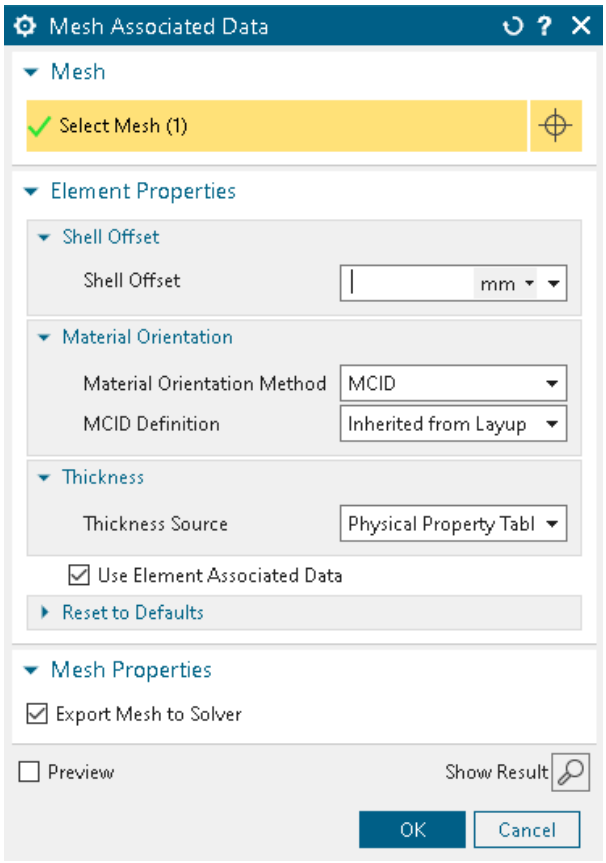
Jako typ elementu byl zvolen CQUAD8, který je nejvhodnější, jelikož samotný tvar elementů obsahuje 8 bodů, díky čemuž se dokáže dokonale přizpůsobit ve tvarově složitějších oblastech. Samotná velikost elementů byla stanovena na 5 milimetrů, což je pouze zaokrouhlená velikost, doporučená programem.



Obrázek 75 – Parametry vytvořené sítě

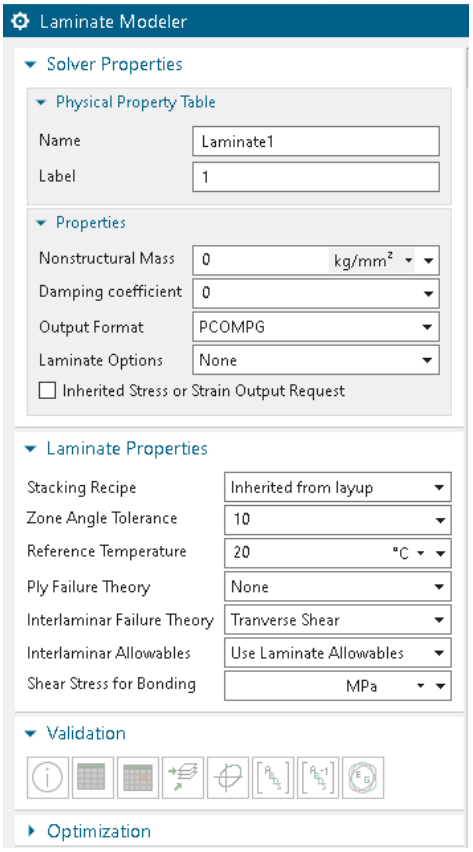
Po vytvoření sítě na testovaném modelu je potřeba provést dodatečné nastavení tak, aby byla vytvořená síť uzpůsobena pro kompozity. Konkrétně se jedná o změnu orientačního

systému na MCID, což je lokální orientační systém, který se řídí orientací zvoleného materiálu. Po nastavení metody MCID byla následně nastavena definice orientace na inherited from layup, díky čemuž se orientace bude řídit směrem kladení jednotlivých vrstev materiálu.



Obrázek 76 – Dodatečné parametry vytvořené sítě

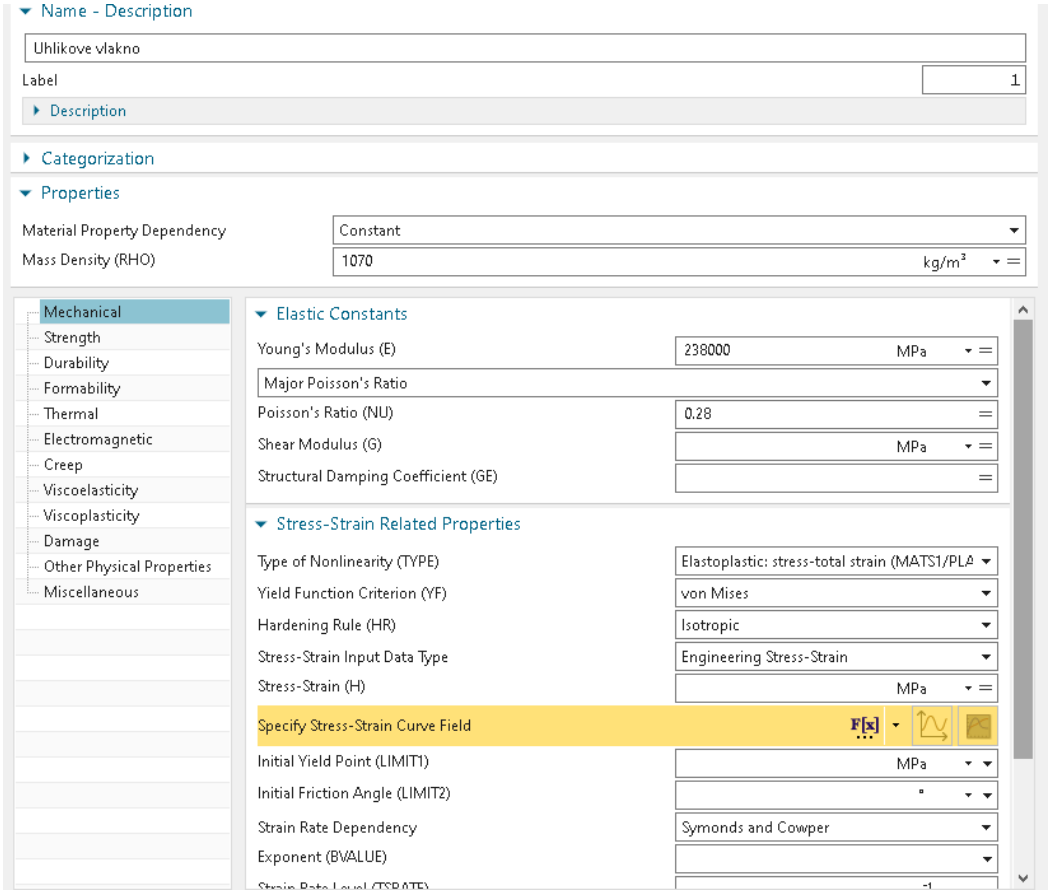
Po úspěšném nastavení vlastností sítě zbývá už jen vytvořit model laminátu, který bude poté přiřazen k vytvořené síti. Jelikož se jedná pouze o základní pevnostní analýzu, ve vlastnostech laminátu bylo opět pouze nastaveno inherited from layup, které je charakteristické pro laminátové struktury.



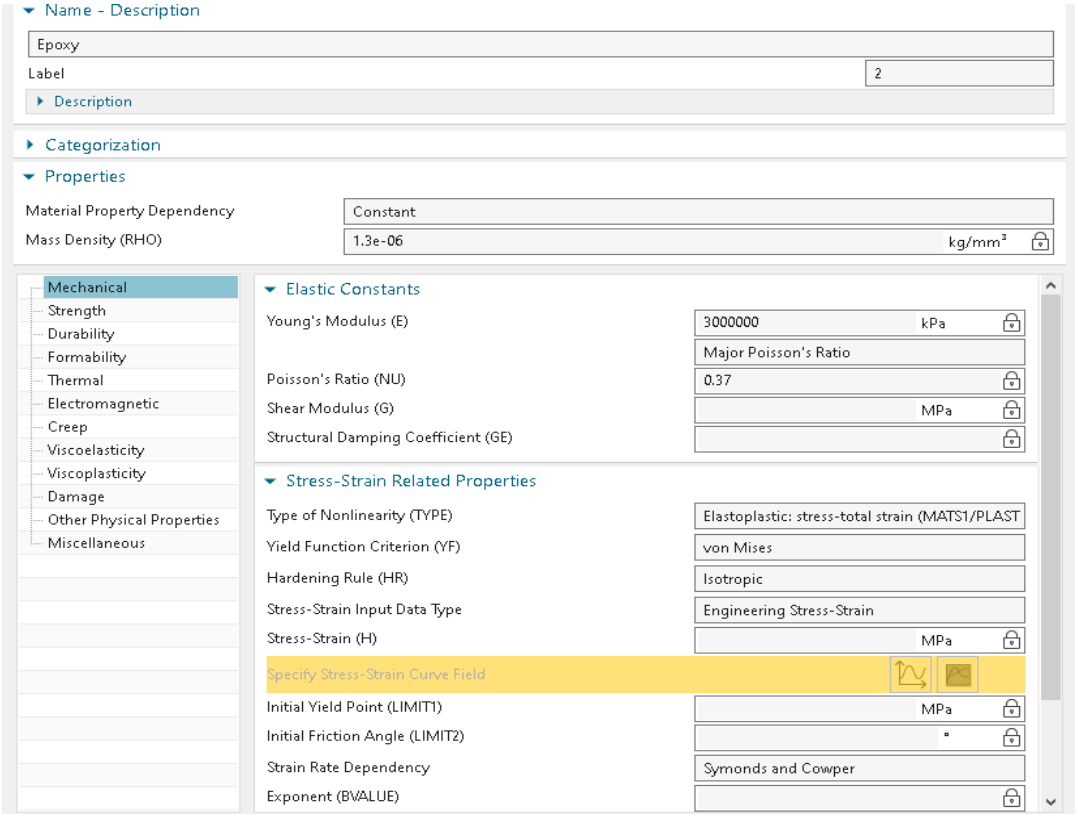
Obrázek 77 – Parametry vytvořeného modelu laminátu

9.3 Volba a nastavení materiálu rámu

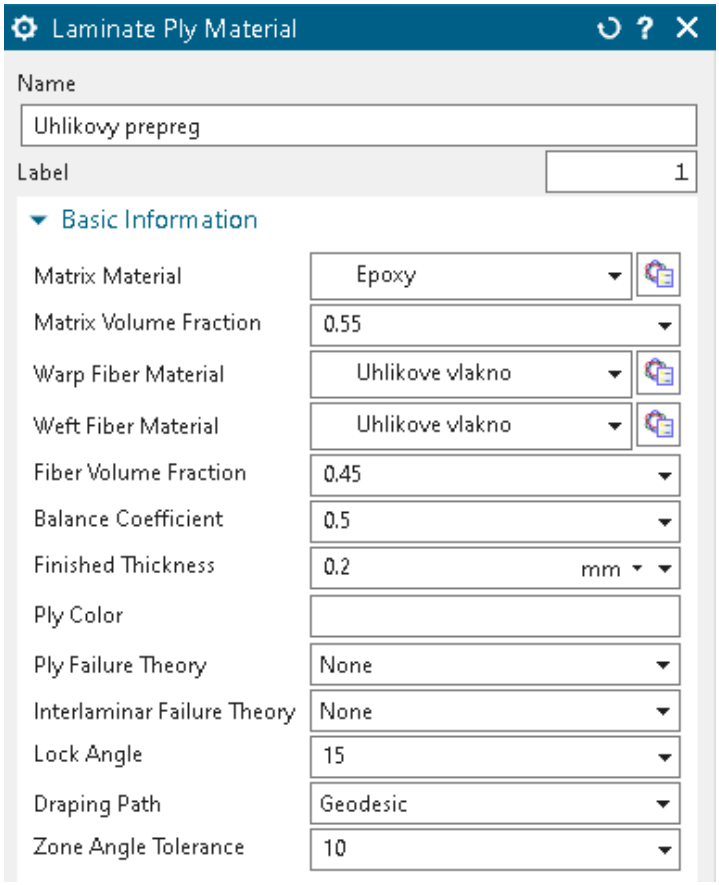
Materiál, ze kterého bude rám vytvořen se bude skládat z uhlíkového vlákna a epoxidové pryskyřice. Tyto dvě složky byly zadány vedoucí práce. Na základě hodnot z materiálových listů byly tyto složky převedeny do elektronické podoby a umístěny v lokální knihovně programu NX. Z těchto složek byl poté v programu vytvořen prepreg, který bude poté kladen na oblasti rámu.



