

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T019 Stavba výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh silničního závodního kola

Autor: **Bc. Hana KOLÁŘOVÁ**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Zdeněk HUDEC, CSc.**

Akademický rok 2014/2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Hana KOLÁŘOVÁ**
Osobní číslo: **S13N0081P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Návrh silničního závodního kola**
Zadávatel: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Proveďte rešerši v dané oblasti. Zpracujte tematiku z hledisek principů, srovnání jednotlivých koncepcí, konstrukčních provedení, užitných vlastností a aplikací.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Vypracování rešerše na dané téma.
2. Vypracování konstrukčního návrhu včetně systematické specifikace požadavků a koncepčních variant, výběr optimálního řešení.
3. Zjištění klíčových vlastností konstrukčního návrhu s potřebnými technickými výpočty.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **50-70 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra: obecné strojní části 1.*
Praha: Computer Press, 1999

KRÁTKÝ, J., KRÓNEROVÁ, E., HOSNEDL, S. *Obecné strojní části 2.* Plzeň:
ZČU, 2011

SOWTER, M., FEATHER, R. *Made in England: The Artisans Behind the Handbuilt Bicycle.* Birmingham: Push Projects Limited, 2012

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Petr Bernardin**
Regionální technologický institut

Datum zadání diplomové práce: **22. září 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **22. května 2015**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Věclava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 22. září 2014

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Kolářová	Hana	
STUDIJNÍ OBOR	2302T019 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUcí PRÁCE	Doc. Ing. Hudec, CSc.	Zdeněk	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh silničního závodního kola		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN

CELKEM	89	TEXTOVÁ ČÁST	57	GRAFICKÁ ČÁST	32
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce obsahuje designérský návrh cyklistického laminátového rámu ve čtyřech váhových variantách. Dále byla provedena optimalizace hmotnosti rámu a orientace uhlíkových vláken laminátu.
KLÍČOVÁ SLOVA	Cyklistika, rám kola, laminát, orientace vláken, CAD, MKP

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Kolářová		Hana	
FIELD OF STUDY	2302T019 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“			
SUPERVISOR	Doc. Ing. Hudec, CSc.		Zdeněk	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Bike frame design			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	89	TEXT PART	57	GRAPHICAL PART	32
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis is focused on laminate bike frame. Frame is designed in four weight options. The best variant is than optimizezed of its fiber orientation.
KEY WORDS	Cycling, bike frame, laminate, carbon, CAD, FEA

Obsah

1. Analýza konstrukce kol	12
1.1. Oblasti použití kol	13
1.1.1. Kola v dopravě	13
1.1.2. Kola v zaměstnání	13
1.1.3. Rekreace	13
1.1.4. Sport	13
1.2. Druhy kol.....	14
1.2.1. Městská kola.....	14
1.2.2. Horská kola	14
1.2.3. Treková kola.....	15
1.2.4. Závodní kola.....	15
2. Charakteristika silničního závodního kola	17
2.1. Technické parametry	17
2.1.1. Rozměrové řady rámu	17
2.1.2. Faktory ovlivňující výkon cyklisty	19
2.2. Specifikace provozních podmínek	20
2.3. Specifikace konstrukčních skupin	21
2.3.1. Analýza převodů	22
3. Hmotnostní analýza závodního kola	23
3.1. Hmotnost rámu	23
3.2. Hmotnost rámových komponent	23
3.3. Hmotnost ovládacích komponent.....	23
3.4. Hmotnost vypletených kol	24
3.5. Optimální návrh sestavení kola	24
3.5.1. Závodní kolo	24

3.5.2. Sportovní kolo	26
4. Rám silničního závodního kola	28
4.1. Geometrie rámu	28
4.2. Používané materiály závodních rámu.....	29
4.2.1. Dural	29
4.2.2. Karbon kompozit.....	29
4.2.3. Hlavní rozdíly.....	29
4.3. Technologie výroby.....	30
4.3.1. Malosériová výroba.....	30
4.3.2. Velkosériová výroba	30
4.4. Popis normy pro testování rámu závodních silničních kol EN 14781:2005 (E).....	31
4.4.1 Rázový test- ráz hmoty.....	31
4.4.2. Rázový test- ráz rámu:.....	32
4.4.3 Únavový test se silami šlapání	33
5. Analýza variant typů rámu	35
5.1. Varianty používaných rámu	35
5.3. Hodnocení variant, výběr optimální.....	40
5.4 Kritická místa, příklady prasklin.....	41
5.4.1. Oblast středu pohonu kola.....	41
5.4.2. Oblast hlavové trubky	41
5.4.3. Horní část sedlové trubky.....	42
5.4.4 Praskliny hliníkových rámu	43
6. Testování rámu- MKP analýza, optimalizace	44
6.1. Působící síly a reakce na rám	45
6.1.2. Návrh zatěžovacích stavů.....	46
6.1.3. Výpočet zatěžovacích sil pro jednotlivé návrhy.....	49

6.2. Návrh sítě a materiálu	50
6.2.1. Síť	50
6.2.2. Použitý materiál.....	51
6.3. Návrh tloušťky trubek	52
6.3.1. Varianta A	52
6.3.2. Varianta B	56
6.3.3. Varianta C	60
6.3.4. Varianta D	64
6.3.5. Varianta E.....	68
6.3.6. Porovnání a výběr optimální varianty tloušťky trubek	71
6.4. Návrh orientace vláken.....	75
6.4.1. Varianta A	77
6.4.2. Varianta B	78
6.4.3. Varianta C	79
6.4.4. Výběr optimální varianty orientace vláken	80
6.4.5. Porovnání ideální varianty s předchozími, dle normy EN 14781:2005	85
7. Ekonomické zhodnocení dle způsobu výroby.....	85
7.1. Velkosériová výroba	85
7.2. Ruční výroba	86
8. Porovnání navržené varianty s konkurencí	87
Seznam použité literatury	88

Úvod

Tato diplomová práce, na téma: „Návrh silničního závodního kola“, se zabývá cyklistickými koly, jejich rámy a zatížení rámu.

Začátkem práce se zaměřuji na základní rozdělení cyklistických kol a jejich rámu, charakteristiku závodního silničního kola a jeho hmotnost. Dále pak popisuji rám závodního silničního kola a jeho geometrii.

Hlavním cílem mé práce je návrh čtyř modelů rámu stejného tvaru a rozdílné hmotnosti. Z nich jsem vybrala variantu vyhovující Evropské normě s vlastnostmi podobnými reálným rámu. Na zvolené variantě jsem provedla optimalizaci orientace vláken v jednotlivých vrstvách kompozitu. Dále jsem pak definovala rozdílnou orientaci vláken v různých oblastech rámu dle jejich namáhání.

1. Analýza konstrukce kol

1.1. Oblasti použití kol

1.1.1. Kola v dopravě

Jízdní kolo slouží i jako dopravní prostředek. Je poháněno pouze lidskou silou, ale neprodukuje žádné škodlivé zplodiny a rozvíjí fyzickou kondici člověka. Bývá tak dobrou alternativou automobilové dopravy hlavně v menších městech. Kolo je i skladnější a cyklista může kdykoliv sesednout a pokračovat pěšky. Nevýhodou je ale omezení přepravy nákladu nebo vliv počasí, které nemusí být pro jízdu na kole vždy vhodné. V současné době se městská doprava stává stále populárnější hlavně z důvodů finanční nákladnosti automobilové a hromadné dopravy

1.1.2. Kola v zaměstnání

Kola se používají při mnoha zaměstnáních souvisejících s dopravou po městě. Například městská pošta, záchranná služba, policie a podobně. Například policie využívá výhody cyklo dopravy hlavně proto, že mohou vjet do pěších zón a snáze překonat dopravní zácpy. Kola byla též využívána jako doručovací prostředek pro roznášení novin, nebo rozvoz pečiva. V některých firmách využívají zaměstnanci kola k pohybu po továrně kola a dopravě v areálu podniku.

1.1.3. Rekrece

Pojem cykloturistika představuje ježdění na kole za účelem poznání, rekreace a turistiky. Tedy cestování na kole bez závodění. Cestování na kolech je možné jak po silnicích, tak i po vyznačených cyklostezkách, kterých stále přibývá. V turisticky zajímavých oblastech mohou být k dispozici půjčovny kol.

1.1.4. Sport

Po rozšíření využívání kol jako dopravní a rekreační prostředek, vznikly v mnoha částech světa závody na kolech. Velké závody začaly být populární hlavně v 90. letech 19. století hlavně v Evropě, USA i Asii. Začaly se stavět závodní dráhy pro dráhovou cyklistiku. Nejslavnějším cyklistickým závodem je jednoznačně Tour de France, která měla premiéru v roce 1903 a stále pokračuje.

1.2. Druhy kol

1.2.1. Městská kola

Městská cyklistika je v západní Evropě velkým fenoménem. U nás se rozvíjí pomaleji, ale čím dál více lidí si upřednostňuje tuto formu dopravy hlavně díky její prospěšnosti pro životní prostředí a samotné obyvatele města. Městská kola nemají skoro žádná pravidla pro jejich konstrukci. Používají se různé průměry kol, atypické tvary ráků i dalších komponent. Často si jej uživatelé sami přizpůsobují svým potřebám, doplňují je i o různé košíky a nástavce na přepravu drobného nákladu.

Tradiční ruční výroba kol je velmi oblíbená ve Velké Británii. Mezi nejznámější značky patří například PASHLEY jehož historie sahá až do roku 1926. Jedná se o tradiční stylová městská kola. Při svém pobytu v Anglii jsem se setkala s několika výrobci kol. První z nich byl Matthew Sowter, který vyrábí kola Saffron. Na výrobu svých ráků používá výhradně ocelové trubky a spojky, které následně svařuje. Jeho kola jsou každé originální a přizpůsobené potřebám zákazníka. Dále jsem navštívila dílnu kol Swarf a výrobce Andriana Bedforda. Adrian se specializuje na horská sjezdová kola. Vyrábí ocelové ráky s karbonovou zadní stavbou. Dalším výrobcem byl Tom Donhou. Tom má ve výrobě velkou praxi. Zaměřuje se na ocelová kola a hlavně na barevné lakování a celkový design svých kol. Jeho kola jsou spíše umělecká díla. Zajímavá byla i návštěva u Caren Hartley, která je jedinou zástupkyní něžného pohlaví v oblasti ruční výroby kol.

1.2.2. Horská kola

Jsou opakem silničních kol. Jsou vhodná do těžkého terénu a prostředí, kde nejsou zpevněné cesty. Je možné s nimi jezdit i na silnici, ale celkovou konstrukcí a hlavně typem pneumatik pro ni není určeno. Je tedy vhodné pro sportovnější cyklisty, kteří si dovedou poradit s překážkami terénu. Většinou platí, že čím je kolo dražší, tím je lehčí a kvalitnější a lépe překonává nástrahy terénu. Horská kola mohou mít zpravidla 3 druhy průměrů kol. Tradiční je průměr 26 palců, ale před pár lety přišli výrobci s trendem „velkých kol“ a 29 palcovými výplety. Nyní se začíná prosazovat i kompromisní rozměr 27,5 palců neboli 650B. Horské kolo je robustnější a i těžší než třeba silniční. Disponuje odpruženou přední vidlicí a někdy i odpruženou zadní stavbou pro náročnější terén. Převody jsou též lehčí než silniční.

1.2.3. Treková kola

Jsou to kola vhodná na zpevněné cesty a louky. Zvládne ale i silnici a lehký terén. Svou konstrukcí připomíná spíše silniční kolo, ale pneumatiky jsou výrazně širší a mají hrubší vzorek. Je nevhodné do náročnějšího terénu a může dobře posloužit i jako dopravní prostředek díky své univerzálnosti. Má stejný průměr kol (28 palců) i převody jako silniční kolo. Je tak rychlejší a lehčí než horské kolo a vhodné pro cykloturistiku.

1.2.4. Závodní kola

Horská

Rozlišujeme několik typů horských závodních dle terénu a druhu závodů, na které jsou určené. Můžeme vidět kola spíše artistická jako BMX, dirt a podobně. Nebo sjezdová (downhillová), která mají výrazné odpružení, jsou robusní a těžká. Nejsportovnější je horské kolo vhodné na závody bike maratonů a cross country. Zde se používají buď typy full suspension s odpružením přední vidlice i zadní stavby, nebo hardtail s odpruženou přední vidlicí. Kola hardtail bývají jedny z nejlehčích, jejich váha se pohybuje i kolem 8-9 kg. Pro tato kola se používají lehké převody využitelné v prudkých výjezdech a zásadně kotoučové brzdy.