Obrázek 78 – Vlastnosti uhlíkového vlákna



Obrázek 79 – Vlastnosti epoxidové pryskyřice



Obrázek 80 – Parametry vytvořeného prepregu

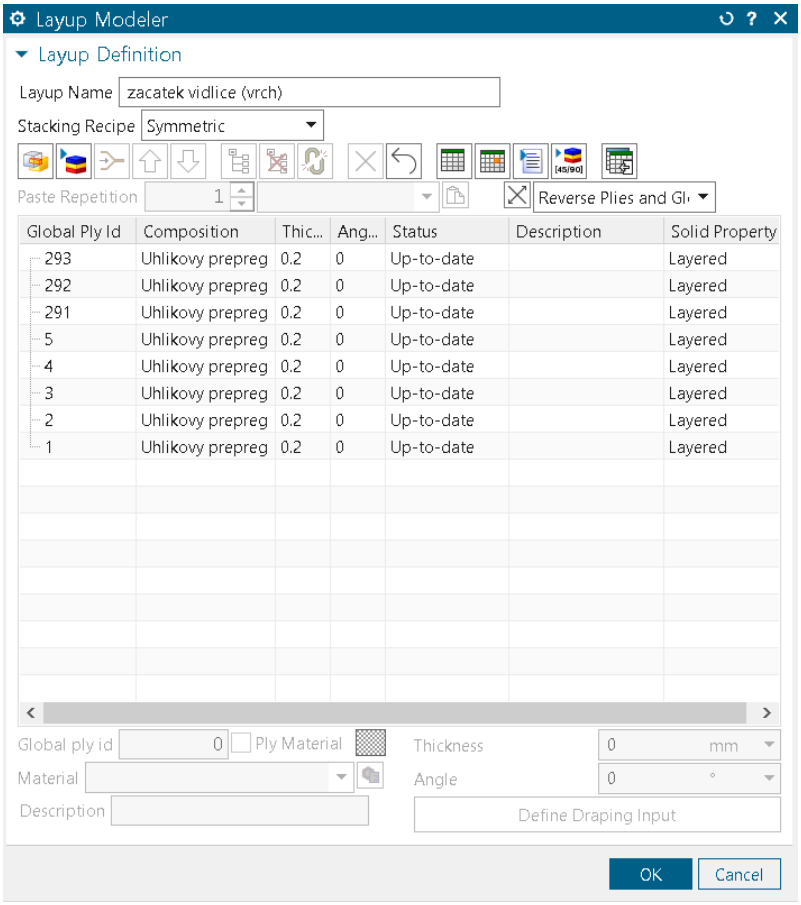
9.4 Vytvoření testovacích subjektů

Aby bylo zjištěno co nejlepší uskupení jednotlivých vrstev a ověření zásad skladby podle společnosti Airbus, byly vytvořeny tři varianty. Tyto varianty budou následně podrobeny FEM analýze, díky které bude odhalena výsledná pevnost rámu. Všechny tři varianty se budou skládat ze 16 vrstev vytvořeného prepregu s tloušťkou 0,2 milimetru. Směr kladení a rozdělení na jednotlivé oblasti bude také ve všech třech případech stejné.

- Stejná orientace vláken v celém rámu.
- Různá orientace vláken, která je postupně měněna po 45 stupních bez dodržení zásad.
- Různá orientace vláken, která je postupně měněna po 45 stupních podle zásad Airbus.

9.4.1 Varianta č. 1 – Orientace vrstev 0 stupňů

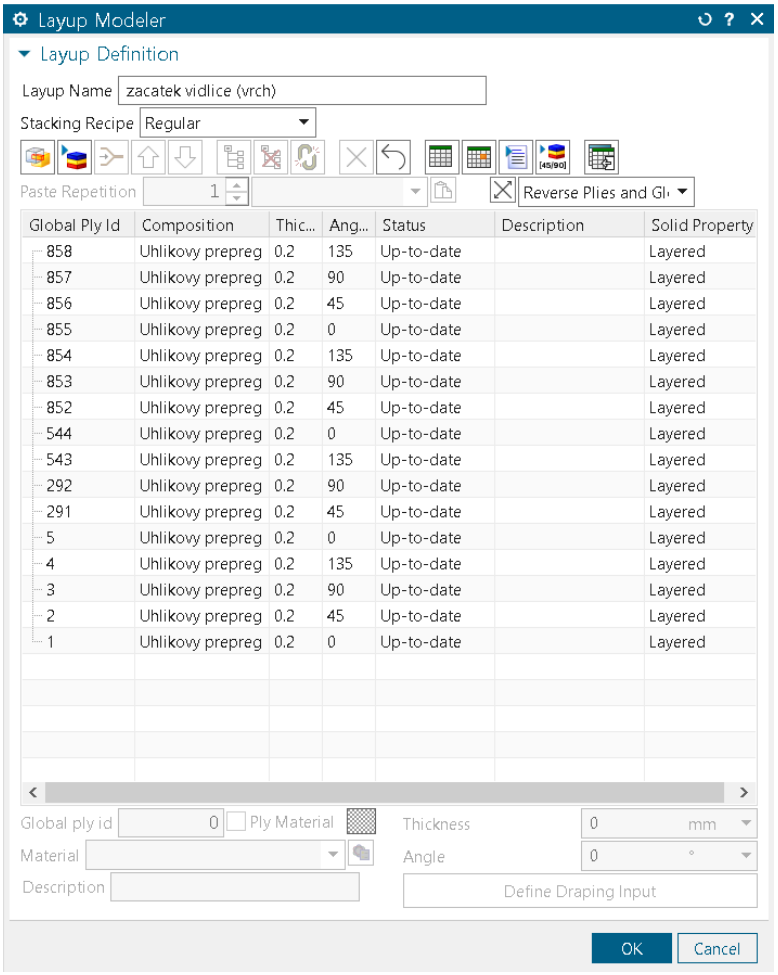
Skladba materiálu ve variantě prototypu č. 1 spočívá ve stejné orientaci 0 stupňů u všech kladených vrstev. Vytvořený rám tak bude zachytávat zatížení pouze v jednom směru. Dá se předpokládat, že tato varianta bude ve srovnání s proměnnou orientací méně odolná. Bude tedy primárně sloužit k porovnání a zjištění změn chování při různých směrech orientace.



Obrázek 81 – Skladba orientace vrstev pro variantu č.1

9.4.2 Varianta č. 2 – Proměnná orientace po 45 stupních bez dodržení zásad

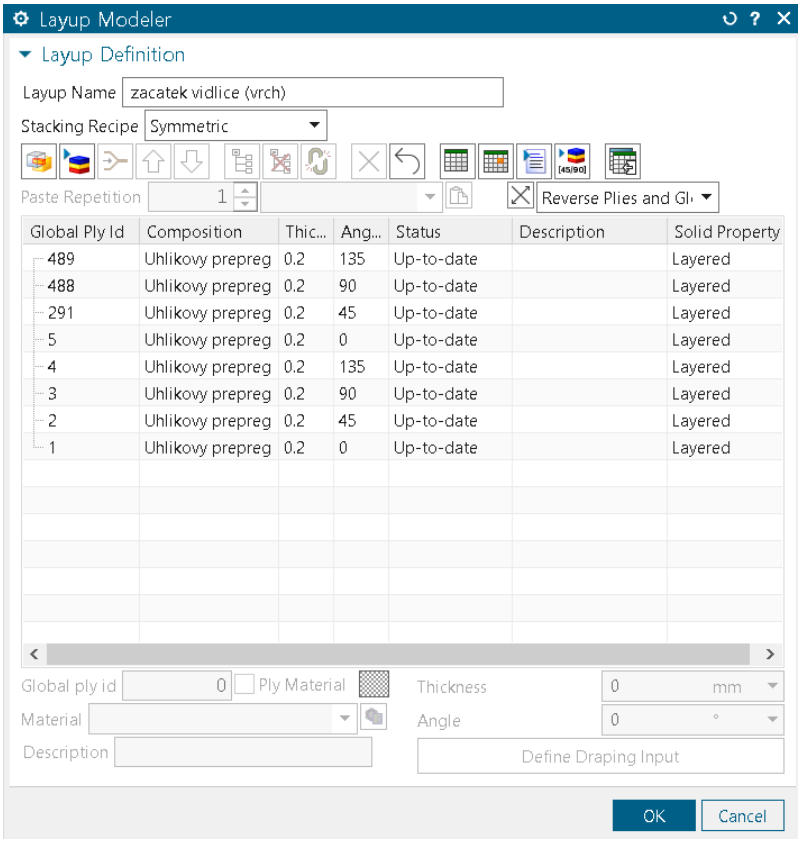
Skladba materiálu ve variantě č. 2 spočívá v proměnné orientaci jednotlivých vrstev. Počáteční orientace vrstvy bude 0 stupňů a poté bude postupně narůstat po 45 stupních s každou další kladenou vrstvou. Krom tohoto pravidla kladení se však tato varianta nedrží jakýchkoliv dalších zásad.



Obrázek 82 – Skladba orientace vrstev pro variantu č.2

9.4.3 Varianta č. 3 – Proměnná orientace po 45 stupních podle zásad Airbus

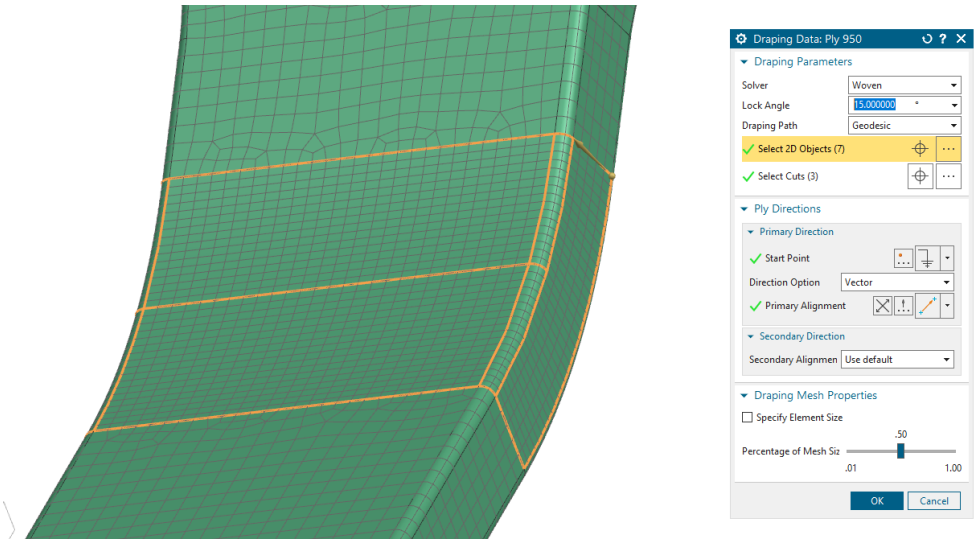
Skladba materiálu ve variantě tři je obdobná, jako u předchozí varianty. Zásadní rozdíl je zde v dodržení zásad, zmíněných v dřívější podkapitole. Je zde dodržených všech sedm pravidel, kterými se řídí společnost Airbus. Úhel orientace rovněž začíná 0 stupni a poté narůstá opět po 45 stupních s každou následující vrstvou. Toto schéma je totožné, jako je ve variantě č. 2 z důvodu zvýraznění rozdílů mezi dodržením a nedodržením zásad podle společnosti Airbus.



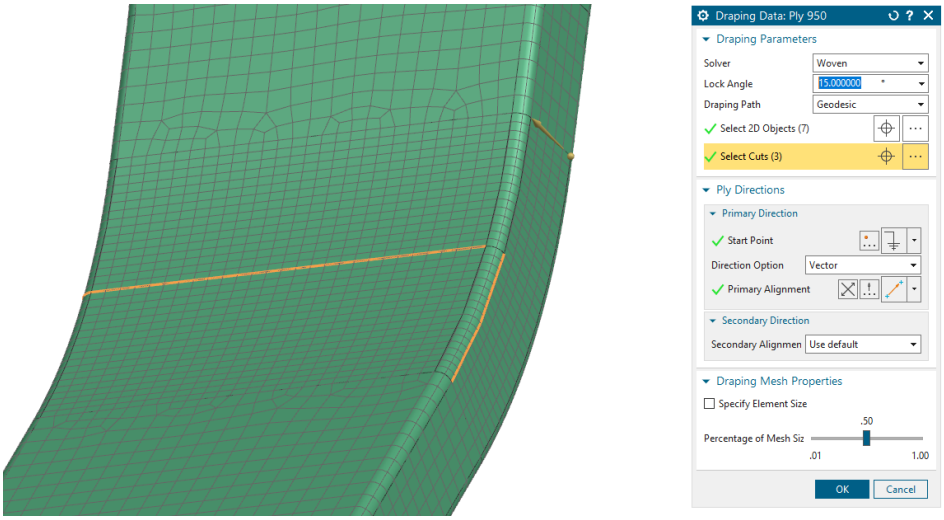
Obrázek 83 – Skladba orientace vrstev pro variantu č.3

9.5 Umístění jednotlivých částí prepregu a volba střihu

Aby bylo možné správně klást materiál, je potřeba rozdělit jednotlivé části rámu na několik oblastí, které představují jeden kus souvislého kladeného prepregu. V oblastech, které jsou pak tvarově složitější je potřeba kladený materiál v některých místech nastřihnout tak, aby bylo dosaženo optimálního přilnutí k dutině formy, do které je kladen.