Cyklokrosová

Cyklokros je závod na okruzích, podobně jako cross country. Terén je ale značně lehčí a překážkou je spíše povrch (písek, bahno, mokrá tráva), než kořeny a kamení. Rámy jsou skoro totožné se silničními, jsou jen opatřeny výstupky pro uchycení robustnějších brzd. Začíná být moderní i používání kotoučových brzd na cyklokrosová kola. Zvláště v bahně a mokru jsou kotouče lepší a bezpečnější variantou.

Dráhová

Tento typ je takzvaný fixed gear pouze s jedním převodem a bez volnoběhu. S takovým kolem se závodí na speciální dráze zvané velodrom, která má přesné parametry. Povrch dráhy je většinou dřevěný, podobný parketám. Pokud tedy závodník přestane šlapat, i kola se přestanou otáčet a hrozí nepříjemný pád. Převod na kole je tedy velmi individuální a závodník si sám zvolí ten správný podle svých dispozic a typu závodu.

Silniční

Silniční kola mají v závodění největší tradici. První zdokumentovaný závod se konal v roce 1868. Byl to závod na 1200 metrů v Paříži. Prvním delším závodem byl přejezd mezi městy Paříž-Rouen, který měřil 123km a nejlepší závodník ho absolvoval v čase 10 hodin a 40 minut.

Je rychlé, lehké, vhodné pouze pro kvalitní zpevněné cesty, jako jsou asfalt a beton bez výmolů. Není vůbec určené do terénu. Je opatřeno klasickými čelistovými brzdami, které jsou díky lehkým závodním podmínkám dostatečné. Převody se zde volí těžší než u horských nebo cyklokrosových kol. Také se ale přizpůsobují individuálním potřebám závodníka a typu závodu. Průměr kol je 28 palců. Pláště i ráfky jsou velmi úzké a mají jemný vzorek, čím hladší, tím menší je valivý odpor. Světová cyklistická unie stanovila váhový limit pro závodní kola na 6,8kg. Je ale možné vyrobit i kolo s váhou pod 6 Kg.

2. Charakteristika silničního závodního kola

2.1. Technické parametry

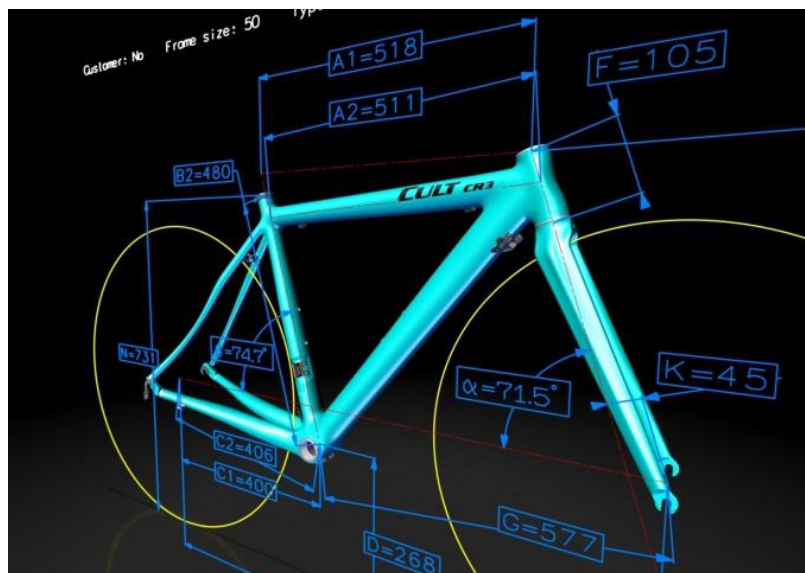
2.1.1. Rozměrové řady rámu

Často se závodní silniční rámy vyrábí v 6 velikostech. Některé firmy dokonce dělají i rámy na míru a tím jezdci vytvářejí maximální komfort. Specialistou na kola na míru je například Západočeská firma Duratec, která má v tomto směru dlouholetou praxi. Základní rozměry rámu jsou délka sedlové trubky a horizontální vzdálenost os sedlové a hlavové trubky.

Geometrii rámu má každá firma individuální. Firmy vychází ze svých zkušeností se stavbou kol přizpůsobených novým trendům cyklistiky. Rámy a kola jsou členěny do kategorií podle způsobu používání. Každému modelu je proto přiřazena jiná geometrie. Velikosti rámu jsou odstupňovány po 1 nebo po 2 cm. Cena rámu nezávisí na jeho velikosti.

Při individuálním návrhu geometrie rámu firmou Duratec konstruktéři vychází ze změřených hodnot jeho postavy a současně přihlíží k poloze závodníka a jeho přenosu vydané síly.

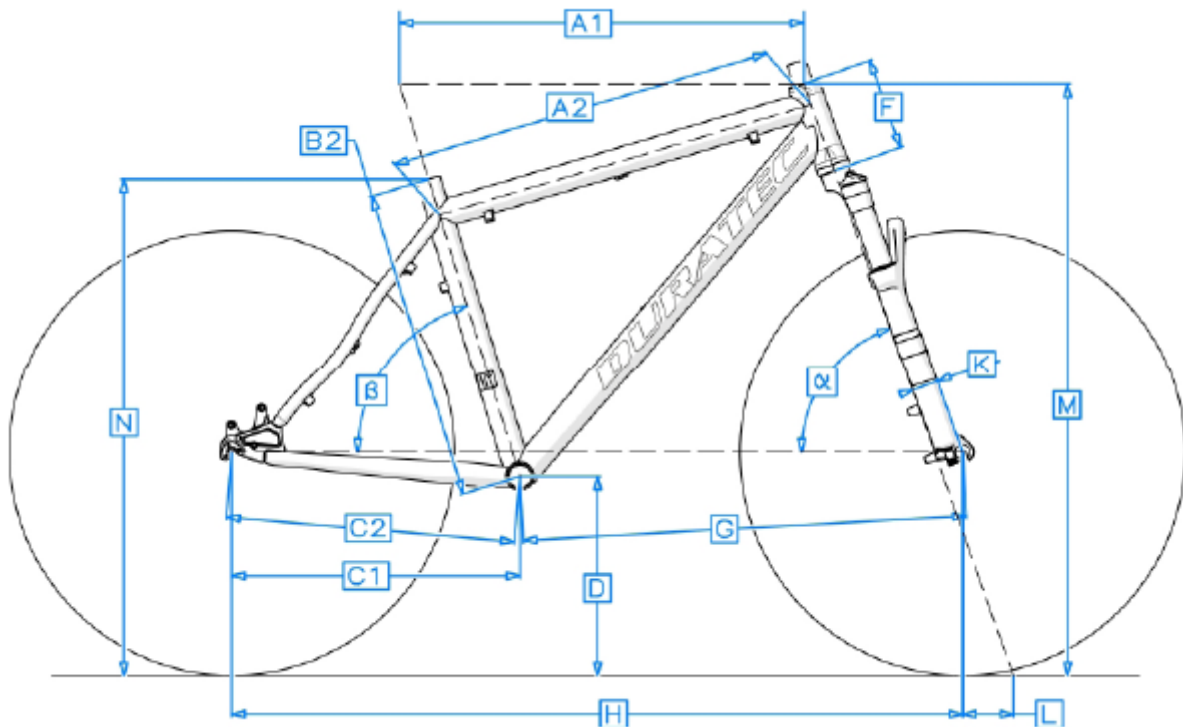
U závodních kol je tedy možné zaujmout nejvíce aerodynamickou polohu závodníka.



Rozměry rámu [1] zdroj: www.duratec.cz

Pro hodnocení a srovnávání geometrií rámu Duratec se používají dva typy kót. Prvním typem jsou kóty, jež výrazným způsobem ovlivňují jízdní vlastnosti rámu. Tyto rozměry jsou určujícím prvkem pro budoucí chování kola a jejich výčet je uveden níže spolu s vysvětlením

významu. Druhým typem jsou rozměry, které jsou odvozeny od prvního typu kót. Jedná se o informativní rozměry a slouží zákazníkovi k porovnání geometrie rámu s jinými výrobci.



Geometrie rámu [2] zdroj: www.duratec.cz

Rám na míru je vhodný pro závodníky se zvláštními požadavky na tvar a jízdní vlastnosti rámu. Oproti univerzální geometrii je možné prodloužit či zkrátit horní rámovou trubku, zvýšit délku hlavy či provést nějakou další změnu, kterou závodník konzultuje přímo s výrobcem a konstruktéry kol.

2.1.2. Faktory ovlivňující výkon cyklisty

Hmotnost kola

Celková hmotnost kola je dána hmotností rámu, komponent a doplňků. Pohybuje se od 5,5kg až po 8kg v závislosti na kvalitě, materiálu a univerzálnosti kola. Například horská kole určená na závod do vrchu nepotřebují příliš velký rozsah řazení a stačí zde použít pouze jeden přední převodník a uspořít tak váhu. Při závodění na okruzích s občerstvovacími stanicemi postačí závodníkovi jen jedna lahev a tím uspoří další gramy.

Hmotnost cyklisty

Váha cyklisty je dalším faktorem velmi ovlivňující jeho výkon. Je těžké najít kompromis mezi nízkou váhou cyklisty a zachování jeho dostatečné svaloviny pro potřebný výkon při závodě. Pokud se podíváme na velmi štíhlého cyklistu (60-65kg) je to jednoznačně vrchař. Pokud vidíme více osvaleného závodníka, bude to nejspíše sprinter nebo terénní závodník. Je velmi efektivní, aby tělo závodníka obsahovalo co nejméně tuku a převažovaly jen svaly. Procento tuku u špičkových vrchařů se pohybuje kolem 6%.

Tvar rámu, aerodynamika cyklisty

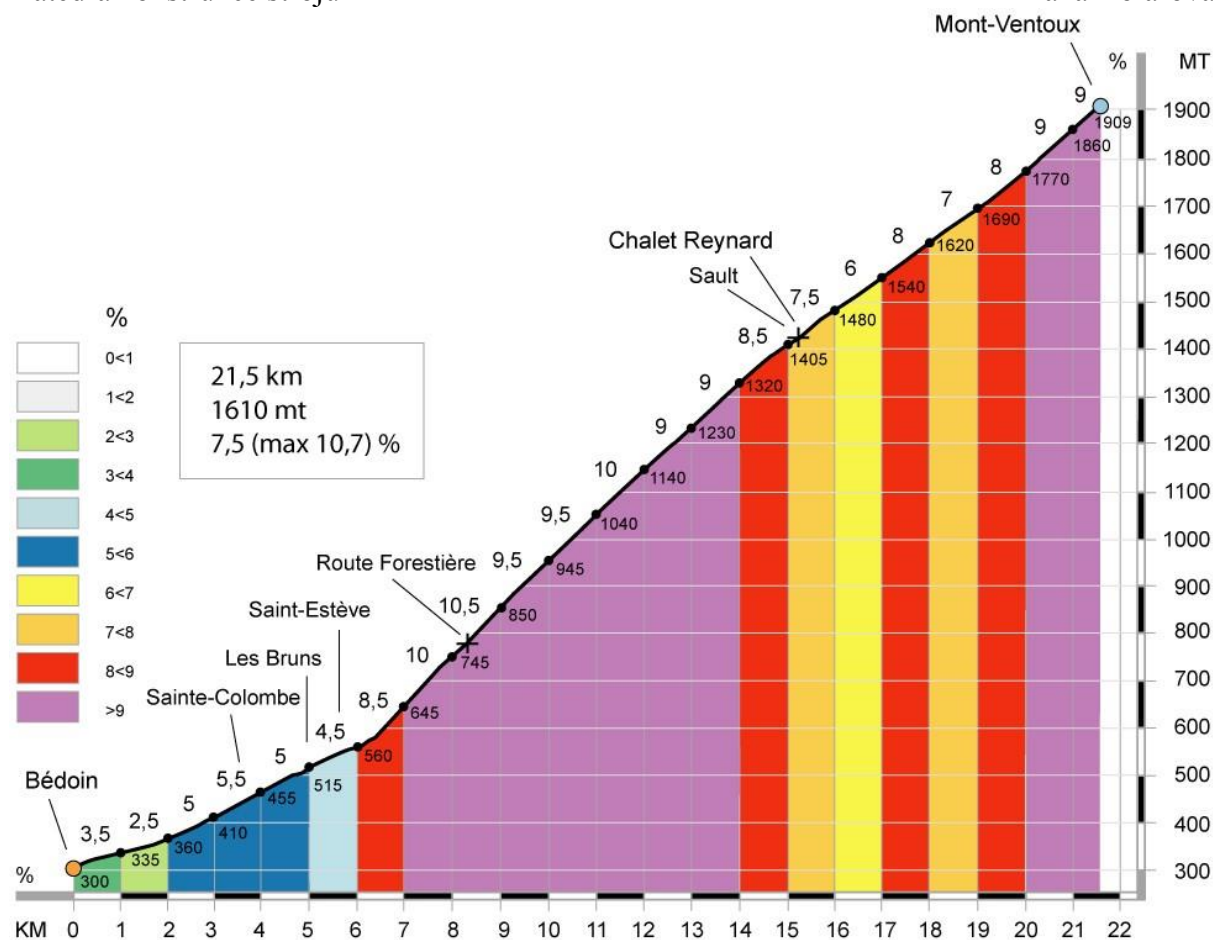
Odpor vzduchu je největším nepřítelem každého cyklisty. Špičkoví výrobci kol (hlavně kol na časovku) se snaží eliminovat odpor vzduchu a zajistit tak co největší aerodynamiku jezdce. Souvisí s tím jak tvar rámu, tak i usazení cyklisty na kole. Firmy testují jezdce i s koly v aerodynamickém tunelu a upravují nastavení kola tak aby odpor vzduchu byl co nejmenší, ale aby zároveň jezdec mohl šlapat co nejefektivněji. Celý proces probíhá tak, že výrobci testují aerodynamiku pomocí CFD (Computational Fluid Dynamics) proudění ve virtuálním prostoru s řadou tvarů a povrchů. Simulují tok různých kapalin přes různé tvary kola i polohy závodníka a zjišťují tak aerodynamické vlastnosti. CFD umožňuje vidět skrz simulace, co nemůžete vidět v reálném světě, jako malé "kousky" odporu na rámu. Je to velmi šikovný způsob, jak předpovědět aerodynamické chování pro vytváření prototypů kol, které se následně testují v reálném aerodynamickém tunelu. Další systém zde pak napomáhá optimalizaci aerodynamiky závodníka. Sbírá data ze síly, rychlosti, polohy jezdce a směr větru v okamžiku jeho dopadu na jezdce. Měří pak skutečný součinitel odporu závodníka. Informace získaných z tohoto testování pak umožní lépe odhadnout optimální polohu jezdce vzhledem k jeho aerodynamice i efektivnosti jeho výkonu.