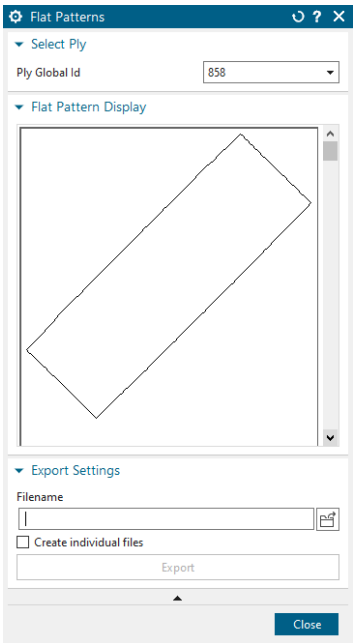


Obrázek 84 – Oblast kladení materiálu



Obrázek 85 – Oblast nástřihu materiálu

Jelikož samotný rám je v některých oblastech tvarově složitější, musel být rozdělen na spoustu menších oblastí. Z toho důvodu je v této práci uveden pouze snímek jedné z mnoha oblastí. Ke stanovení polohy zvolených oblastí a nastavení míst, kde budou provedeny menší nástřihy slouží funkce Drapping. Pomocí této funkce je stanovena oblast kladeného materiálu, místa nástřihu a směr kladení, podle kterého se pak odvíjí orientace vrstvy. Program také disponuje funkcí, která pak vykreslí rozvinutou oblast kladení.

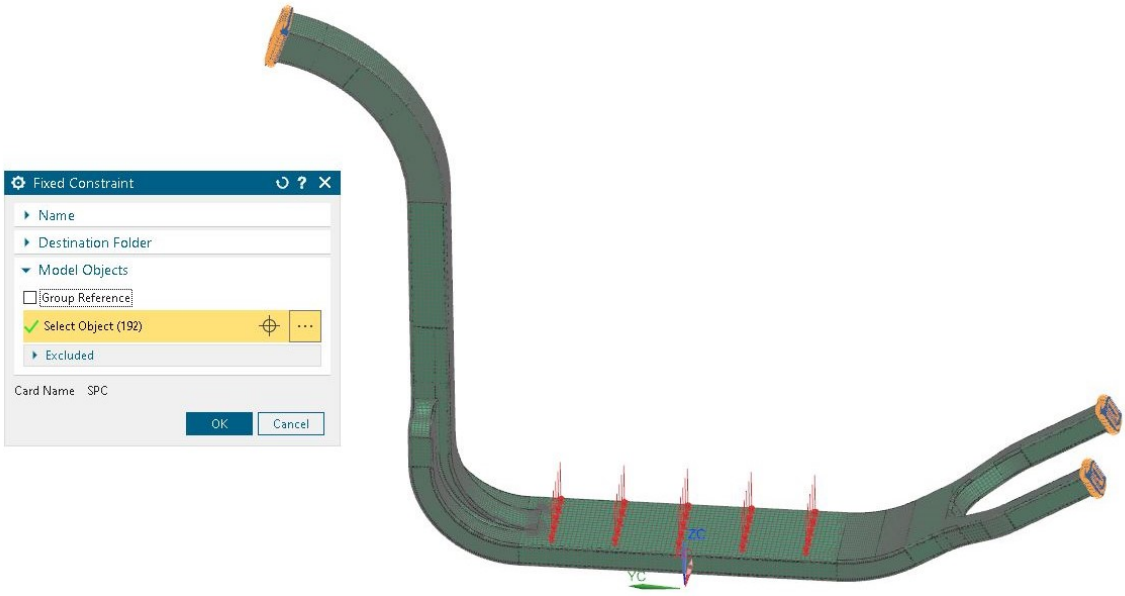


Obrázek 86 – Vykreslení rozvinu materiálu

9.6 Nastavení uložení a zatížení

Po nastavení skladby materiálu u všech tří variant zbývá nastavit uložení a zatížení, které bude dohromady představovat používání sestavené koloběžky.

Samotný rám bude v zadní části pevně zafixován zadním kolem a přední část rámu bude zafixována přední vidlicí a řídítky. Na základě tohoto faktu byly přední i zadní koncové elementy rámu upevněny pomocí funkce Fixed Constrain.



Obrázek 87 – Nastavení uložení rámu

Zatížení, které bude představovat hmotnost jezdce, stojícího na nášlapné desce, bylo stanovené na 100 kilogramů (33,77 kPa). Umístěno bylo na horní plochu nášlapné desky, která svou plochou odpovídá ploše obou chodidel.

Obrázek 88 – Nastavení zatížení rámu

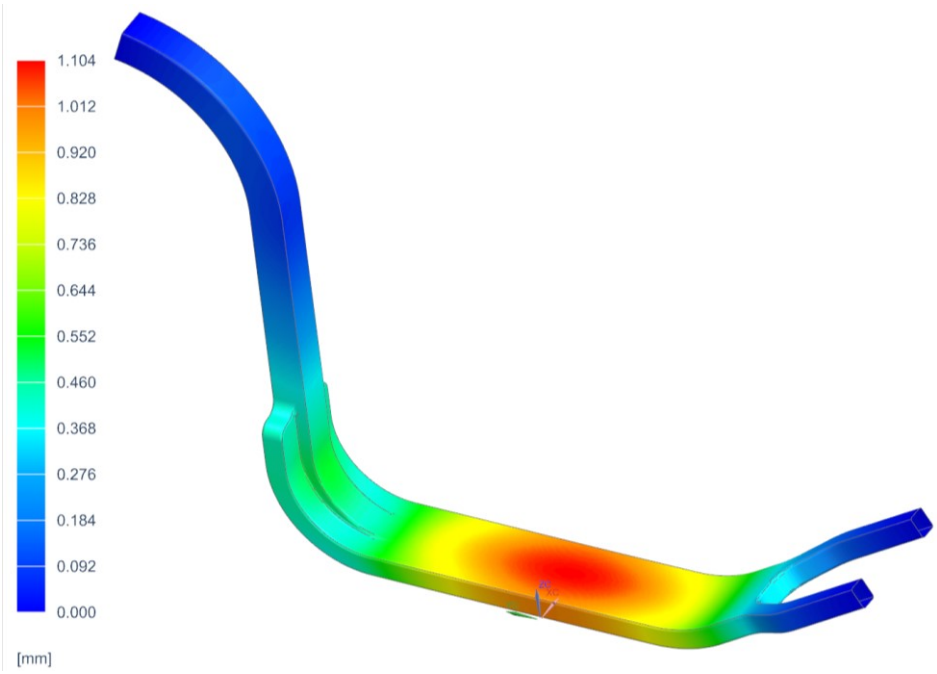
10 VÝSLEDKY ANALÝZY

Po nastavení všech jednotlivých parametrů, potřebných pro spuštění analýzy, byla u tří stanovených variant spuštěna základní analýza, která znázorní posunutí a pootočení jednotlivých elementů po zatížení rámu. V rámci četnosti výsledků a objemu informací v praktické části budou u každé varianty uvedeny pouze velikosti posunutí a rotace u dané varianty.

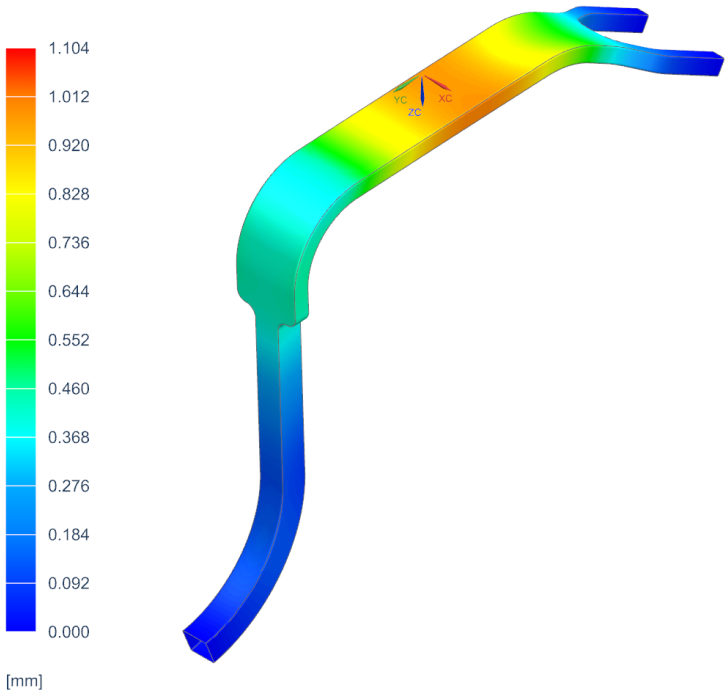
10.1 Výsledky analýzy varianty č. 1 – Stejná orientace 0 stupňů

10.1.1 Velikost posunutí elementů (displacement magnitude)

Na přiloženém snímku lze vidět, velikost posunutí elementů po celé ploše rámu koloběžky, která je odstupňována barevnou škálou. Červená barva znázorňuje největší posunutí elementů, které dosahuje 1,104 milimetru. Tato deformace se vyskytuje přímo v oblasti zatížení a poté se postupně snižuje s rostoucí vzdáleností od ohniska zatížení. Oba konce rámu, které jsou označeny tmavě modrou barvou pak vykazují téměř nulový posun elementů. Tato velikost deformace je způsobena orientací vláken u jednotlivých vrstev, která je ve všech místech stejná.



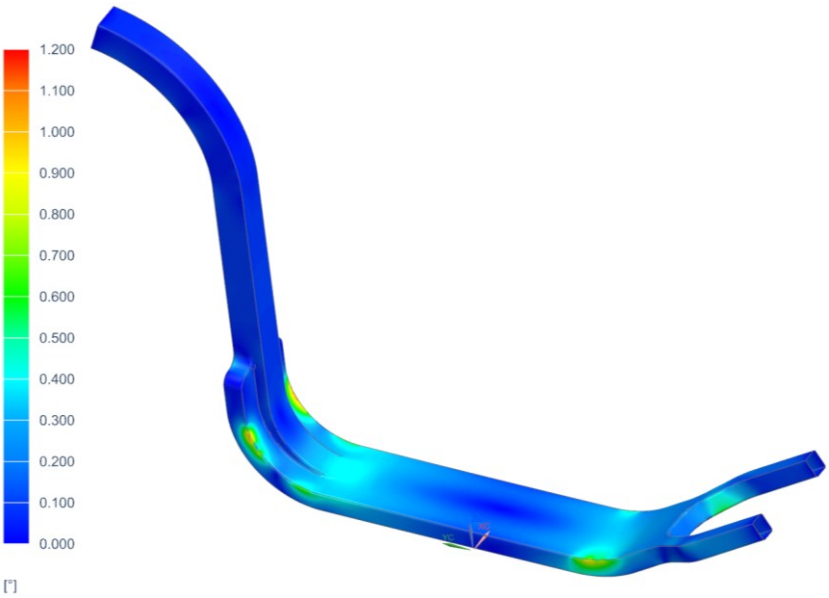
Obrázek 89 – Velikost posunutí elementů u varianty č. 1 (vrchní pohled)



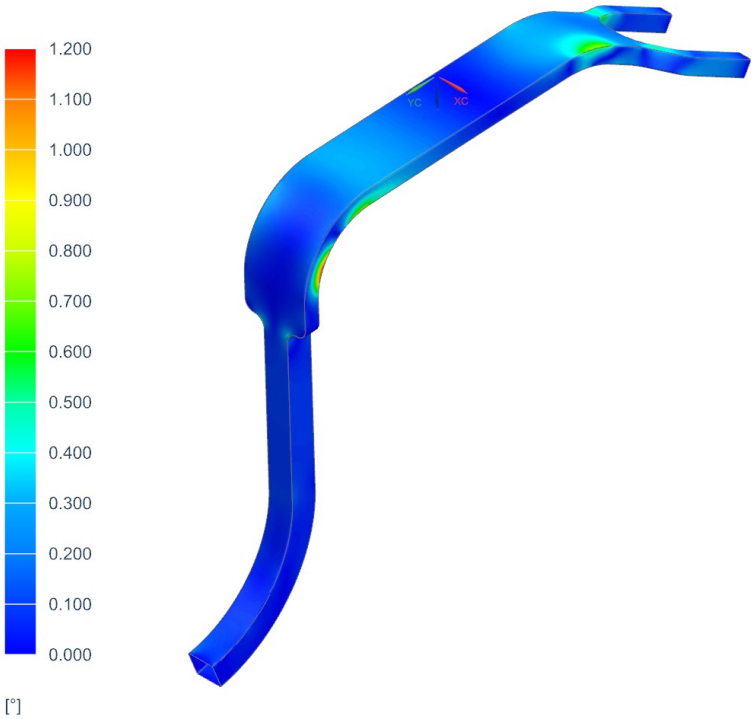
Obrázek 90 - Velikost posunutí elementů u varianty č. 1 (spodní pohled)

10.1.2 Velikost rotace elementů (Rotation magnitude)

Podobně, jako tomu bylo u velikosti posunutí, velikost rotace elementů je rovněž znázorněna barevnou škálou. Červená barva označuje maximální rotaci elementů, která dosahuje 1,2˚. Tato maximální deformace se vyskytuje na obou koncích nášlapné desky v oblastech, u kterých byla předpokládána největší náchylnost k poškození. Důvodem je absence orientace vláken 45˚ a 135˚, která slouží primárně ke zvýšení torzní tuhosti.



Obrázek 91 – Velikost rotace elementů u varianty č. 1 (vrchní pohled)



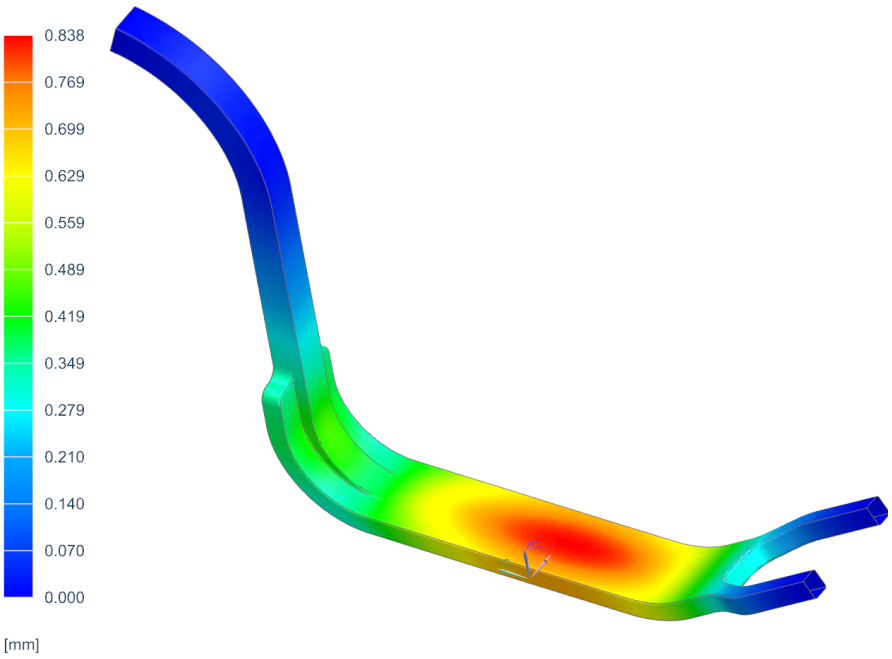
Obrázek 92 - Velikost rotace elementů u varianty č. 1 (spodní pohled)

10.2 Výsledky varianty č. 2 – Proměnná orientace po 45 stupních bez dodržení zásad

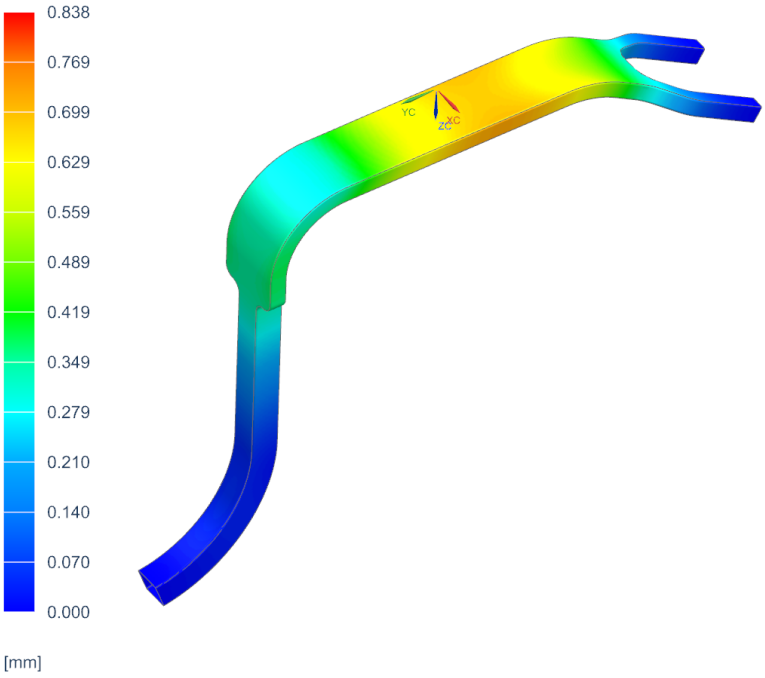
10.2.1 Velikost posunutí elementů (displacement magnitude)

Velikost posunutí elementů u varianty č. 2 je ve srovnání s předchozí variantou znatelně nižší. Různá orientace vláken jednotlivých vrstev způsobila vyšší tuhost a díky tomu klesla

maximální deformace z 1,2 milimetru na 0,838 milimetru. Samotné odstupňování jednotlivých velikostí deformace je velmi podobné předchozí variantě. Ohnisko je opět na nášlapné desce, kde je umístěno zatížení a poté postupně klesá s rostoucí vzdáleností od ohniska.



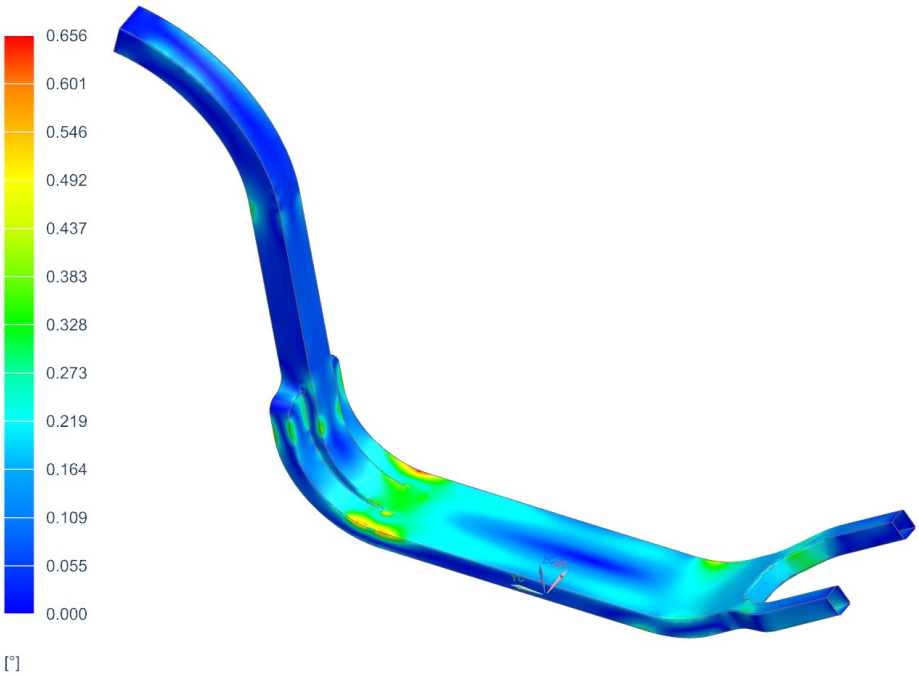
Obrázek 93 - Velikost posunutí elementů u varianty č. 2 (vrchní pohled)



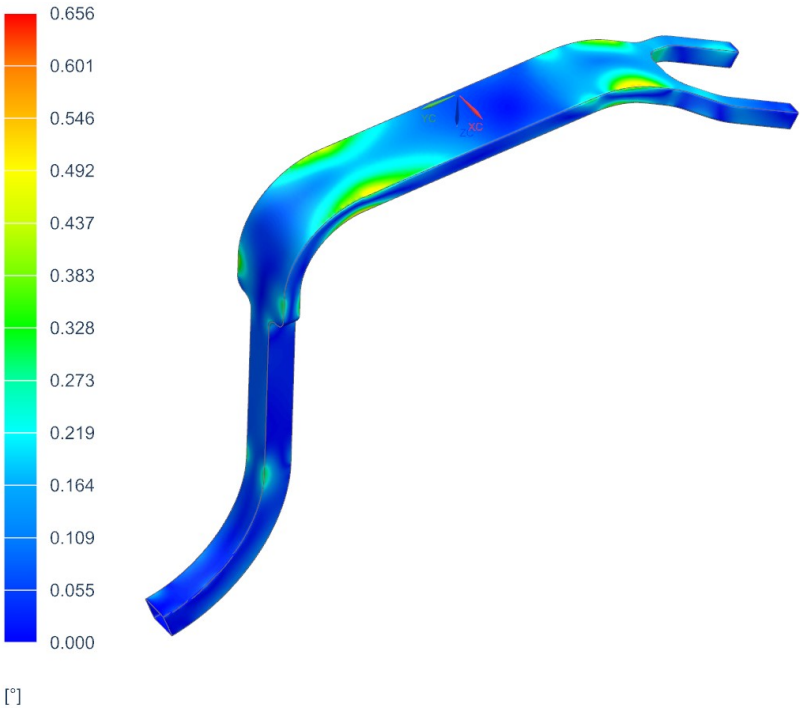
Obrázek 94 - Velikost posunutí elementů u varianty č. 2 (vrchní pohled)

10.2.2 Velikost rotace elementů (Rotation displacement)

Velikost rotace elementů je podobně jako velikost posunutí u varianty č. 2 znatelně nižší. Konkrétně klesla téměř na polovinu. Toto snížení deformace bylo způsobeno přítomností orientace vláken 45˚ a 135˚. Z důvodu zařazení orientace 45˚, 90˚ a 135˚ byl snížen počet vrstev, orientovaných v hlavním směru zatížení. Sice u varianty č. 2 přibyly i další oblasti, ve kterých dochází k rotaci elementů, jejich samotná velikost však dosahuje podstatně nižších hodnot. Velikost rotace elementů i přes tyto poznatky lze vyhodnotit jednoznačně jako lepší ve srovnání s předchozí variantou.