Aerodynamický tunel [3] zdroj: www.scott-sports.com/cz/en/page/plasma5

2.2. Specifikace provozních podmínek

Jízdní podmínky jsou u silniční cyklistiky mnohem jednotnější, než například v terénní cyklistice. Jízda probíhá na silnici, která se může lišit pouze kvalitou povrchu. Náročná jízda je například na starých rozbitých silnicích, šterku nebo kostkách. Tvar tratě je dalším faktorem. Závod může být veden po silnicích různých šířek a ostrotí zatáček. Z hlediska odporu větru má vliv jízda údolím, nebo na návětrné plošině. Hlavním měřítkem náročnosti tratě je ale její sklon, případně převýšení v daném úseku závodu. Například hora Mont-Ventoux ve Francii je součástí tratě na Tour de France a zároveň je tzv. poutním místem cyklistů. Vyznačuje se velmi náročným stoupáním až na vrchol hory. Bývá také označována jako nejtěžší kopec světa. V roce 1967 zde zemřel jeden ze závodníků Tour, Tom Simpson, na úplné vyčerpání a dehydrataci.



Profil hory Mont- Ventoux [4] zdroj: [http://tel-est-ton-ventoux.blogs.afm-](http://tel-est-ton-ventoux.blogs.afm-telethon.fr/media/01/00/3129066441.JPG)

[telethon.fr/media/01/00/3129066441.JPG](http://tel-est-ton-ventoux.blogs.afm-telethon.fr/media/01/00/3129066441.JPG)

2.3. Specifikace konstrukčních skupin

Komponenty závodních kole se souhrnně označují jako „groupset“ neboli sada komponentů. Skládá se z řadicích pák, přesmykač, zadní přehazovačky, klik, pedálů, kazety ozubených koleček, řetězu a čelistových brzd. Kvalita sady určuje spolehlivost a kvalitu provozu kola. Závisí na ní i údržba, jakou kolo vyžaduje a přispívá k výkonu jezdce. Nejvýznamnější světoví výrobci komponentů jsou Shimano, Campagnolo a Sram. Jsou ale i výrobci, kteří produkují pouze některé součásti sady komponentů, například FSA. Tyto společnosti mají každá různé strategie a způsoby návrhu sady. Komponenty výrobců se většinou nedají mezi sebou kombinovat. Záleží tedy na cyklistovi samotném, jakého výrobce a způsob ovládání kola upřednostňuje. V roce 1990 začalo Shimano s výrobou dual ovládání, tedy použití brzdících pák zároveň jako řadicí. Vymizelo tedy řazení páčkami na spodní trubce rámu. V roce 2006 začali profesionální stáje využívat i nových elektronických variant ovládání.

Sada obsahuje servo pohon s baterií na přední a zadní přehazovače a elektronické řadící páky. Řazení tímto způsobem je velmi rychlé a přesné a nevyžaduje častý servis. Jeho nevýhodou je baterie, která se musí pravidelně dobíjet (cca 2x za rok). Komponenty jsou vyráběny z hliníku, oceli, titanu, karbonu a jejich kombinacemi.



Přehazovačka[5] zdroj: www.zweiradetzlstorfer.at

2.3.1. Analýza převodů

Existuje mnoho variant a kombinací převodů požitých na kole. Každý jezdec se proto může individuálně rozhodnout, jaké převody si na své kolo zvolí.

Přední kliky se vyrábí ve dvou variantách, klasické a compact. Disponují většinou 2 (dříve i 3) převodníky. Klasické mají standardně 53 a 39 zubů, compact 50 a 34 zubů. Je možné převodníky vyměnit např. na 53/38, nebo u compactu 52/36.

Zadní kazeta má 9-11 koleček. Rozsah kazety je standardně v 6 variantách: 11-23, 11-25, 11-28, 12-23, 12-25, 12-28.

Pro slabší cyklisty a cyklisty jezdící v kopcovitém terénu jsou vhodné kliky compact s převodníky 50/34 a kazeta 12-28.

Pro rovinatější terény a závody jsou vhodné klasické převodníky 53/39 a kazeta 11-23.

3. Hmotnostní analýza závodního kola

Snaha výrobců je docílit co nejnižší hmotnost kola za co nejnižší cenu. Váhový limit UCI (mezinárodní cyklistická unie) je 6,8kg. Vyrábějí se ale i lehčí kola, která toto pravidlo nespĺňují a jsou určena pro náročné zákazníky, kteří na UCI úrovni nezávodí.

3.1. Hmotnost rámu

Hlavním cílem je optimální poměr tuhosti, bezpečnosti a váhy rámu. Hliníkové rámy se pohybují v rozmezí 1200-1400 gramů. Ocelové mezi 1500-2000g. Karbonové ultra lehké rámy mají 900-1000g.

3.2. Hmotnost rámových komponent

Rozmezí hmotností závodních komponent:

Řídítka 190-300g

Sedlovka 180-350g

Sedlo 100-300g

Představec 110-170g

3.3. Hmotnost ovládacích komponent

Rozmezí hmotností závodních komponent:

Páky 280-500g

Přesmykač 70-100g

Zadní přehazovačka 160-220g

Kazeta 140-300g

Řetěz 250-270g

Kliky 550-700g

Brzdy 260-330g

3.4. Hmotnost vypletených kol

Hmotnosti vypletených kol dle druhu ráfku a náboje:

Zipp 303 1330g

Zipp 404 1440g

Mavic Ksyrium elite S 1520g

Mavic Ksyrium SLS 1400g

Mavic Axiom 1735g

3.5. Optimální návrh sestavení kola

3.5.1. Závodní kolo

Optimální poměr mezi: cena/výkon/váha

Rám: Focus Izalco, váha 1000g (50000Kč)

Osazení Shimano Ultegra 6700:

Kliky s převodníky	791g
řadicí páky	447g
přehazovačka	189g
přesmykač	89g
brzdy	317g
řetěz	267g
kazeta	209g
Celkem (cena)	2309g (17000Kč)

Sedlovka FSA SL-K Carbon 230g(1600Kč)

Řídítka FSA Energy New Ergo 272g (1600Kč)

Představec FSA SL-K Carbon OS 149g (1600Kč)

Sedlo Selle Italia SLS Kit Carbonio 210g (1500Kč)

2x Continental Ultra Race Kevlar 440g (1600Kč)

2x duše Rubena 100g (200Kč)

Zapletená kola Fulcrum racing zero AL 1440g (19000Kč)

Semi-integrované hlavové složení Ritchey Comp Press Fit 155g (400Kč)

Set bowdeny + lanka brzdový Dura Ace 200g (500Kč)

Set bowdeny + lanka řadící Dura-Ace 200g (300Kč)

Omotávka Fizik Superlight 100g (500Kč)

Objímka sedlovky Force, imbus 17g (100Kč)

Celkem bez rámu: 5747g (45800Kč)

Celé kolo: 6747g (95800Kč)

Pozn. Ceny a váhy jsou pouze orientační.

3.5.2. Sportovní kolo

Rám: Doratec cyborg hliník 1350g (15000Kč)

Osazení Shimano 150 5700:

Kliky s převodníky	936g
řadicí páky	492g
přehazovačka	232g
přesmykač	112g
brzdy	356g
řetěz	291g
kazeta	205g
Celkem (cena)	2624g(12000Kč)

Další komponenty:

Sedlovka Ritchey WCS 1-bolt AL 226g(1000Kč)

Silniční řídítka Ritchey Comp Curve 300g (700Kč)

Představec Ritchey COMP OS, 4-Axis 160g (700Kč)

Sedlo PPROLOGO KAPPA EVO T2.0 260g(1000Kč)

2x Continental Ultra Race Kevlar 440g (1600Kč)

2x duše Rubena 200g (200Kč)

Zapletená kola Fulcrum racing 5 AL 1690g (5400Kč)

Semi-integrované hlavové složení Ritchey Comp Press Fit 155g (400Kč)

Set bowdeny + lanka brzdový Dura Ace 200g (500Kč)

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní,
Katedra konstrukce strojů
Set bowdeny + lanka řadící Dura-Ace 200g (300Kč)

Diplomová práce, akad.rok 2014/15

Hana Kolářová

Omotávka Fizik Superlight 100g (500Kč)

Objímka sedlovky Force, imbus 17g (100Kč)

Celkem bez rámu: 6572g (24400Kč)

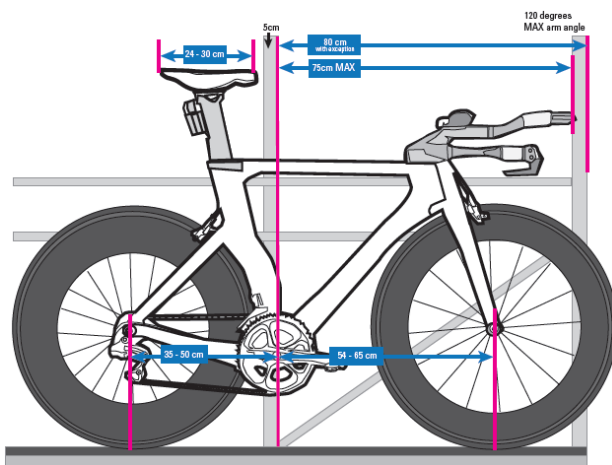
Celé kolo: 7922g (39400Kč)

Pozn. Ceny a váhy jsou pouze orientační.

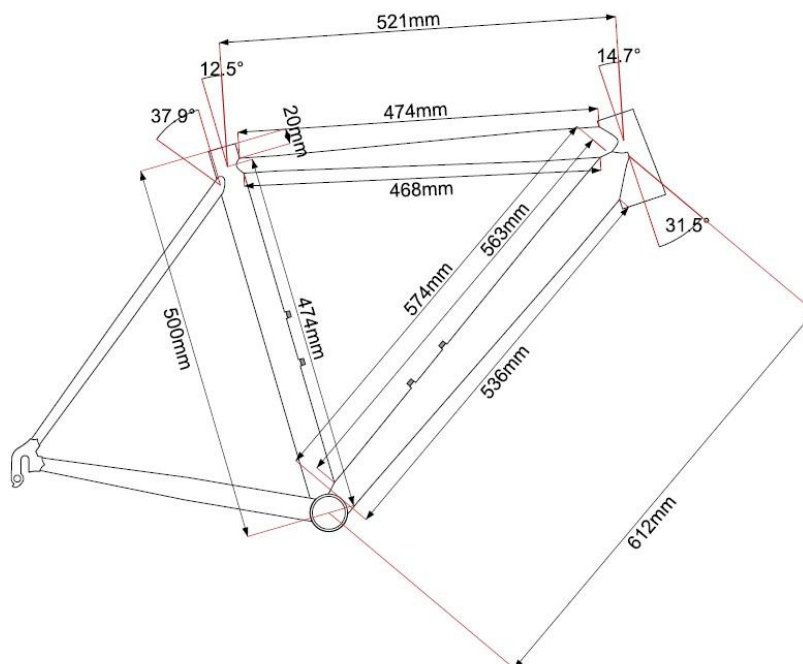
4. Rám silničního závodního kola

4.1. Geometrie rámu

Rám závodního kola musí splňovat regule mezinárodní cyklistické unie UCI. Rám musí být konstruován jako hlavní trojúhelník pomocí tří přímých trubek (horní rámová, dolní rámová a sedlová trubka). Tyto tři trubky a ostatní trubky rámu nemusí být válcového tvaru a většina firem používá alternativní tvary. Horní trubka bývá přibližně rovnoběžná se zemí, nebo směrem k sedlové trubce mírně skloněná (= sloping).