Obrázek 95 - Velikost rotace elementů u varianty č. 2 (vrchní pohled)

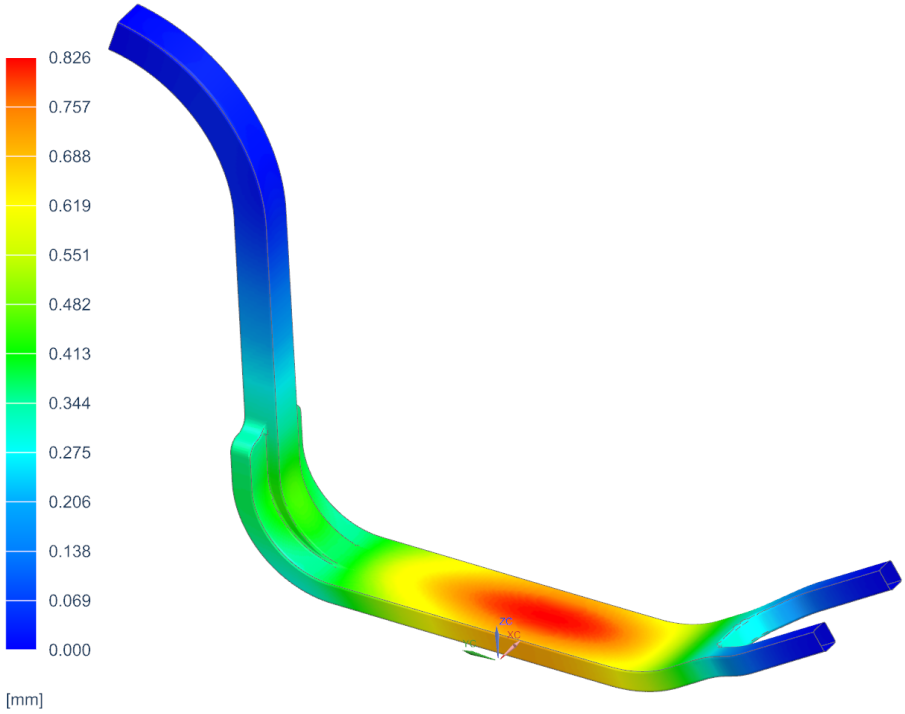


Obrázek 96 - Velikost rotace elementů u varianty č. 2 (spodní pohled)

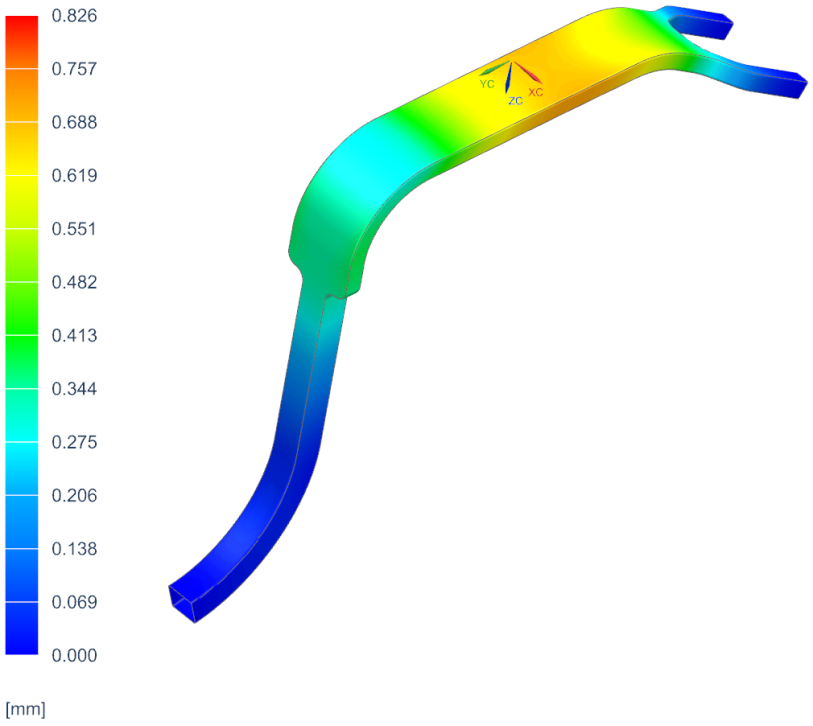
10.3 Výsledky analýzy varianty č. 3- Proměnná orientace po 45 stupních podle zásad Airbus

10.3.1 Velikost posunutí elementů (Displacement magnitude)

Výsledky analýzy třetí varianty vykazují velmi podobné hodnoty ve srovnání s variantou č. 2. V případě velikosti posunutí bylo u varianty č. 3 zjištěno o 0,012 milimetru menší posunutí v oblasti maximální deformace. Tento rozdíl je pravděpodobně zapříčiněn dodržením pravidla symetrie a vnějších vrstev oproti předchozí variantě. Samotné rozložení velikosti jednotlivých posunutí je shodné s rozložením u varianty č. 2. Jelikož hodnota 0,012 milimetru je téměř zanedbatelná, lze výsledky posunutí elementů u varianty č. 2 a 3 považovat za totožné.



Obrázek 97 - *Velikost posunutí elementů u varianty č. 3 (vrchní pohled)*

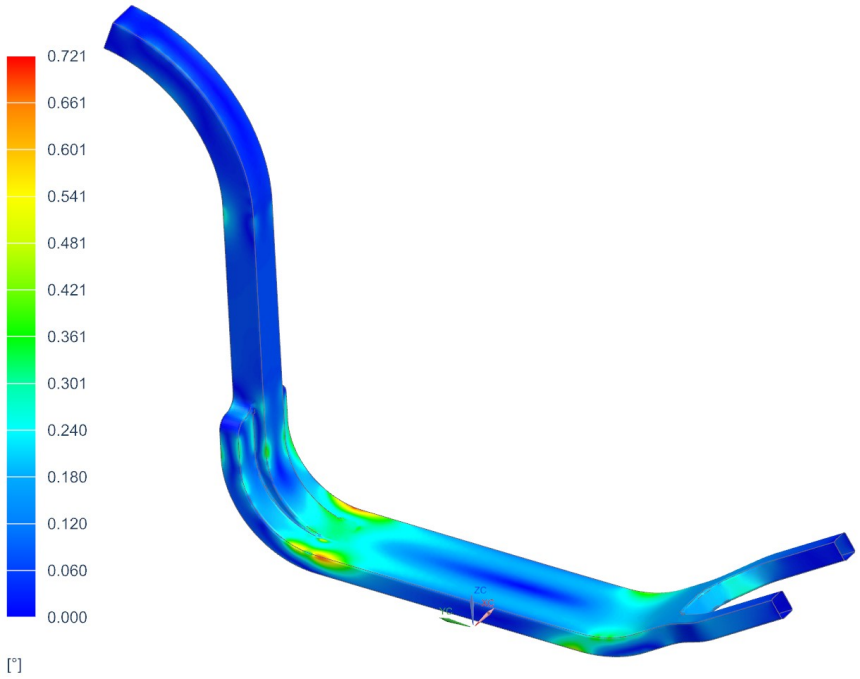


Obrázek 98 - Velikost posunutí elementů u varianty č. 3 (spodní pohled)

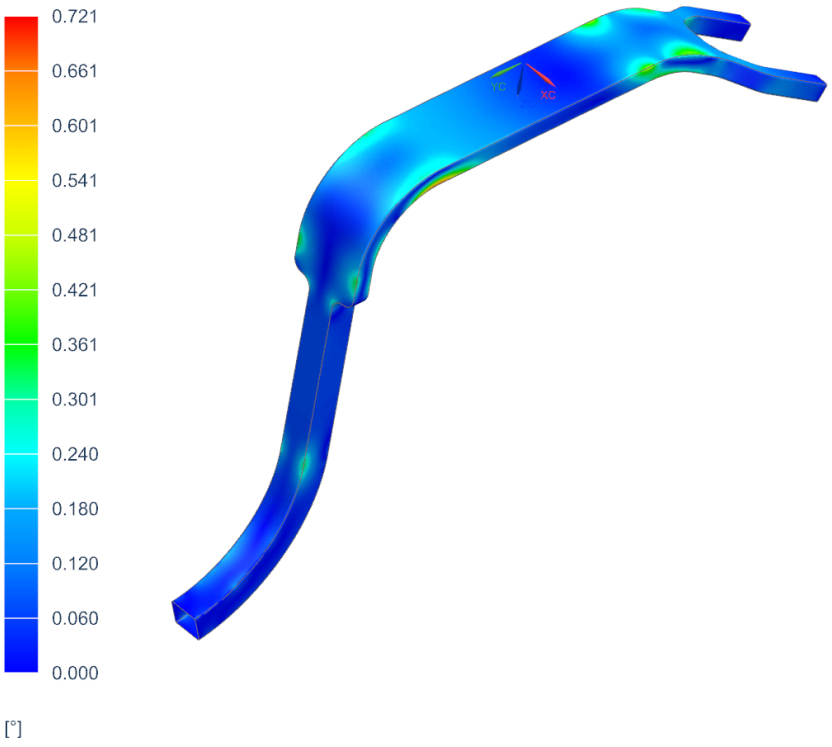
10.3.2 Velikost rotace elementů (Rotation magnitude)

Na rozdíl od výsledku velikosti posunutí elementů, který lze považovat za totožný ve srovnání s variantou č. 2, velikost rotace elementů už vykazuje znatelnější rozdíl. V případě varianty č. 3 vykazují výsledky rotace elementů o 0,065˚ vyšší maximální deformaci.

Důvodem je absence dodržení symetrie a vnějších vrstev, které způsobily jiné uskupení jednotlivých vrstev. Samotné rozložení jednotlivých velikostí rotace elementů po celém rámu je téměř shodné s rozložením u varianty č. 2.



Obrázek 99 - Velikost rotace elementů u varianty č. 3 (vrchní pohled)



Obrázek 100 - Velikost rotace elementů u varianty č. 3 (spodní pohled)

10.4 Zhodnocení výsledků analýzy

Po zhodnocení jednotlivých výsledků všech tří prototypů lze jednoznačně konstatovat, že varianta číslo jedna, která je složena z vrstev stejné 0˚ orientace vláken je podstatně méně odolná vůči mechanickému namáhání. Důvodem je zachycení namáhání pouze v jednom směru díky stejné orientaci vláken ve všech hladinách. Tato varianta primárně sloužila jako takový nulový bod při zkoumání vlivu orientace vláken na mechanickou pevnost.

Mezi variantou č. 2 a 3 už tak zásadní rozdíl ve výsledcích není. Obě varianty jsou složeny z jednotlivých vrstev různé orientace vláken, nicméně se liší v dodržení zásad kladení vrstev podle společnosti Airbus. Při bližším porovnání jednotlivých výsledků posunutí a rotace elementů vykazuje varianta č. 2 (různá orientace vláken bez dodržení zásad) o 0,012 milimetru vetší velikost posunutí elementů při porovnání s variantou č. 3 (různá orientace vláken s dodržením zásad). Zásadnější rozdíl byl však vypozorován u rotace elementů rámu. V tomto případě vykazuje varianta č. 2 o 0,065 stupně nižší velikost rotace.

Na základě vypozorování těchto rozdílů pak lze vyhodnotit variantu č. 2, jako nejvhodnější uskupení jednotlivých vrstev kompozitního materiálu. Jelikož se jedná o variantu, u které nebyly dodrženy zásady kladení jednotlivých vrstev, lze konstatovat, že návod pro kladení vrstev kompozitu od společnosti Airbus bude mít uplatnění spíše pro složitější součásti, které budou podléhat náročnějšímu zatížení.

11 VÝROBNÍ POSTUP A KALKULACE CENY RÁMU

Po splnění všech předchozích bodů a ověření mechanických vlastností navrženého rámu byl vytvořen technologický postup výroby tří částí rámu a tyto úkony byly zahrnuty ve výsledné kalkulaci ceny výroby prototypu rámu.

11.1 Technologický postup

Tabulka 10 – Technologický postup výroby kompozitního rámu

Rámcový technologický postup		
Název součásti	Část rámu 1-3	
Dne	08.05.2022	
Hmotnost	1,065 kg	
Vyhotovil	Antonín Lankaš	
číslo operace	**Popis práce**	**Nástroje, pomůcky, měřidla**
1	Separace a příprava formy	Rukavice, separační fólie
2	Řezání přepregů	Kotoučové nůžky, zalamovací nůž
3	Příprava pomocných materiálů	Vakuovací fólie, těsnící páska, separační fólie
4	Kladení 1. vrstvy prepregu	Přítlačný váleček, speciální přípravky
5	Debulking	Aplikace vakua
6	Kladení 2.-16. vrstvy prepregu	Přítlačný váleček, speciální přípravky
7	Vakuování	Těsnící páska, separační fólie, odsávací rohož
8	Vytvrzení výrobku v autoklávu	Vakuovací hadice
9	Odformování	Stlačený vzduch, speciální přípravky
10	Ořez výrobku	Pneumatické nářadí, ořezávací robot, kotoučová pila
11	Leštění výrobku	Leštící pasty, vana, textilie
12	Lakování výrobku	Lakovací pistol, vytvrzovací pec

Přiložený technologický postup obsahuje seznam základních operací, které obnáší výroba jednoho celého kompozitního rámu. U každé operace jsou uvedeny i pomůcky, nástroje a měřidla, která bude potřeba na daný úkon.