Geometrie rámu [6] zdroj: www.bikefit.com



Geometrie mého navrženého rámu dle BIKECad [7]

4.2. Používané materiály závodních rámu

Materiál, ze kterého se rám vyrábí, má zásadní vliv jak na váhu kola, jeho tuhost a pevnost, tak i na jeho jízdní vlastnosti a únavovou pevnost. Ocel je tradičním a prvním materiálem používaným na závodní rámy. Spolu s titanem nebo hořčíkem jsou dnes již v oblasti závodních kol na ústupu a objevují se především jen v kusové, ruční výrobě. To buď díky nevhodnými vlastnostmi, hlavně váhovým, nebo velkými nároky na zpracování a vysokou cenou. I možnosti návrhu tvaru jsou zde omezené. Dále se tedy zaměříme na dural a karbon kompozit.

4.2.1. Dural

I přesto, že jsou nyní karbonová kola běžným zbožím, jejich nevýhodou vždy bude vyšší pořizovací cena. Vývoj tak neustává ani u duralových směsí. Hlavním cílem je tedy snížení váhy a přiblížení se váze karbonových rámu. Nevýhodou duralových rámu je ale jejich nižší únavová pevnost a tuhost. I tak se některé duralové rámy přibližují k 1150 gramům. Modul pružnosti $E = 70 \text{ GPa}$.

4.2.2. Karbon kompozit

Karbon je nejmodernějším cyklistickým materiálem již několik let. Váha rámu se pohybuje mezi 900-1000g, což je výrazně méně než u ostatních materiálu. Díky anizotropním vlastnostem je ale křehčí a při nečekaném rázu může prasknout. Moderní technologie ale i tuto nevýhodu postupně odstraňují používáním různých směrů vláken ve vrstvách kompozitu. Vyznačuje se i vysokou tuhostí a chemickou stálostí. Další výhodou je snadná tvarovatelnost a výrazný pokles nákladů při sériové výrobě. Modul pružnosti $E = 200 \text{ GPa}$.

4.2.3. Hlavní rozdíly

Karbon je o lehčí, téměř libovolně tvarovatelný a je snadné jej udělat velmi tvrdý pomocí navrstvení v určitém místě, nebo naopak poddajný pro větší komfort. To vše se odráží ve vyšší ceně jak vlastního materiálu, tak vysokým nutností ruční práce při jeho výrobě a dokončovacích pracích. Dural je výrazně levnější a paradoxně i konstrukce rámu je mnohem náročnější. Je to dané hlavně rozdílným postupem výroby.

4.3. Technologie výroby

Výrobci si střeží své „know how“ a prozrazují jen náznaky o postupech vlastní výroby. Liší se hlavně z hlediska sériovosti. Jiné postupy budou prováděny při sériové a jiné při kusové výrobě.

4.3.1. Malosériová výroba

Je několik teoretických variant jak je možné rám vyrobít. Jsou různé postupy pro „garážovou“, ruční výrobu a všechny jsou prakticky individuální a diskutabilní. Velmi používané jsou nakupované karbonové trubky, které se různými způsoby spojují a lepí. Často se nasouvají do samostatných spojek a následně zajistí lepidlem, případně omotáním vláknem, nebo přelepením spoje kusem tkaniny. Dalším způsobem je postupné navrstvování tkaniny a lepidla ve vrstvách na předem připravený model. Postupy se mohou různě kombinovat a prolínat. Dříve se používaly na spojení trubek hliníkové spojky, ale příliš se to neosvědčilo. V místě spojů rámy praskaly. Důvodem byly rozdílné mechanické vlastnosti hliníku a karbonu a nutnost spojení obou materiálů lepidlem. Někteří výrobci kombinují karbonové vlákno se skelným zvláště u rekreačních rámu. Hmotnost tak zůstává stejná a rám více pruží, čímž je pro jezdce komfortnější.

4.3.2. Velkosériová výroba

Velké firmy se předhánějí v technologiích. Každý se snaží vymyslet něco nového, originálního a vylepšeného. Např. zlepšení jízdních vlastností zúžením nebo zešílením trubek v některých místech, rozdílná orientace vláken ve vrstvách, použití různých druhů karbonového kompozitu (s neurčitou geometrií) a další. Hlavním principem velkosériové způsobu je výroba finančně nákladné ocelové formy pro každou specifickou geometrii a velikost rámu. To je hlavní důvod proč se tento postup vyplatí jen velkým výrobcům. Karbonová tkanina se vloží do formy, zevnitř se pod tlakem přivede vzduch, aby přilnula do formy, a celá takto připravená forma s tkaninou se vytvrdí v peci při teplotě cca 500 °C. Rám se následně vyjme s formy a provedou se dokončovací úpravy, jako přesnosti rozměrů a broušení některých důležitých částí na přesný rozměr (místa vložení ložisek). Někdy se rám lepí z 2-3 částí. Poslední fází je lepení log, barvení a lakování.

4.4. Popis normy pro testování rámu závodních silničních kol EN

14781:2005 (E)

EN 14781 je evropská norma popisující mechanické testování cyklistických rámu. Předepisuje maximální deformace rámu ve 3 zatěžovacích stavech. Testování je povinné pro výrobce při produkci více jak 5 rámu stejného typu.

4.4.1 Rázový test- ráz hmoty

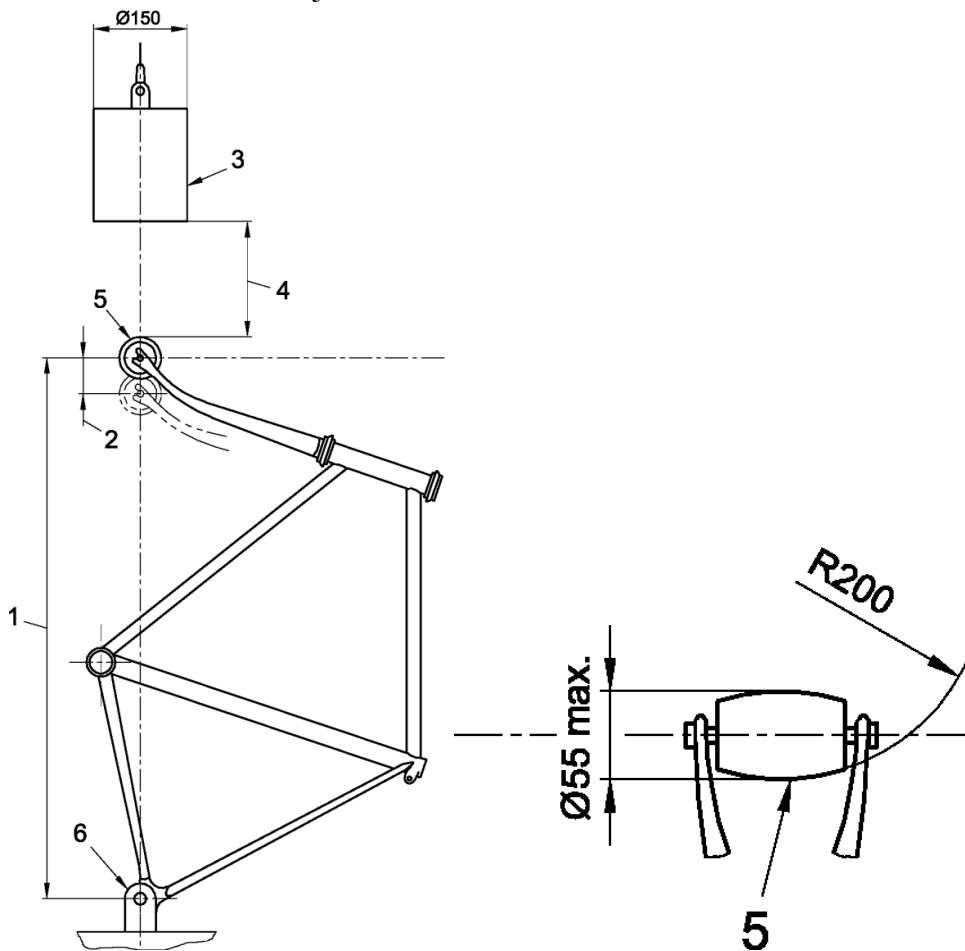
Norma popisuje nároky na testování rámu. Při testování pomocí popsanych metod nesmí být viditelné žádné trhliny nebo lomy v sestavě ani po druhém nárazu. Nesmí dojít k oddělení dílů. Posunutí jsou měřeny mezi osami náprav kol. Nesmí překročit hodnotu 30 mm v místě vložení vidlice.

Testovací metoda:

Vložíme váleček o hmotnosti menší nebo rovnající se 1 kg s rozměry, které odpovídají těm, které jsou znázorněny na obrázku 8, do vidlice.

Uchytíme rám a vidlici ve svislé poloze a upneme pevným úchytem k uchycovacím bodům zadní nápravy, jak je znázorněno na obrázku 8.

Uvolníme hmotu o váze 22,5 kg zatěžující váleček ve vidlici vložený v místě úchyt u předního kola a změříme rozvor kol. Zvedneme hmotu do výšky 212 mm z klidové polohy lehkého válečku a uvolníme ji tak, aby udeřila váleček v bodě spojnice středů kol a směru sklonu vidlice. Hmota se odrazí. Až se hmota ustálí na válečku, změříme rozvor kol znovu. Odečteme změřený rozměr v nezatíženém stavu a získáme trvalou deformaci.



Rázový test- ráz hmoty [8]

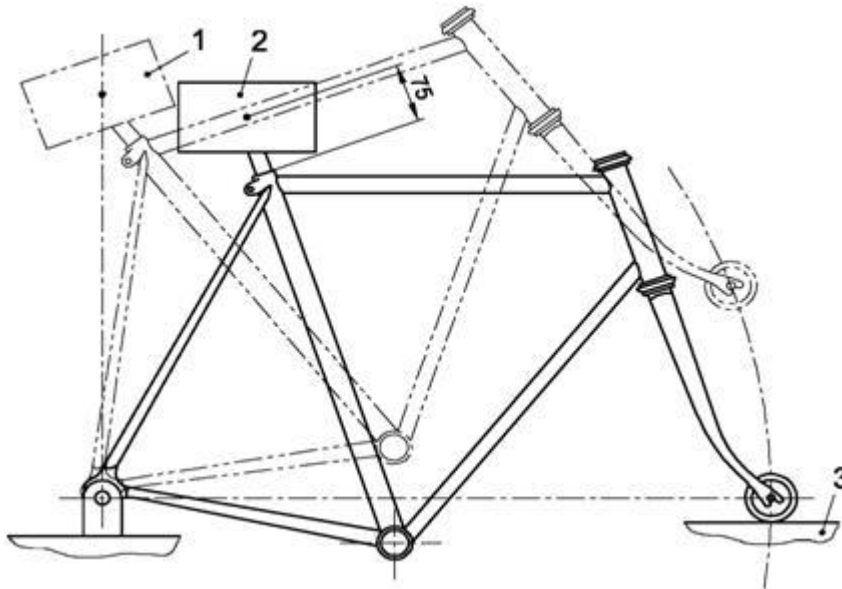
4.4.2. Rázový test- ráz rámu:

Norma popisuje nároky na testování rámu. Při testování pomocí popsáných metod nesmí být viditelné žádné trhliny nebo lomy v sestavě ani po druhém nárazu. Posunutí měříme mezi osami náprav kol. Nesmí překročit 15 mm v sestavě rámu s vidlicí a nesmí dojít k oddělení dílů.

Testovací metoda:

Provedení testu na sestavě je znázorněno na obrázku 9. Uchytíme sestavu rámu a vidlice k uchycovacím bodům zadní nápravy, tak, aby se mohl volně otáčet kolem osy zadního kola. Podepřeme přední vidlici ocelovou kovádkou tak, že rám je ve své běžné provozní poloze. Bezpečně zafixujeme zátěžnou hmotu o váze 70 kg na sedlovou trubku, jak je znázorněno na obrázku 9. Poloha těžiště hmoty je ve vzdálenosti 75 mm podél sedlové trubky od místa jejího vložení. Změříme rozvor kol sestavy s vloženou hmotou. Otočíme sestavu kolem osy zadní nápravy až do rovnovážné polohy. Potom sestavu necháme volně spadnout a narazit na

kovadlinu. Opakujeme test znovu a následně změříme rozvor kol sestavy s vloženou hmotou a válečkem spočívajícím na kovadlině. Odečteme změřený rozměr v nezatíženém stavu a získáme trvalou deformaci.