11.2 kalkulace ceny rámu

Tabulka 11 – Kalkulace ceny výroby kompozitního rámu

1.	**Přímé materiálové náklady:**				
		MJ	**Cena [Kč/MJ]**	**Spotreba**	**Cena [Kč]**
1.1	Prepreg uhlíkový IMP 503Z/GG T, 204 g/m2, kepr 2/2, 46%, 5x	m2	585	4,45	2603,02
1.2	Vakuovací fólie TBL 170 TUBE - rukáv, šíře 90 cm, tloušťka 75µ, 2x	bm	43,5	1,4	60,9
1.3	Separační fólie PP40 - P1, šíře 160 cm, tloušťka 40µ	m2	37,25	0,2	7,45
1.4	Odsávací rohož POLY-FLEX TF20, 200 g/m2, PES, šíře 100 cm	m2	28,75	0,7	20,13
1.5	Plastická těsnicí páska LSM5200 – 12 x 2,5 mm	m	9,7	1,5	14,55
1.6	Jednorázové rukavice	ks	4	4	16
1.7	Separátor FREKOTE 700-NC	l	784	0,01	7,84
	1. Mezi součet				**2729,88**
2.	**Mzdové náklady:**				
	Výrobní operace:	**MJ**	**Čas [min]**	**Mzdový tarif**	**Cena [Kč]**
2.1	Separace a příprava formy	min	9	150	22,5
2.2	Řezání prepregu	min	26	150	65
2.3	Príprava pomocních materiálů	min	8	150	20
2.4	Kladení prepregu_1. vrstva	min	30	150	75
2.5	Debulking	min	15	150	37,5
2.6	Kladení prepregu_2.až 16.vrstva	min	300	150	750
2.7	Vakuování	min	15	150	37,5
2.8	Vytvrzení výrobku v autoklávu	min	360	150	900
2.9	Odformování	min	14	150	35
2.10	Ořez výroku	min	36	150	90
2.11	Leštění výrobku	min	180	150	450
	SPOLU Přímé mzdové náklady (PMN)		**993**		**2482,5**
2.12	Odvody	% z PMN	32		**794,4**
	2. Mezi součet				**3276,9**
3.	**Kooperace a ostatní náklady**	**MJ**	**Cena [Kč/MJ]**		**Cena [Kč]**
3.1	Lakování	Kč/m2	1800		500,58
3.2	Náklady na údržbu formy	Kč/m2	1200		333,72
	3. Mezi součet				**834,3**
4.	**Režie**	**MJ**	**Režijní sadzba**		**Cena [Kč]**
4.1	Výrobní čas x režijní sadzba 600 kč	Kč/1 Nhod	600		9930
	4. Mezi součet				**9930**
	Výrobní náklady			**Kč**	**16771,08**

Výše uvedená kalkulace ceny výroby rámu obsahuje seznam jednotlivých úkonů od prvotní přípravy materiálu po dokončovací operace vytvořeného rámu. Tato kalkulace slouží pouze pro představu o ceně výroby, proto jsou zde zahrnuty všechny tři části rámu v jednom. Výsledná předpokládaná cena výroby rámu je 16 771 Kč. Tato částka nezahrnuje cenu samostatných forem. Aby bylo možné zahrnout do kalkulace i cenu forem, je potřeba stanovit počet vyrobených kusů na základě kterého by pak částka byla rozdělena. Předpokládaná cena výroby forem z materiálu Necuron 690 je kolem 60 000 Kč za všechny tři formy. Pokud by bylo například vyrobeno z jedné formy 10 kusů rámu, ke každému z nich by pak bylo přičteno 6000 Kč a náklady na výrobu jednoho rámu by pak byly 22 771 Kč.

11.3 Kalkulace komponentů

Tabulka 12 – Kalkulace komponentů

č. komponentu	Typ komponentu	Název komponentu	Cena komponentu
1	Kola	2x 20" Top discs 406	6032
2	Vidlice	SR Suntour XCM JR Air 20"	3590
3	Brzdy	Shimano BR-MT200	1499
4	Kotouče	Shimano SM-RT26	370
5	Řídítka	Gusser MXR Cruiser bars BMX	1890
6	Představec	BMX - Max1	299
7	Hlavové složení	Semi-integrované Force Fe 1	195
8	Gripy	Force gripy gumové černé	76
Celková cena komponentů včetně dph			13951

Výše uvedená tabulka obsahuje kalkulaci veškerých komponentů pro navrženou koloběžku. Cena jsou aktuální k měsíci květnu 2022. Po přičtení výsledné částky ke kalkulaci nákladů na výrobu činí cena koloběžky 36 772 Kč. Včetně DPH. K této částce bude následně přičtena částka za vyrobení forem na základě stanovení maximálního počtu vyrobitelných rámu z jedné formy.

ZÁVĚR

V první kapitole praktické části diplomové práce byly stanoveny základní parametry navržené koloběžky, na základě kterých, byly zvoleny konkrétní komponenty. Tyto komponenty jsou rozebrány v jednotlivých podkapitolách včetně odůvodnění jejich volby.

V následující kapitole je pak představen vývoj samotného rámu na základě zvolených komponentů. Bylo vybráno pět prototypů, které znázorňují postupný vývoj velikosti a tvaru navrhovaného rámu. Po představení finálního prototypu jsou ještě představeny doplňkové komponenty, které slouží k ustavení zadního kola a přední vidlice.

Po vytvoření finálního prototypu byl rám rozdělen na tři části, pro které byly pak následně navrženy formy, ve kterých budou součásti vytvořeny. V závěru kapitoly je pak znázorněn způsob spojení jednotlivých součástí do jednoho celku.

Po navržení forem byl samotný rám podroben základní pevnostní FEM analýze v programu NX, na základě které, byl stanoven počet vrstev, struktura jejich uskupení a rozdělení povrchu rámu na menší oblasti, které představují nastříhané části prepregu. Byly vytvořeny tři varianty vrstvení prepregů. První varianta byla složena ze 16 vrstev stejné orientace, které zachytnou zatížení pouze v jednom směru. Druhá a třetí varianta byla sestavena ze 16 vrstev různé orientace. Rozdíl mezi nimi je pouze v dodržení zásad kladení materiálu do formy podle doporučení společnosti Airbus. Po úspěšném vypočítání analýzy byly výsledky vyhodnoceny. Výsledky jsou rozděleny na dvě části. Velikost posunutí elementů a rotace elementů. Tyto výsledky vyobrazují oblasti, ve kterých dojde k určitému posunutí nebo rotaci elementů daným směrem. Na základě výsledků byla vyhodnocena varianta č. 2 jako nejvíce vyhovující i přes fakt, že zde nebyly dodrženy všechny zásady kladení materiálu. Definitivní volba varianty bude stanovena až po vyrobení a otestování reálných kompozitních prototypů.

V poslední kapitole je znázorněn technologický postup a ekonomické zhodnocení, které ukazuje předpokládanou cenu výroby jednoho rámu a cenu zvolených komponentů. K této částce pak musí být ještě připočtena částka za výrobu forem, která bude stanovena podle počtu kusů, které bude možné vyrobit z jedné formy.

Vzhledem k nepříznivým situacím nebylo možné realizovat výrobu rámu do požadovaného termínu, nebylo možné zatím stanovit potřebné mechanické zkoušky pro otestování vyrobeného rámu. Výroba bude realizována pomocí technologie lisování v autoklávu na základě navržených forem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] BAREŠ, Richard. *Kompozitní materiály*. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988. ISBN 04-734-88.

[2] DAĎOUREK, Karel. *Kompozitní materiály - druhy a jejich užití*. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-279-1.

[3] MUSILOVÁ, Ester. HYDRAULICKÉ PARAMETRY ZVODNĚNÝCH SYSTÉMŮ. *In*: Slideplayer [online]. Praha: slideplayer, 2015 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://slideplayer.cz/slide/3210412/

[4] KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. *Úvod do studia materiálů*. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-708-0568-4.

[5] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.

[6] CHAWLA, Krishan Kumar. *Composite materials: science and engineering*. 3rd ed. New York: Springer Science+Business Media, 2012. Materials research and engineering (Unnumbered). ISBN 978-0-387-74365-3.

[7] BIRON, Michel. *Thermoplastics and thermoplastic composites: technical information for plastics users*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2013. Plastics design library (Elsevier). ISBN 978-1-4557-7898-0.

[8] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. ISBN 80-214-2443-5.

[9] ZHANG, Lei. The Application of Composite Fiber Materials in Sports Equipment. *Advances in Economics, Business and Management Research: Proceedings of the 2015 International Conference on Education, Management, Information and Medicine*. 2015, **2015**(2015), -. ISSN 978-94-62520-68-4. Dostupné z: doi:10.2991/emim-15.2015.88

[10] BOŽŇÁK, Pavel. CO TVOŘÍ LYŽI ANEB TUHOST, FLEXE, HMOTNOST A MATERIÁLY. *In: Snow: Portál pro* sjezdové lyžování [online]. Praha 3: Snow media, 2015 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: https://snow.cz/clanek/3654-co-tvori-lyzi-aneb-tuhost-flexe-hmotnost-a-materialy

[11] SALOMON - *DRIVE X-DRIVE!* [online]. Praha 3: SNOW media, 2014 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: https://snow.cz/clanek/3040-salomon-drive-x-drive

[12] CUPPONE, David. *The influence of materials' choice in ski construction on subjective evaluation*. Torino, 2020. Magisterská práce. POLITECNICO DI TORINO. Vedoucí práce Prof.ssa Ada Ferri, Prof. Thomas Stöggl.

[13] ŠTUMBAUER, CSC., Doc. PaedDr. Jan. Materiálové vybavení pro carvingové lyžování. *In*: Banda [online]. Praha: Svaz lyžařů české republiky, 2004 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: http://www.banda.cz/webs/s/snowblade-academy/usr_files/file/metodicky-dopis-lyzovani.pdf

[14] Konstrukce *lyží* [online]. Zdice: Ski centrum Petr Švarc, 2020 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: https://www.skisvarc.cz/fotogalerie/konstrukce/

[15] CHMELÍK, PH.D., Mgr. František a Mgr. Jana KREISELOVÁ. Cyklistika. *In*: Publi [online]. Brno: Code Creator, s. r. o., 2014 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: https://publi.cz/books/174/09.html

[16] Carbon *fiber: Closed mold using bag, foam core, sacrificial core, or polymer mandrel molding* [online]. Tchajwan: Velocite bikes, 2015 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: https://www.velocite-bikes.com/?page_id=17

[17] BLACK *MAGIC: HOW CARBON FIBRE BICYCLE FRAMES ARE MADE* [online]. Hopkinton: Cycling tips, 2018 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: https://cyclingtips.com/2018/01/how-carbon-fibre-bicycle-frames-are-made/

[18] FESTKA *BICYCLES PŘEDSTAVUJE PROJEKT 200* [online]. Praha 6: MTBS, 2012 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: https://mtbs.cz/clanek/festka-bicycles-predstavuje-projekt-200/kategorie/tech-news/rubrika/bike-technika?page=0#.YiHtZ3rMJD8

[19] Monoklová *konstrukce: PINARELLO DOGMA F10* [online]. Praha: Endorphin republic, 2022 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: https://www.endorphinrepublic.cz/p/silnicni-kolo-pinarello-dogma-f10/pn0001/0001?size=054&gclid=CjwKCAiAjoeRBhAJEiwAYY3nDGjBR4r_6EoYkw49ntlau3xIPJ_WNCkeYKfkV3qunJLANLa9sB8MJBoCPxkQAvD_BwE

[20] HULFISH, Garrett. New hybrid composite bike frames shed weight without shattering on impact. *In:* Digital trends [online]. New York: Digital Trends Media Group, 2017 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: https://www.digitaltrends.com/health-fitness/rein4ced-hybrid-bike-frames/

[21] Jedinečné, rostoucí a skládací kolo Sharvan z dílny společností 1. prešovská nástrojárna, s.r.o. a LPH a.s. *In:* Plastic portal [online]. Nitra: ICOSA s.r.o., 2022 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: https://www.plasticportal.cz/cs/jedinecne-rostouci-a-skladaci-kolo-sharvan-z-dilny-spolecnosti-1-presovska-nastrojarna-sro-a-lph-as/c/7850/

[22] FUSS, F. K. *Routledge handbook of sports technology and engineering* [online]. 1. New York: Routledge, 2014 [cit. 2022-03-05]. ISBN 978-020-3851-036. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=kRMKAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT404&dq=composite+hockey+stick&ots=fPZw6eydnA&sig=kD0XDLOq8Qa_AfG_gSoZ03HuH5U&redir_esc=y#v=onepage&q=composite%20hockey%20stick&f=false

[23] KAYS, Brendan a Lloyd SMITH. Field Measurements of Ice Hockey Stick Performance and Player Motion. *Procedia Engineering* [online]. 2014, **2014**(72), 563-568 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.06.071

[24] HUNT, Linda a Isaac GARCIA. Implementation of a vibration absorber for composite hockey goalie sticks. *Procedia Engineering* [online]. 2012, **2012**(34), 349-354 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.060

[25] Brankářská *hokejka Warrior Swagger Black SR* [online]. Hradec Králové: Hejduk sport, 2022 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: https://www.hejduksport.cz/cs/penove-a-drevene/90359-brankarska-hokejka-warrior-swagger-black-sr-618983889644.html?sid=2948&gclid=CjwKCAiAsYyRBhACEiwAkJFKoqX-bNTWBW8YLnGqcMzW2mRbKxv4M7sL30nOqlkKv2N-w1K0h7NlVhoCjv8QAvD_BwE#product-description