Rázový test- ráz rámu [9]

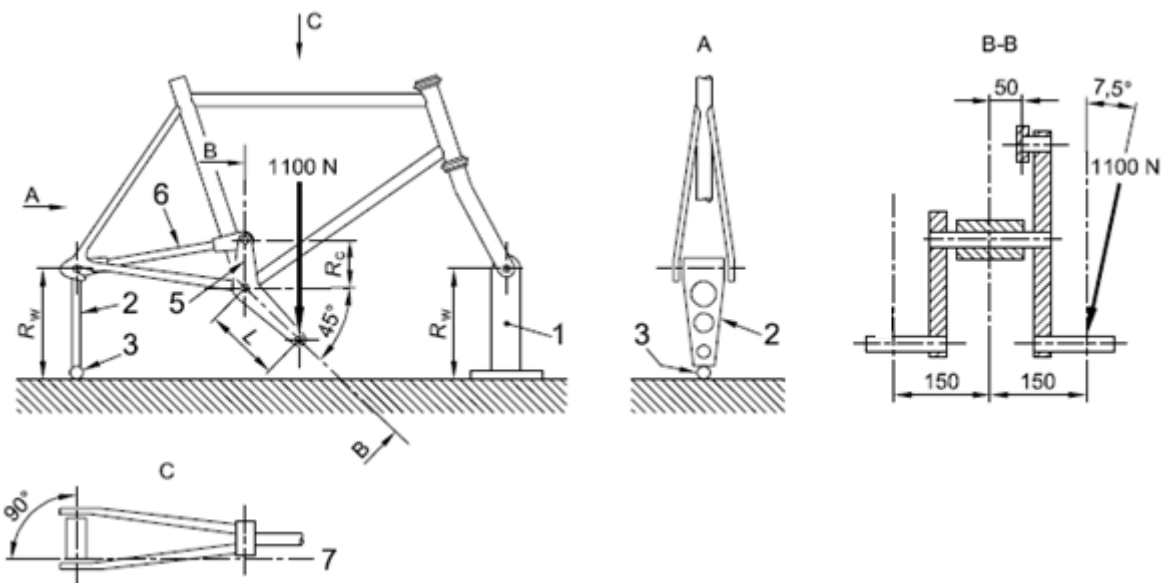
4.4.3 Únavový test se silami šlapání

Norma popisuje nároky na testování rámu. Při testování pomocí popsaných metod nesmí být viditelné žádné trhliny nebo lomy v sestavě ani po 100 000 cyklech zatížení. U rámu z uhlíkových vláken se během zkoušky v místech, kde působí zkušební síly, nesmí zvýšit maximální vychýlení rámu o více než 20% počáteční hodnoty.

Testovací metoda:

Uchytíme sestavu rámu a vidlice do držáku. Zajistíme pevnou vazbou zadní nápravu tak aby se mohla otáčet kolem os kolmých na směr jízdy. Přední osa vidlice je pevně uchycena s možností rotace kolem osy předního kola.

Schéma zatížení je znázorněno na obrázku 10. Velikost zatěžovací síly je 1100N.

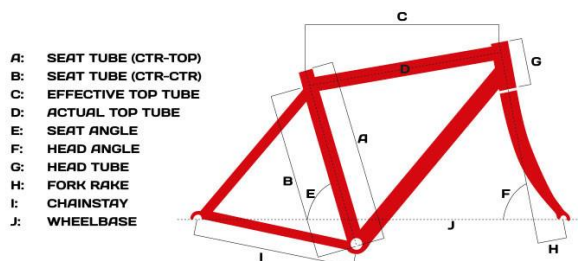


Únavový test se silami šlapání [10]

5. Analýza variant typů rámců

5.1. Varianty používaných rámců

Specialized Tarmac



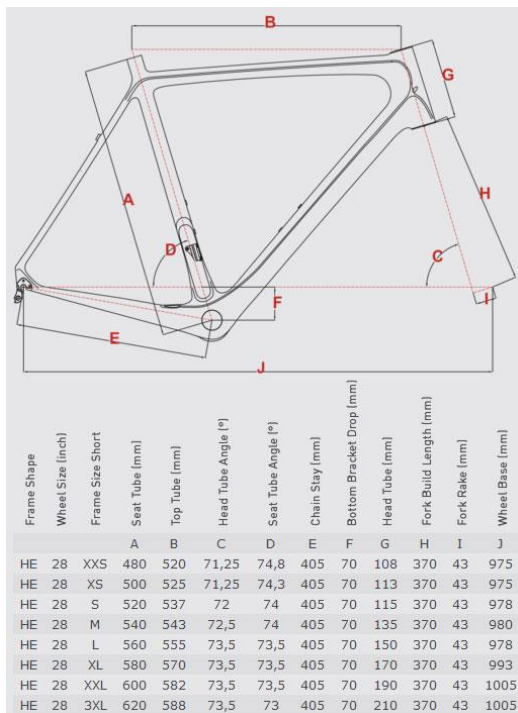
SIZE	A SEAT TUBE (CTR-TOP)	B SEAT TUBE (CTR-CTR)	C EFFECTIVE TOP TUBE	D ACTUAL TOP TUBE	E SEAT ANGLE	F HEAD ANGLE	G HEAD TUBE LENGTH	H FORK RAKE	I CHAINSTAY	J WHEELBASE
49	460	-	518	-	75.5	72.25	100	62	405	970
52	490	-	537	-	74	73	120	57	405	970
54	510	-	548	-	73.5	73	145	57	405	978
56	530	-	565	-	73.25	73.5	170	56	405	986
58	550	-	582	-	73	73.5	205	56	407	1003
61	580	-	600	-	72.5	74	230	53	410	1013

Geometrie rámu [11] zdroj:

<http://www.sigmasport.co.uk/media/F4/1400/650/Miscellaneous/Specialized-Tarmac.jpg>



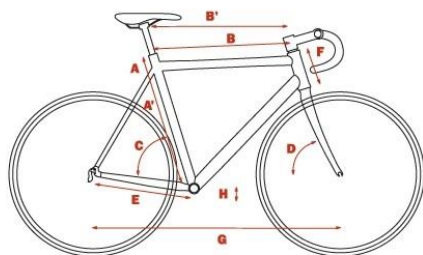
Jízda na kole varianta 1 [12] zdroj: archiv Hana Kolářová



Geometrie rámu [13] zdroj: http://www.pedalpowerjisy.com/wp-content/uploads/2013/02/izalco_pro_2013_geometry.jpg



Jízda na kole varianta 2 [14] zdroj: archiv Hana Kolářová



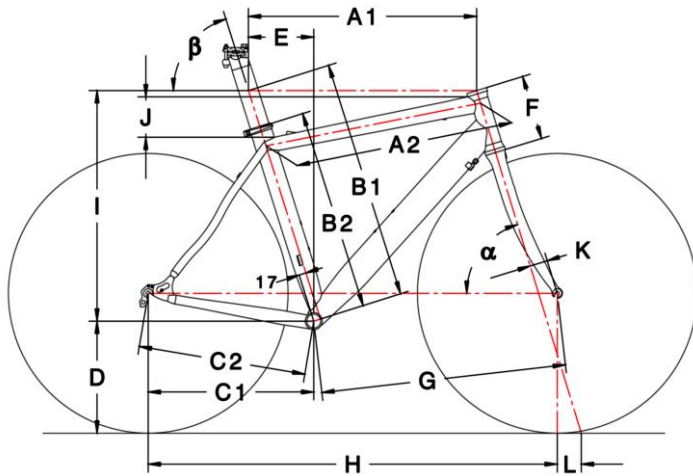
Framesize	50cm	53cm	56cm	58cm	60cm	62cm
Seat tube mm	A 460	490	520	540	560	580
Seat tube Center-Center mm	A' 404	438	468	490	507	528
Top tube mm	B 504	516	531	545	555	567
Top tube - horizontal mm	B' 520	530	545	560	570	585
Seat tube angel Degree	C 74,5	74,0	73,5	73,0	73,0	72,5
Head tube angel Degree	D 71,5	71,5	72,0	73,0	73,0	73,5
Chain stays mm	E 405	405	405	405	405	405
Head tube mm	F 120	130	145	165	185	205
Wheelbase mm	G 985	989	991	992	1002	1012
Bb-height to hub mm	H -68	-68	-65	-65	-65	-65

Geometrie rámu [15] zdroj: <http://www.cyclesuperstore.ie/shop/pc/catalog/geo/cube13/agree-pro.jpg>



Jízda na kole varianta 3 [16] zdroj: www.paderline.de

Duratec Cyborg R14



FRAME SIZE VR		Typical Rider Height	Effective Top Tube Length	Actual Top Tube Length	Effective Seat Tube Length	Seat Tube Length to Top	Effective Chainstay length	Actual Chainstay length	Bottom Bracket Height	Seat Tube - Bottom Bracket horizontal	Head Tube Length	Freedom of toe	Wheelbase	Maximum high	Sloping - slope of Top Tube	Fork rake	Trail	Head Tube Angle	Seat Tube Angle
cm	inch	V-cm	A1- mm	A2- mm	B1- mm	B2- mm	C1- mm	C2- mm	D- mm	E- mm	F-mm	G- mm	H- mm	I-mm	J- mm	K- mm	L- mm	α - °	β - °
CYBORG R14 - ROAD SERIES																			
52	20,5	159- 165	539,0	518,8	536,1	450,0	399,0	404,9	268,0	140,5	115,0	589,1	984,1	517,7	92,0	43,0	61,2	72,5	73,0

Geometrie rámu [19] zdroj: www.duratec.cz



Jízda na kole varianta 5 [20] zdroj: archív Hana Kolářová

5.3. Hodnocení variant, výběr optimální

MODEL KOLA	POUŽITÍ	TECHNOLOGIE VÝROBY, SÉRIOVOST	PŘIBLIŽNÉ NÁKLADY NA RAM	HMOTNOST, MATERIÁL	SUBJEKTIVNÍ JÍZDNÍ VLASTNOSTI	HODNO CENÍ
1. Specialized Tarmac	Závodní kolo vhodné pro hobby závodníky, ženy	Velkosériová, 6 velikostí	40 000 Kč	1050g, Karbon	Velmi tuhý rám, sportovní pohodlnější geometrie	2
2. Focus Izalco	Závodní kolo, vhodné pro vrcholové sportovce	Velkosériová, 8 velikostí	50 000 Kč	1000g, Karbon	Velmi tuhý rám, závodní geometrie s těžištěm vpřed	1
3. Cube Agree	Sportovní kolo	Velkosériová, 6 velikostí	30 000 Kč	1100g, Karbon	Tuhý rám, sportovní až rekreační geometrie	3
4. Craddock	Sportovní kolo, pro náročného jezdce	malosériová, geometrie na míru	60 000 Kč	1200g, Karbon	/	2
5. Duratec Cyborg	Sportovní kolo	malosériová, geometrie na míru	15 000 Kč	1350g, hliník	Tuhý rám, závodní geometrie s těžištěm vpřed	2

Tabulka hodnocení variant[21]

Kvalita kola (rámu) ne vždy závisí na jeho pořizovací ceně. Cenu do značné míry ovlivňuje popularita a propagace značky kola. Cenu může ovlivnit i módní trend a design.

Jako optimální typ závodního rámu se z mého pohledu jeví varianta číslo 2. Oproti ostatním je navržena speciálně pro závodní účely. To se vyznačuje hlavně jeho vysokou tuhostí.

Nevýhodou použití např. pro nezávodní účely může být menší komfort a vyšší pořizovací cena.

Geometrie zkoumaného rámu byla navržena na základě rámu varianty č. 2. Viz kapitola 4.1.

5.4 Kritická místa, příklady prasklin

5.4.1. Oblast středu šlapání kola



Prasklina rámu [22] zdroj: <http://img.photobucket.com/albums/v256/Darkstars/Untitled-2.jpg>

5.4.2. Oblast hlavové trubky



Prasklina rámu [23] zdroj: <https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRz-Kj7WJcVjzaCyh9-j6BHOpgkMpzcGOGjbm8vBvEmZVRUA>



Prasklina rámu [24] zdroj:

http://3.bp.blogspot.com/V54WWNeyp4/TBeI9eMENPI/AAAAAAAAACY4/WTMI9Q9_qSk/s1600/broken_bike.jpg

5.4.3. Horní část sedlové trubky



Prasklina rámu [25] zdroj:

<http://hoopedoodle.typepad.com/.a/6a00d8345214b769e200e5536043898833-500wi>

5.4.4 Praskliny hliníkových rámu



Prasklina rámu [26] zdroj: <http://squarezero.org/blogpix/2007/crackXL.jpg>



Prasklina rámu [27] zdroj: https://encryptedtbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQERnG0HjbNerBKwNiemTbBsBRq0AbE55Dc1YzDWh_z5tUuhDBIwg

6. Testování rámu- MKP analýza, optimalizace

Nejprve zjistím předpokládané namáhání rámu a zatěžovací stavy dle normy EN 14781:2005 (E). Dále navrhnu několik variant tloušťky trubek rámu, které se liší hlavně hmotností rámu a různou tuhostí v kritických oblastech. Srovnám návrhy s výsledky testů výrobců karbonových rámu a analýzy hliníkového rámu. Na základě srovnání vyberu optimální variantu tloušťky a tedy i hmotnosti rámu. Dalším krokem je návrh variant orientace vláken, z kterých vyberu ideální pro požadované namáhání.

Cílem analýzy je porovnávání hodnoty posunutí získaných z reálných mechanických zkoušek (firma NUD bikes). Reálné hodnoty budou porovnány s výsledky provedených výpočtu MKP. Následně bude provedena optimalizace navrženého modelu rámu z hlediska tloušťky jednotlivých vrstev a skladby vrstev laminátu.

Vzhledem k idealizaci modelu rámu v místě spojení jednotlivých trubek, není možné v těchto místech očekávat přesné hodnoty napětí. Dále vzhledem k předpokládané ruční výrobě kladením jednotlivých vrstev tkaniny nelze postavit přesný model rámu v místech spojení trubek a nepřesnost orientace vláken reálně nakladených vrstev a vrstev namodelovaných v těchto místech může mít za následek značný rozdíl mezi napětím reálným a napětím spočítaným. Z tohoto důvodu napětí nebude hodnocena a analýza bude zaměřena pouze na porovnávání deformací.

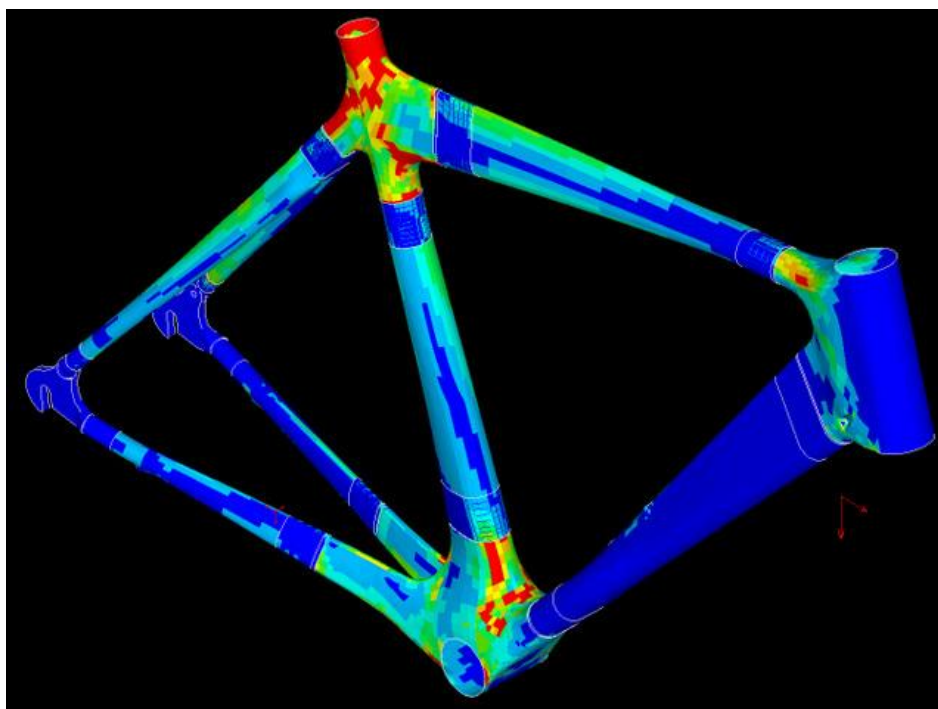
6.1. Působící síly a reakce na rám

Analýza sil a reakcí působících na rám v různých zatěžovacích stavech je převzata z výzkumu TU Wein v závislosti na mechanickém testu dle normy EN 14781:2005 (E) a dále podrobně zpracována v diplomové práci p. Bartošky.

Citace: Jan Bartošek, Návrh výpočtového modelu kompozitového cyklistického rámu

Z výsledků práce vyplývá, že rám má 3 hlavní kritická místa:

- 1) Horní část spodní rámové trubky
- 2) Zadní část horní rámové trubky
- 3) Oblast spojů hlavové trubky s horní a dolní rámovou trubkou



Namáhání rámu [28] zdroj: www.mtbs.cz

6.1.2. Návrh zatěžovacích stavů

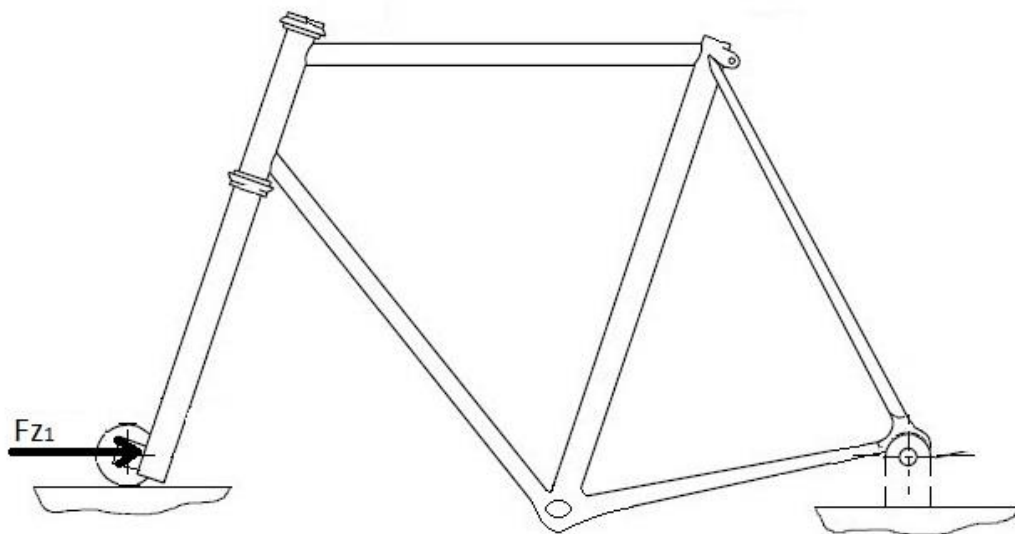
Pro zjištění velikosti deformací v těchto místech použijeme následující zatěžovací stavy:

6.1.2.1. Brždění



Brždění při jízdě[29] zdroj:www.cyclist.cz

Návrh zatížení dle normy EN 14781, odstavec 4.8.2.:

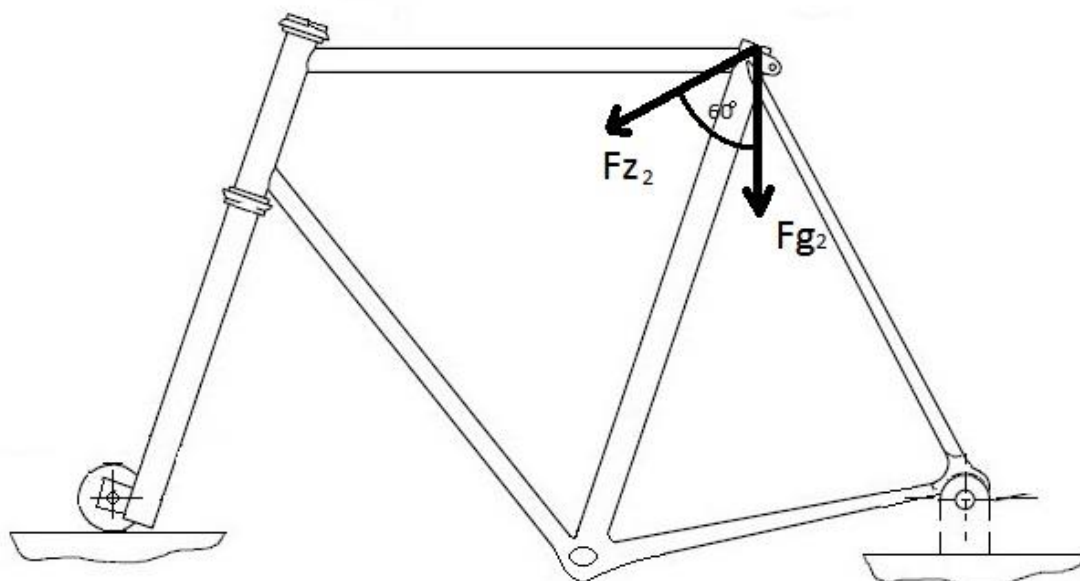


Síla při brždění [30]

6.1.2.2. Doskok na vozovku



Doskok na vozovku [31] zdroj: www.roadbikereview.com



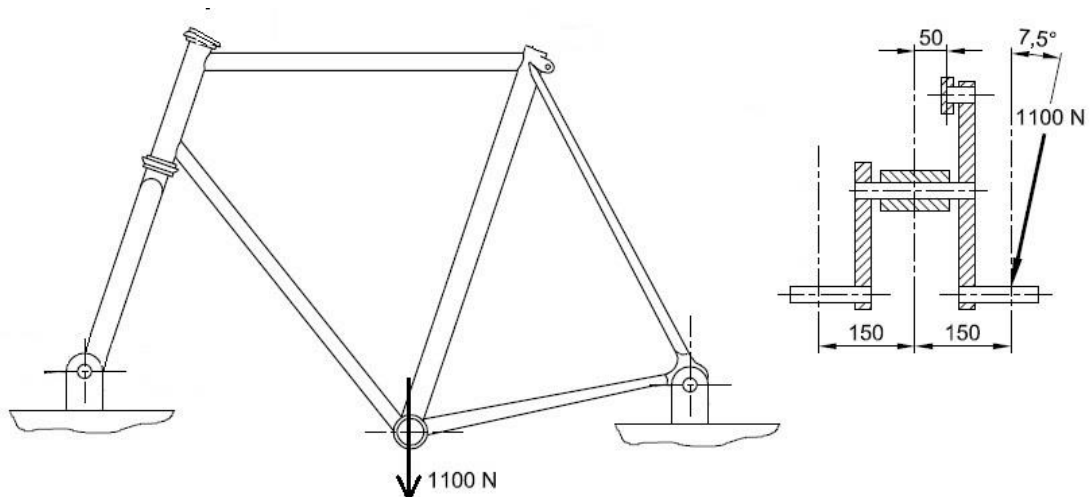
Návrh zatížení dle normy EN 14781, odstavec 4.8.3 [32]

6.1.2.3. Průjezd pravou zatáčkou

- Levý pedál je v tomto případě zatěžován tlakově a pravý tahově. Dle normy je rám zatěžován dynamicky a je zde zjišťována únava materiálu a deformace. Pro zjednodušení výpočtu jej zatížíme pouze staticky a vyhodnotíme jen deformaci.



Průjezd zatáčkou [33] zdroj: archiv Hana Kolářová



Návrh zatížení dle normy EN 14781, odstavec 4.8.4. [33]

6.1.3. Výpočet zatěžovacích sil pro jednotlivé návrhy**Stanovení posunutí rámu vlivem rázu a tíhy pro případ dle normy 4.8.2.**

- MKP – zatížení jednotkovou silou $F = 100 \text{ N}$ v místě 2 a stanovení posunutí v místě 2: Δ

- Stanovení tuhosti rámu v místě 2: $k_1 = \frac{F}{\Delta}$

- Výpočet síly při rázu:

$$m * g * h = \frac{1}{2} k_2 \Delta_{21}^2 = \frac{1}{2} \frac{F_{21}^2}{k_2} \dots\dots\dots \text{z toho vyplývá:}$$

$$F_{Z1} = m * g + \sqrt{2m * g * h * k_1} \dots\dots\dots \text{síla způsobená rázem a tíhou}$$

- MKP – zatížení silou F_{21} – stanovení posunutí v místě 2: Δ_{21}

Stanovení posunutí rámu vlivem rázu a tíhy pro případ dle normy 4.8.3.