[26] Hokejka *Bauer Vapor Hyperlite SR* [online]. Praha: Sport obchod, 2022 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: https://www.sportobchod.cz/hokejka-bauer-vapor-hyperlite-sr/d119763

[27] SUTTON, Andrew D. a James A. SHERWOOD. Using vibrational analysis to investigate the batted-ball performance of baseball bats. *Procedia Engineering* [online]. 2010, **2010**(2), 2687-2692 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.052

[28] BROE, Matthew, James SHERWOOD a Patrick DRANE. Experimental study of the evolution of composite baseball bat performance. *Procedia Engineering* [online]. 2010, **2010**(2), 2653-2658 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.047

[29] Dřevěná *kompozitová baseballová pálka Baum Bat AAA Pro Composite Ash.* [online]. Praha: School sport, 2022 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: https://schoolsport.cz/produkty-baum-bat-aaa-pro-composite-ash-3-detail-6561

[30] PILÁT, Dan a Jitka SLAVÍČKOVÁ. Koloběžka - sto let historie. *In*: Yedoo [online]. Praha 5: Yedoo, 2017 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: https://www.yedoo.eu/cs/clanek/kolobezka-sto-let-historie-64H4NY

[31] Jak *a jakou vybrat koloběžku?* [online]. Brno: Procontent s. r. o., 2022 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: https://www.spotrebitelov.cz/clanky/jak-a-jakou-vybrat-kolobezku/

[32] Koloběžka *WORKER Plofi se svítícími kolečky* [online]. Praha: Insportline, 2022 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: https://www.insportline.cz/18050/kolobezka-worker-plofi-se-sviticimi-kolecky?gclid=Cj0KCQiAmpyRBhC-ARIsABs2EAoeWPgHhDhRZgQTntYRP8dH-dKSgSRWvlal1X9nDHKh0SZRNf6m9K0aAnGsEALw_wcB

[33] Koloběžka *Kostka tour fun G5* [online]. Hradec Králové: Kostka, 2022 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: https://www.kostkakolobezky.cz/tour/919-kolobezka-kostka-tour-fun-g5.html?gclid=Cj0KCQiAmpyRBhC-ARIsABs2EAru_tUSgT-KPlOPidW3eWiuyPD3OTZSuztPN89WJh5m1vL-tcX1Qj4aAj03EALw_wcB

[34] Freestyle *koloběžka inSPORTline Osprey* [online]. Praha: Insportline, 2022 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: https://www.insportline.cz/43516/freestyle-kolobezka-insportline-osprey?gclid=Cj0KCQiAmpyRBhC-ARIsABs2EAqEvHrZdBhvJie0qAiLgZtGL4K5yFFCVgfP0X2kj4qpfk7sHpgtA_saAlBxEALw_wcB

[35] Longway *Chimera Dirt koloběžka* [online]. Dánsko: Skate pro, 2022 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: https://www.skatepro.cz/90-39747.htm?stockcode=109011&gclid=Cj0KCQiAmpyRBhC-ARIsABs2EApgmivkwJy_iNsg4pajbmdtqfdA4VCKy43tV1GyKkmvYBAlb-zOsBUaAmfhEALw_wcB

[36] Elektrická *koloběžka W-TEC Tenmark 500W 10"* [online]. Praha: Insportline, 2022 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: https://www.insportline.cz/50286/elektricka-kolobezka-w-tec-tenmark-500w-10?gclid=Cj0KCQiAmpyRBhC-ARIsABs2EAoWqwQMrexGByf3SWgT0qQFBTi8xQwUBbby-T7Q1jU97Fun5yoGo5oaAv_EEALw_wcB#131564

[37] Skládací *koloběžka inSPORTline Rundeer II 16/12"* [online]. Praha: Insportline, 2022 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: https://www.insportline.cz/46544/skladaci-kolobezka-insportline-rundeer-ii-16-12?gclid=Cj0KCQiAmpyRBhC-ARIsABs2EAq217uKrXfzVa8kjb-gGb7I9YT39k1l-SloNZOGujXXRQtrWdg-DcsaAigrEALw_wcB

[38] VLÁŠEK, Honza. Nebojte se karbonu, aneb vývoj (ne)zastavíš. *In:* Koloběžkový portál [online]. neznámé: Koloběžkový portál, 2017 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: http://www.kolobezkovyportal.cz/cs/clanky/nebojte-se-karbonu-aneb-vyvoj-ne-zastavis-501

[39] Koloběžka *Kostka Racer CTI* [online]. Hradec Králové: Kostka, 2022 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: https://www.kostkakolobezky.cz/racer/562-kolobezka-kostka-racer-cti.html

[40] IDEA STRNADEL S1 revolucí v koloběhu. *In:* Cyklo novinky [online]. Brno: CykloNovinky.cz, 2018 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: http://www.cyklonovinky.cz/Clanky/IDEA-STRNADEL-S1-revoluci-v-kolobehu.aspx

[41] Exion *Carbon Fiber Footbike by Cees Bakker* [online]. USA: Tuvie, 2020 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: https://www.tuvie.com/exion-carbon-fiber-footbike-by-cees-bakker/

[42] ASTM *D638 Plastic Tensile Properties Testing* [online]. Norwood: Admet, 2021 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://www.admet.com/testing-applications/testing-standards/astm-d638-plastic-tensile-properties-testing/

[43] ASTM *D256 - material testing* [online]. Canada: Nextgen, 2021 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://www.nextgentest.com/metal-testing-equipment/pendulum-impact-testing-equipment/class-j-charpy-and-izod-automatic-impact-testing-system-1j-50j/

[44] KHASHABA, UA, TA SEBAEY a KA ALNEFAIE. Failure and reliability analysis of pinned-joint composite laminates: Effects of pin–hole clearance. *Journal of Composite Materials* [online]. 2013, **47**(18), 2287-2298 [cit. 2022-03-15]. ISSN 0021-9983. Dostupné z: doi:10.1177/0021998312457196

[45] ASTM *D3846 Strain Measurement* [online]. USA: Test resources, 2021 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://www.testresources.net/applications/standards/astm/astm-d3846-in-plane-shear-strength-of-reinforced-plastic-sheet/

[46] BARCOL *Hardness tester for aluminium (0-100 HBa)* [online]. Dánsko: Diesella, 2021 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://www.diesella.com/products/barcol-hardness-tester-for-aluminium-0-100-hba

[47] Koloběžky *standartní diskové: 20" Zapletená kola Top disc* [online]. Lipová - Česká republika: Remerx, 2021 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: https://remerx.cz/zapletena-kola-top-disc-406-ba-nyt-32-rx-2685_2

[48] SR *Suntour XCM JR Air disc 20"* [online]. Teplice: Kolo shop, 2021 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: https:/www.koloshop.cz/Odpruzene-vidlice-20-a-24/SR-Suntour-XCM-JR-Air-Disc-20--odpruzena-vidlice-cerna.html

[49] SHIMANO *BR-MT200 HYDRAULICKÉ BRZDY PŘEDNÍ+ZADNÍ ČERNÁ* [online]. Zlín: Horsak, 2021 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: https://www.horsak.cz/shimano-br-mt200-hydraulicke-brzdy-predni-zadni-cerna_z3445/

[50] Shimano *SM-RT26 brzdový kotouč 160mm* [online]. Teplice: Koloshop, 2021 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: https://www.koloshop.cz/brzdy-brzdove-kotouce-188/Shimano-SM-RT26-brzdovy-kotouc-160mm.html

[51] GUSSET *MXR CRUISER BARS - BMX RACING ŘIDÍTKA NA CRUISER ČERNÁ* [online]. Praha: Katmar, 2021 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: https://www.katmar.cz/gusset-mxr-cruiser-bars-bmx-racing-riditka-na-cruiser-cerna-p-2473.html?zenid=n62d1cfb3tufjg5gcjlimdd397

[52] Představec *BMX - MAX1 BMX* [online]. Praha: Dookie, 2021 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: https://www.dookie.cz/predstavec-bmx-max1-bmx/

[53] Semi-integrované *složení Force Fe 1 1/8", černá* [online]. Bílá Třemešná: Kup kolo, 2021 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: https://www.kupkolo.cz/semi-integrovane-slozeni-force-fe-1-1-8-cerna_z93699/

[54] Reference *Structure Design Principles for A350XWB Volume 2 General* Design Principles: By Airbus. Druhé. Nizozemsko, 2009.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ASTM	American Society for Testing and Materials
FEM	Metoda konečných prvků
GF	Skelné vlákno (glass fiber)
SiO_2	Oxid křemičitý
%	Procento
AF	Aramidové vlákno (aramid fiber)
Tzv.	Takzvaně
CVD	Chemická depozice z plynné fáze (chemical vapour depositon)
UP	Nenasycené polyestery
VE	Vinylestery
EP	Epoxidy
PR	Fenolické pryskyřice
VR	Vinylesterové pryskyřice
PF	Fenolické pryskyřice
°	Stupeň
Mil/h	Mil za hodinu
NHL	National hockey league (národní hokejová liga)
Km/h	Kilometrů za hodinu
Cm	Centimetr
Mm	milimetr
Kg	Kilogram
Cr-Mo	Chrom – molybdenová ocel

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Homogenita a nehomogenita [3] 13
Obrázek 2 – Izotropie a anizotropie [3] 15
Obrázek 3 – Znázornění synergického efektu [2] 15
Obrázek 4 – Jádro lyže [11] 23
Obrázek 5 – Biaxiální tkanina +/-45° [10] 24
Obrázek 6 – Biaxiální tkanina 0/90° [10] 24
Obrázek 7 – Triaxiální tkanina 0/+/-45° [10] 24
Obrázek 8 - Quadraxiální tkanina +/-45/0/90° [10] 25
Obrázek 9 – Sendvičová konstrukce [14] 26
Obrázek 10 – Torzní box [14] 27
Obrázek 11 – Capová konstrukce [14] 28
Obrázek 12 – Konstrukce trubka – trubka [17] 29
Obrázek 13 – Konstrukce s použitím rámových spojek [18] 29
Obrázek 14 – Monoklová konstrukce [19] 30
Obrázek 15 – Rám z hybridního kompozitu Dyneema [20] 31
Obrázek 16 – Sharvan bike [21] 32
Obrázek 17 – Sharvan bike – rám kola [21] 32
Obrázek 18 – Hokejka pro brankáře [25] 33
Obrázek 19 – Hokejka pro hráče v poli [26] 34
Obrázek 20 – Kompozitní baseballová pálka [29] 35
Obrázek 21 – Historie koloběžek [30] 36
Obrázek 22 – Znovuzrození koloběžek [30] 37
Obrázek 23 – Dětská koloběžka Worker plofi [32] 38
Obrázek 24 – Koloběžka Kostka tour fun [33] 38
Obrázek 25 – Freestylová koloběžka inSportline Osprey [34] 40
Obrázek 26 – Dirtová koloběžka Longway Chimera [35] 40
Obrázek 27 – Elektrická koloběžka W-Tec Tenmark 500 W [36] 41
Obrázek 28 – Skládací koloběžka inSPORTline Rundeer II [37] 42
Obrázek 29 – Kostka Racer CTI [39] 43
Obrázek 30 – Idea Strandel S1 [40] 43
Obrázek 31 – Exion footbike [41] 44
Obrázek 32 – Pevnost v tahu (ASTM D638) [42] 46
Obrázek 33 – Ohybové vlastnosti (ASTM D790) [42] 46
Obrázek 34 – Pevnost v tlaku (ASTM D695) [42] 47

Obrázek 35 – Rázová houževnatost (ASTM D256) [43] 47
Obrázek 36 – Retenční schopnost děr (ASTM D953) [44] 48
Obrázek 37 – Smyková pevnost (ASTM D3846) [45] 48
Obrázek 38 – Tvrdost Barcol (ASTM D2583) [46] 49
Obrázek 39 – Zapletená kola Top disc 406 [47] 53
Obrázek 40 – Vidlice Sunrout XCM [48] 55
Obrázek 41 – Hydraulické brzdy Shimano BR-MT200 [49] 56
Obrázek 42 – Kotouče Shimano SM-RT26 [50] 57
Obrázek 43 – Zvolená řídítka Gusser MXR cruiser bars [51] 58
Obrázek 44 – Představec MAX1 BMX [52] 59
Obrázek 45 – Semi-integrované hlavové složení [53] 60
Obrázek 46 – Uchycení a rozměry hlavového složení [53] 60
Obrázek 47 – Prototyp č. 1 61
Obrázek 48 – Prototyp č. 2 62
Obrázek 49 – Prototyp č. 3 63
Obrázek 50 – Prototyp č. 4 64
Obrázek 51 – Prototyp č. 5 64
Obrázek 52 – Krk pro uchycení přední vidlice 65
Obrázek 53 – Pravá koncovka zadní vidlice 66
Obrázek 54 – Levá koncovka zadní vidlice 66
Obrázek 55 – Plát pro zafixování vzájemné polohy koncovek 66
Obrázek 56 – Sestava celé koloběžky bez zvolených materiálů 67
Obrázek 57 - Vizualizace navržené koloběžky pomocí renderování 67
Obrázek 58 – Rozdělení rámu 68
Obrázek 59 – Umístění dělící rovin do jednotlivých částí rámu 69
Obrázek 60 – Forma zadní vidlice 69
Obrázek 61 – Forma nášlapné desky 70
Obrázek 62 – Forma šíje 70
Obrázek 63 – Sestava formy pro zadní vidlici rámu 71
Obrázek 64 – Sestava formy pro nášlapnou desku 71
Obrázek 65 – Sestava formy pro šíji 71
Obrázek 66 – Vyhazovací vložka 72
Obrázek 67 – Spoje jednotlivých částí rámu 72
Obrázek 68 – Spojovací součást pro zadní vidlici a nášlapnou desku 73
Obrázek 69 – Spojovací součást nášlapné desky a šíje 73

Obrázek 70 – Pravidlo č. 1 symetrie [54] 75
Obrázek 71 – pravidlo č. 3 procento orientace vrstev [54] 76
Obrázek 72 – pravidlo č. 4 vnější vrstvy [54] 76
Obrázek 73 – Pravidlo č. 5 pravidelné rozložení orientace vrstev [54] 77
Obrázek 74 – Pravidlo č. 6 maximální seskupení [54] 77
Obrázek 75 – Parametry vytvořené sítě 78
Obrázek 76 – Dodatečné parametry vytvořené sítě 79
Obrázek 77 – Parametry vytvořeného modelu laminátu 80
Obrázek 78 – Vlastnosti uhlíkového vlákna 81
Obrázek 79 – Vlastnosti epoxidové pryskyřice 81
Obrázek 80 – Parametry vytvořeného prepregu 82
Obrázek 81 – Skladba orientace vrstev pro variantu č.1 83
Obrázek 82 – Skladba orientace vrstev pro variantu č.2 84
Obrázek 83 – Skladba orientace vrstev pro variantu č.3 85
Obrázek 84 – Oblast kladení materiálu 85
Obrázek 85 – Oblast nástřihu materiálu 86
Obrázek 86 – Vykreslení rozvinu materiálu 86
Obrázek 87 – Nastavení uložení rámu 87
Obrázek 88 – Nastavení zatížení rámu 87
Obrázek 89 – Velikost posunutí elementů u varianty č. 1 (vrchní pohled) 88
Obrázek 90 - Velikost posunutí elementů u varianty č. 1 (spodní pohled) 89
Obrázek 91 – Velikost rotace elementů u varianty č. 1 (vrchní pohled) 90
Obrázek 92 - Velikost rotace elementů u varianty č. 1 (spodní pohled) 90
Obrázek 93 - Velikost posunutí elementů u varianty č. 2 (vrchní pohled) 91
Obrázek 94 - Velikost posunutí elementů u varianty č. 2 (vrchní pohled) 91
Obrázek 95 - Velikost rotace elementů u varianty č. 2 (vrchní pohled) 92
Obrázek 96 - Velikost rotace elementů u varianty č. 2 (spodní pohled) 93
Obrázek 97 - *Velikost posunutí elementů u varianty č. 3 (vrchní pohled)* 94
Obrázek 98 - Velikost posunutí elementů u varianty č. 3 (spodní pohled) 94
Obrázek 99 - Velikost rotace elementů u varianty č. 3 (vrchní pohled) 95
Obrázek 100 - Velikost rotace elementů u varianty č. 3 (spodní pohled) 95

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Rozdělení koloběžek podle druhu terénu [31] 39
Tabulka 2 – Technické specifikace kol [47] 54
Tabulka 3 – Technické specifikace vidlice [48] 55
Tabulka 4 – parametry zvolených brzd [49] 57
Tabulka 5 – parametry zvolených kotoučů [50] 57
Tabulka 6 – Parametry zvolených řídítek [51] 58
Tabulka 7 – Parametry zvoleného představce [52] 59
Tabulka 8 – Parametry hlavového složení [53] 60
Tabulka 9 – pravidlo č. 2 vyvážení [54] 75
Tabulka 10 – Technologický postup výroby kompozitního rámu 97
Tabulka 11 – Kalkulace ceny výroby kompozitního rámu 98
Tabulka 12 – Kalkulace komponentů 99

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Uhlíkový textil GG-204 T

Příloha P II: Epoxidová pryskyřice IMP 503 Z

PŘÍLOHA P I: UHLÍKOVÝ TEXTIL GG-204 T

G.ANGELONI
Since 1927

WOVEN FABRIC
Technical Data Sheet

Carbon Fabric | **Product Code: GG-204 T**

CHARACTERISTICS	Nominal	UM	Tolerance	Normative
Mass per unit area	**214**	g/m^2	± 5%	ISO 4605
Weave	*2X2 Twill*			ISO 2113
Width	1000/1200	mm	± 2,5%	ISO 22198
Thickness	0,2	mm	± 2,5%	ISO 5084(**)
Other informations	*Loomstate*			

Nominal Construction	WARP		WEFT	
Fiber Description	3K		3K	
Fiber Producer				
Thread Count	**5,2** ends/cm	ISO 4602	**5,5** ends/cm	ISO 4602
Weight Distribution	**104** g/m^2	49%	**110** g/m^2	51%
Selvadges	Weaving style	LENO	Type of Fiber	HM polyester 22 tex

Mechanical Properties of Fiber	Strength (nominal)	Modulus (nominal)
3K	3675 MPa	238 GPa

(**) Theorical thickness for an epoxy laminate with 40% of reinforcement in volume.

Note : Technical information furnished is based on laboratory findings and believed to be correct. No warranties of any kind are made except that the materials supplied are of standard quality. All risk and liabilities arising from handling, storage and use of products, as well as compliance with applicable legal restrictions,rests with the user.

Date of Issue
19/03/2018

G.Angeloni srl
via Abate Tommaso , 72/A5 - 30020
Quarto d'Altino (VE) - ITALY
Web Site: www.g-angeloni.it
E-Mail : info@g-angeloni.com
Tel. +39 0422 780580
Fax +39 0422 782782

PŘÍLOHA P II: EPOXIDOVÁ PRYSKYŘICE IMP503Z

impregnatex compositi SRL

ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification N°223933

Via Tiepolo, 19 20022 CASTANO PRIMO (MI) Tel. +39 0331 880564 www.impregnatex.it

MATRIX PRODUCT DATA **IMP503Z** ST-130213-rev7-09/01/2015

DESCRIPTION

Modified epoxy resin IMP503Z is suitable for prepregging of carbon/glass and aramid fabrics. IMP503Z with his high transparency is suitable for "carbon look" composite part where high cosmetical requirements are needed. IMP503Z can be used with carbon or metallic mould with the standard technologies: Hot Press, Wrapping, Autoclave and Vacuum Bag.

BENEFITS AND FEATURES

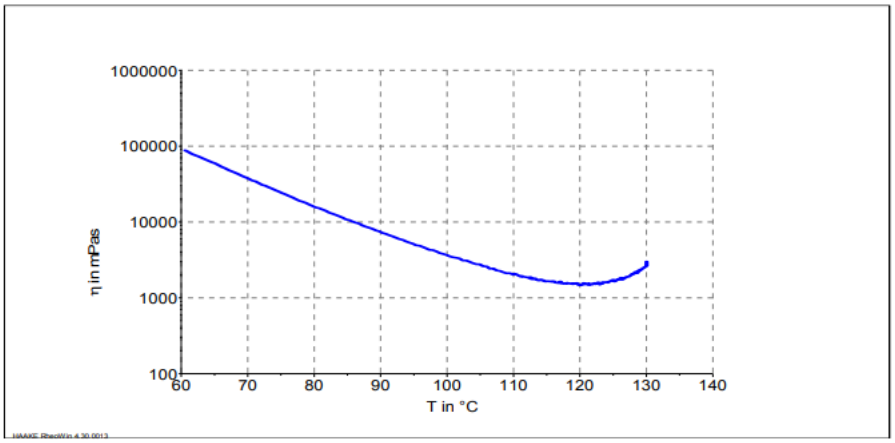
- Field of applications: automotive, sporting goods, marine, industrial
- Different curing cycles are possible
- Good mechanical properties
- UV resistance improved

RESIN PROPERTIES

TYPE		TOUGHENED
Cured resin density	gr/cm^3	1,15 ÷ 1,25
Gel Time at 125 ℃ (257 ℉)	minuti	6'-9'
Gel Time at 110 ℃ (221 ℉)	minuti	20 ÷ 26
TACK		MEDIUM/HIGH
Resin VOC on prepreg	%	< 1
Tg fully cured (Tan Delta DMA)	℃ (℉)	120 (248)
Shelf life at room temperature (23 ℃)	weeks	5
Shelf Life (-18℃ approx)	years	1

VISCOSITY VS TEMPERATURE BEHAVIOUR

The plot under depicted below is performed with cone-plate rehometer starting from 60℃ until viscosi ty kick off.
Parameters: frequency 0.2 Hz and heating rate 3 ℃/ min.



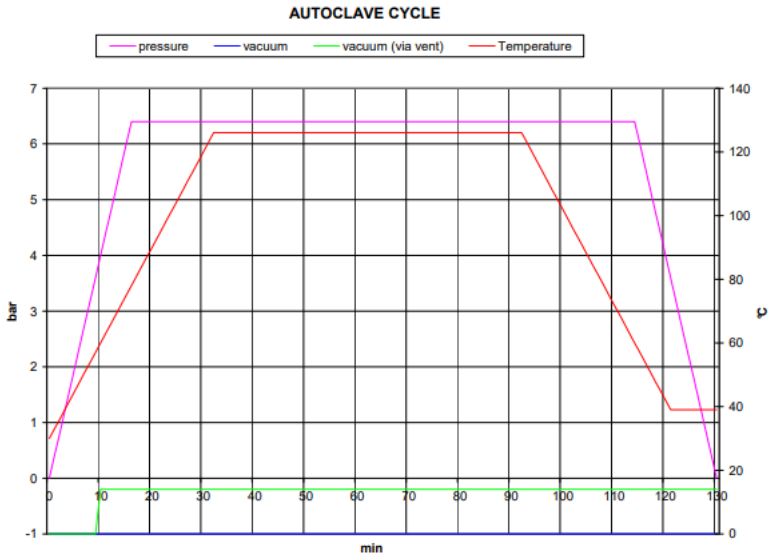
CURING CYCLES SUGGESTED

TEMPERATURES	TIME	Tg (TanDelta DMA, ℃)
110	2h	120-125
125	1h	120-125

PROCESS DESCRIPTIONS

Autoclave:
125℃ cycle

1. After making the bag put it in the autoclave and apply -0.9 ÷ -1.0 bar vacuum
2. Heat to 125℃ at 1-3 min/℃ rate
3. Apply the pressure, with quick increment slope, in order to reach the maximum possible value (ex. 4÷7 bar) before 80℃. Reached the process press ure is possible reduce the vacuum value to -0.2 bar (via vent). This option depend on the evaluations of the autoclave driver.
4. When 125℃ temperature is reached dwell it and the pressure for 1h
5. Cool to 60℃ under pressure, then release the pr essure
6. At room temperature get the part out of the autoclave



Hot Press:
125℃ cycle:

1. Put the prepreg material into the mould at room temperature and close the mould at 1Bar pressure
2. Heat to 125℃ a 1-3℃/min (3-5℃/min for small part if possible)
3. When 100-110℃ is reached appy 2-3 Bar or over i f the flow can be controlled
4. When 125℃ temperature is reached dwell it and t he pressure for 1h
5. Cool to 40-50℃ under pressure and pull the par t out

IMP503 Z is a reactive epoxy formulation, too high heat up rate and/or too high temperature dwell can give out of control temperature inside the stack lay up when thick laminate are processed (thickness over 1 cm)

These autoclave and hot press cycle are only suggestions based on Impregnatex Compositi experiences and are not absolute way to process properly the material. Different equipments may need different curing cycle conditions.