- MKP – zatížení jednotkovou silou $F = 100 \text{ N}$ v místě 2 a stanovení posunutí v místě 2: Δ

- Stanovení tuhosti rámu v místě 2: $k_2 = \frac{F}{\Delta}$

- Výpočet síly F_{21} při rázu:

$$m * g * h = \frac{1}{2} k_2 \Delta_2^2$$

$$F_{21} = F_{21} = k_2 * \Delta_{21}$$

$$m * g * h = \frac{1}{2} k_2 \Delta_{21}^2 = \frac{1}{2} \frac{F_{21}^2}{k_2}$$

$$F_{Z2} = \sqrt{2m * g * h * k_2} \dots\dots\dots \text{dynamická síla způsobená rázem}$$

$$F_G = mg \dots\dots\dots \text{statická síla tíhová}$$

- MKP – zatížení silou F_{21} a tíhovou silou F_G – stanovení posunutí v místech určených normou

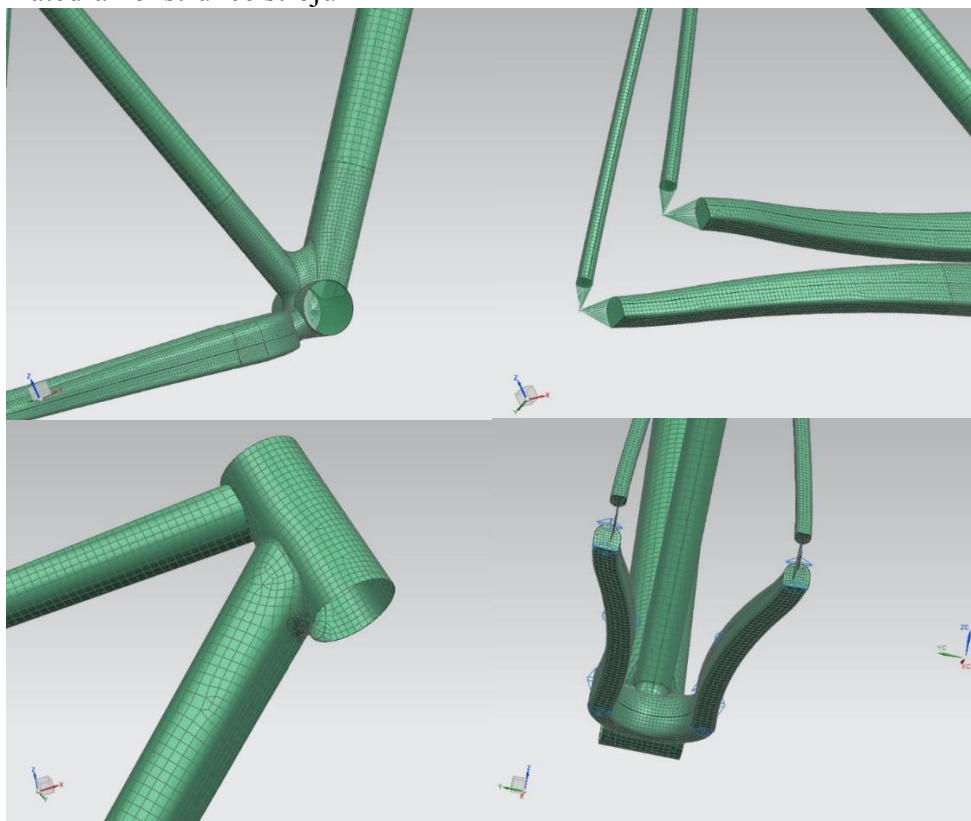
	F_{z1}	F_{z2}	F_{g2}	K_1	K_2
<i>Varianta A</i>	6724N	8707N	686N	452	1000
<i>Varianta B</i>	6423N	8414N	686N	411	934
<i>Varianta C</i>	5694N	7550N	686N	320	751
<i>Varianta D</i>	5374N	6581N	686N	284	571
<i>Varianta E</i>	5947N	7494N	686N	350	740

Tabulka vypočtených sil a tuhostí [34]

6.2. Návrh sítě a materiálu

6.2.1. Sít'

Model rámu kola byl vytvořen pomocí 2D PCOMP elementů v modulu Laminate modeler programu Siemens NX 9.0. Pro vložení okrajových podmínek byla sít' idealizována pomocí nekonečně tuhých RBE2 prvků a spojena s 2D sítí. Sít' byla navržena s ohledem na předpokládané namáhání rámu. Sít' je zhuštěná v oblasti středu šlapání a spojuje s hlavovou trubicí, tedy v nejvíce zatěžovaných místech. U středu délek trubek zůstává sít' méně hustá s pravidelnými čtverci.



Návrh sítě [35]

6.2.2. Použitý materiál

Kompozitní materiály tvořené uhlíkovými vlákny a epoxydovým lepidlem složený z:

- jednosměrného karbonového vlákna T700

Tenax®-E HTS45, 12k, 800 tex, tl. 0.13mm

Hustota: 1.80 g/cm³

Modul pružnosti: E= 230GPa

Pevnost v tahu: 490MPa

- epoxidu L 285

Hustota: 1.18 g/cm³

Modul pružnosti: E= 3GPa

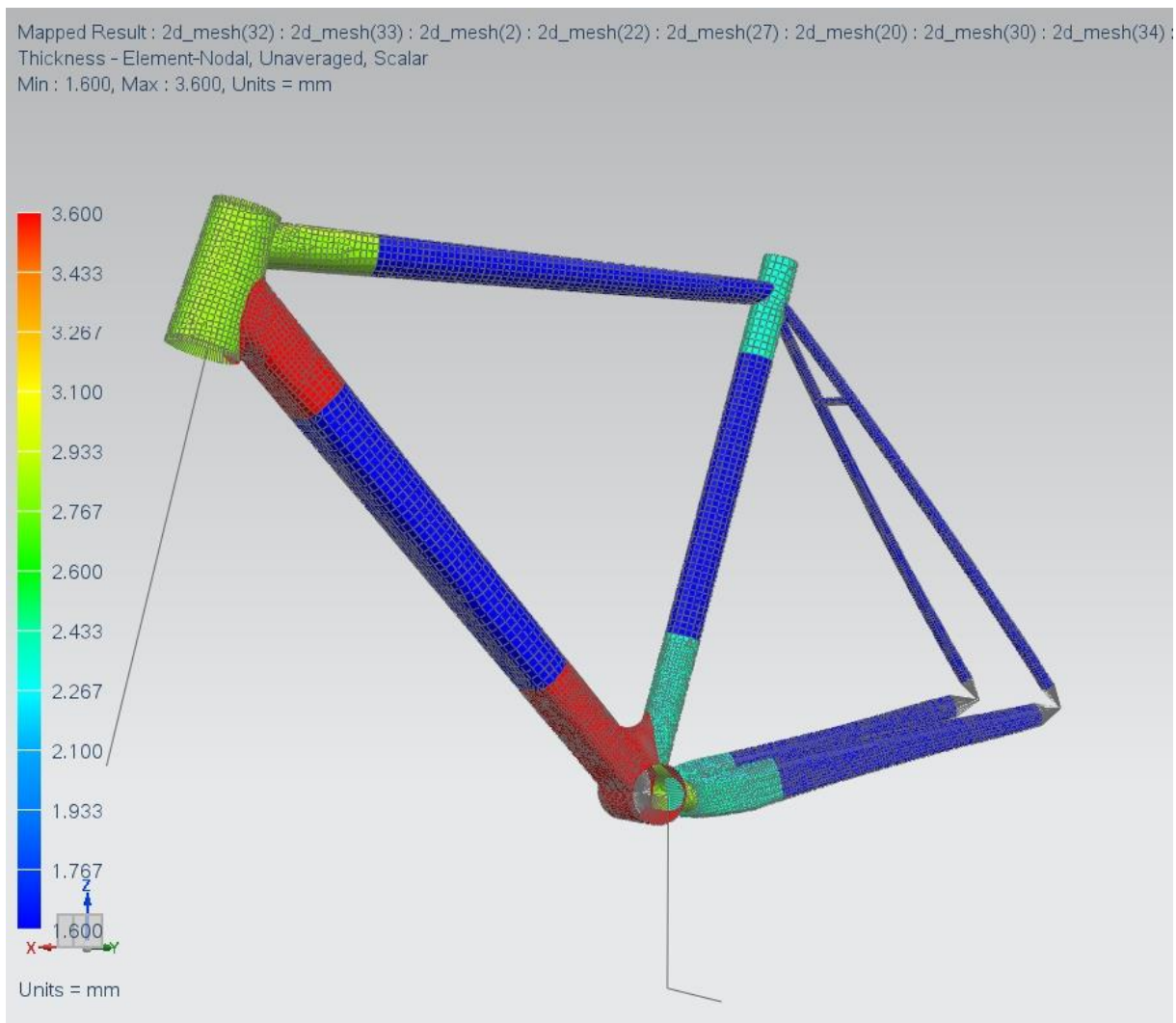
Pevnost v tahu: 80MPa

6.3. Návrh tloušťky trubek

Bylo navrženo několik variant tloušťky trubek v různých oblastech rámu. Jsou zde použity vrstvy s nulovou orientací vláken, dále s orientací $+30^\circ$ a -30° . Varianty jsou dále testovány dle zatěžovacích stavů v kapitole 6.1.2.

6.3.1. Varianta A

Rám byl rozdělen do jednotlivých oblastí dle předpokládaného namáhání. V první variantě je navržena tloušťka stěny v rozmezí od 1.6mm do 3.6mm. Váha rámu je 1.15 Kg.



Hmotnostní varianta A [36]

Thickness	Angle	Ply	Material
0.200	0.0	7	Weven1
0.200	-30.0	6	Unidirectional1
0.200	30.0	6	Unidirectional1
0.200	0.0	4	Unidirectional1
0.200	-30.0	3	Unidirectional1
0.200	30.0	3	Unidirectional1
0.200	0.0	1	Unidirectional1
0.200	0.0	8	Unidirectional1

Number of Plies: 8 Thickness: 1.600e+000 mm

Thickness	Angle	Ply	Material
0.200	0.0	13	Weven1
0.200	0.0	10	Unidirectional1
0.200	-30.0	9	Unidirectional1
0.200	30.0	8	Unidirectional1
0.200	0.0	14	Unidirectional1
0.200	0.0	7	Unidirectional1
0.200	-30.0	20	Unidirectional1
0.200	30.0	19	Unidirectional1
0.200	0.0	18	Unidirectional1
0.200	-30.0	17	Unidirectional1
0.200	30.0	16	Unidirectional1
0.200	0.0	16	Unidirectional1

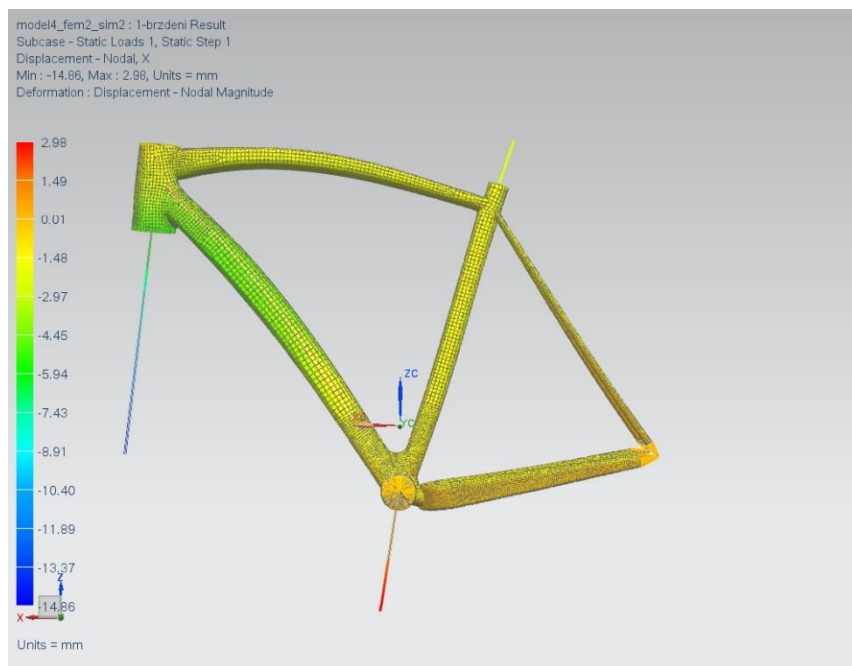
Number of Plies: 14 Thickness: 2.800e+000 mm

Thickness	Angle	Ply	Material
0.200	0.0	16	Weven1
0.200	-30.0	16	Unidirectional1
0.200	30.0	14	Unidirectional1
0.200	0.0	13	Unidirectional1
0.200	-30.0	12	Unidirectional1
0.200	30.0	11	Unidirectional1
0.200	0.0	10	Unidirectional1
0.200	-30.0	9	Unidirectional1
0.200	30.0	8	Unidirectional1
0.200	0.0	7	Unidirectional1
0.200	-30.0	22	Unidirectional1
0.200	30.0	21	Unidirectional1
0.200	0.0	20	Unidirectional1
0.200	-30.0	19	Unidirectional1
0.200	30.0	18	Unidirectional1
0.200	0.0	17	Unidirectional1
0.200	-30.0	24	Unidirectional1
0.200	30.0	23	Unidirectional1

Number of Plies: 12 Thickness: 2.400e+000 mm

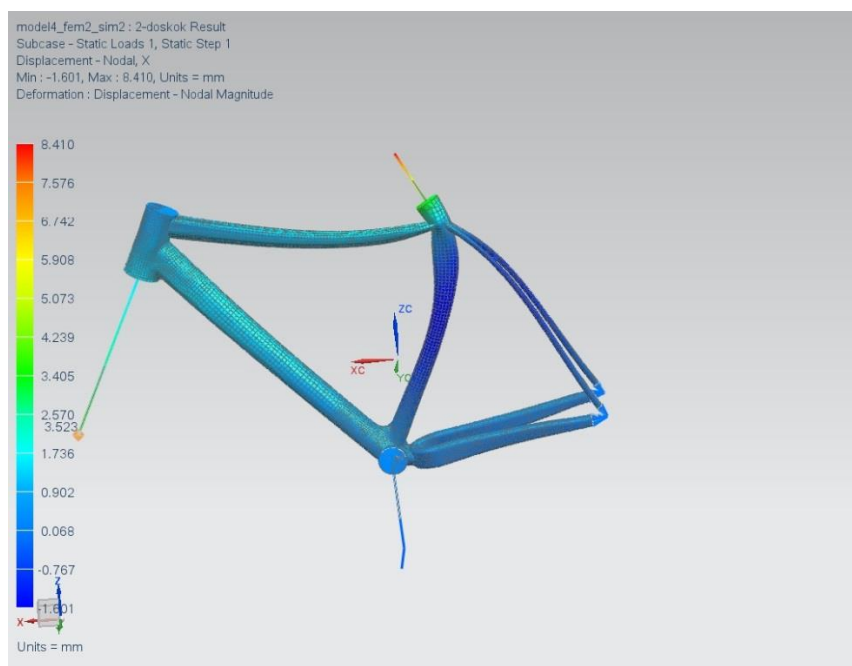
Number of Plies: 18 Thickness: 3.600e+000 mm

Návrh vrstev laminátu [37]



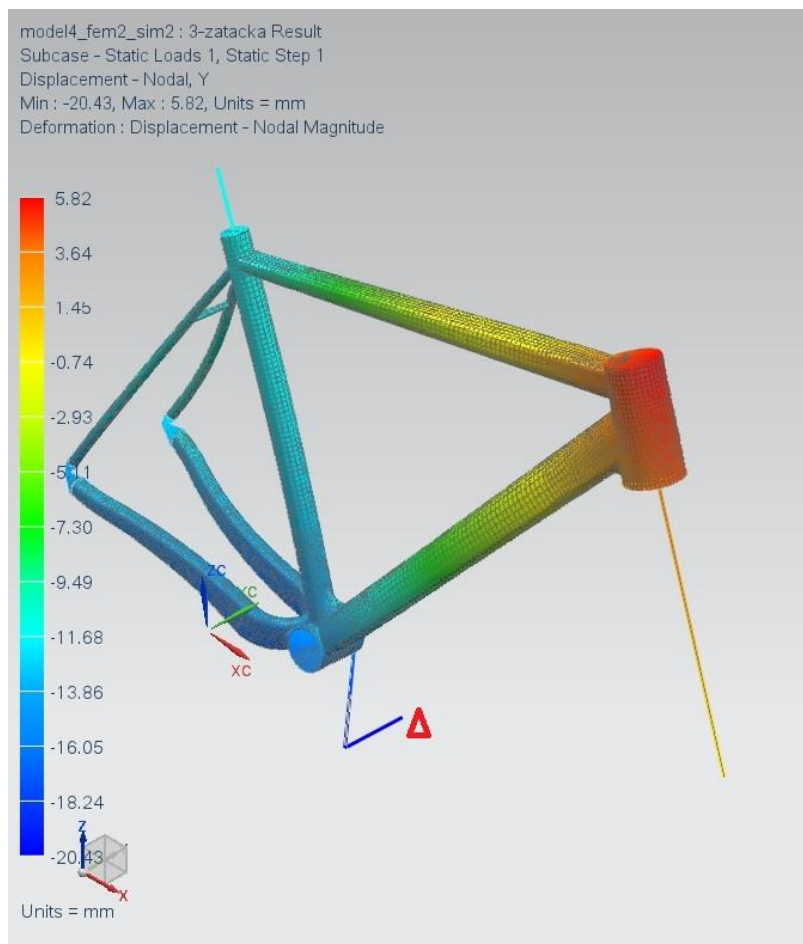
Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.1. [38]

Posunutí v místě uložení předního kola je 3.523 mm.



Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.2. [39]

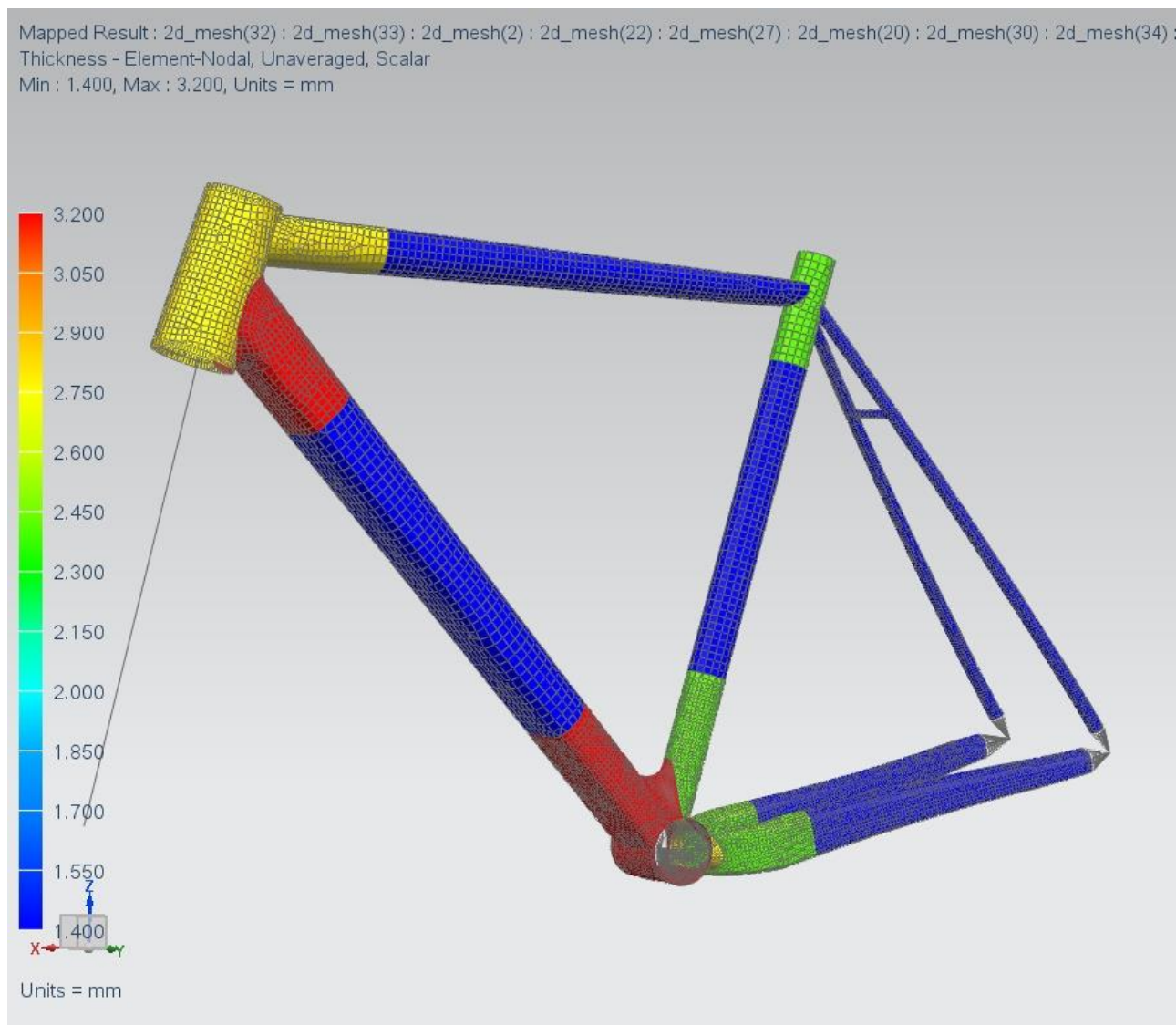
Posunutí v místě pedálu je 20.43 mm.



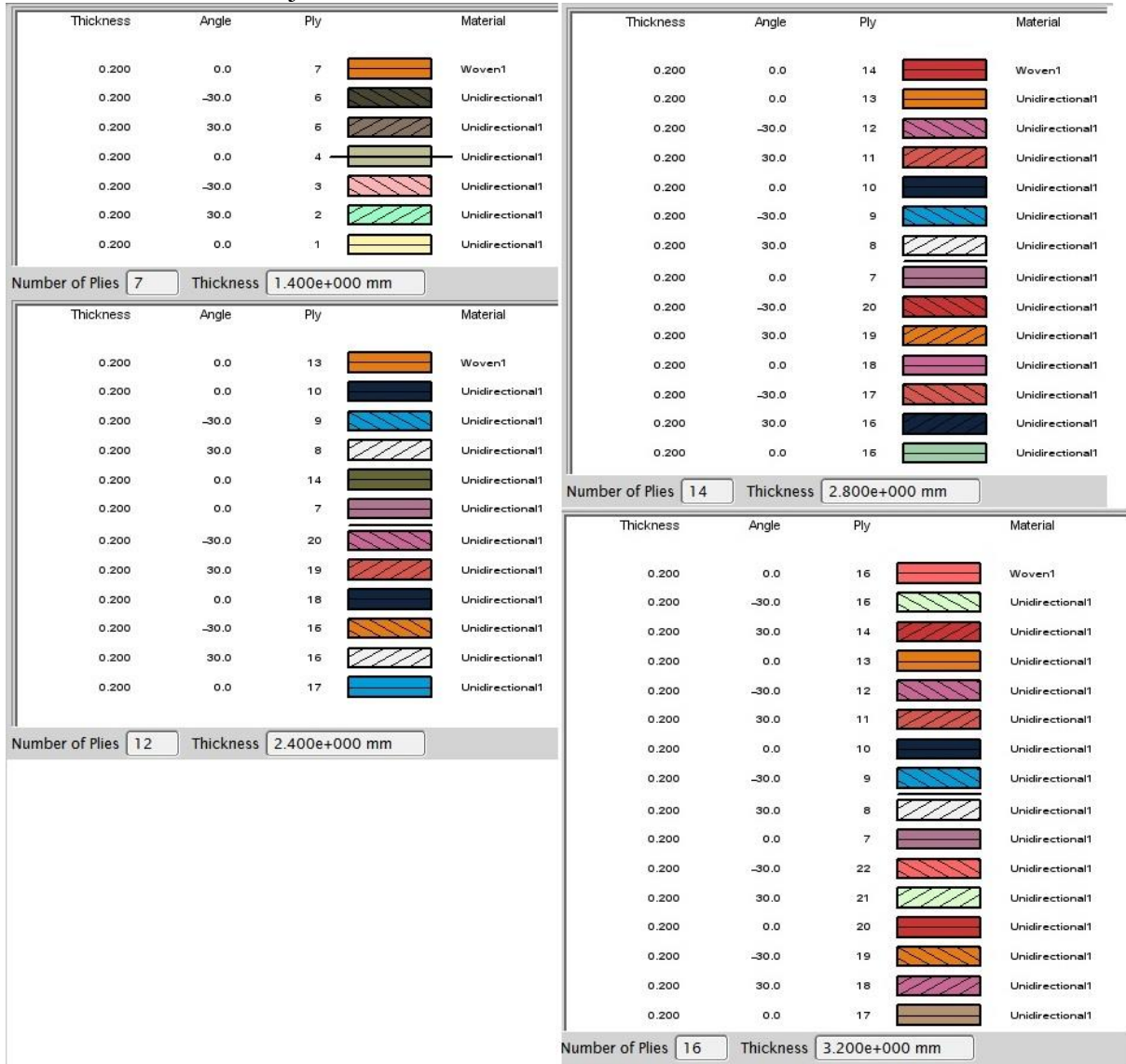
Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.3. [40]

6.3.2. Varianta B

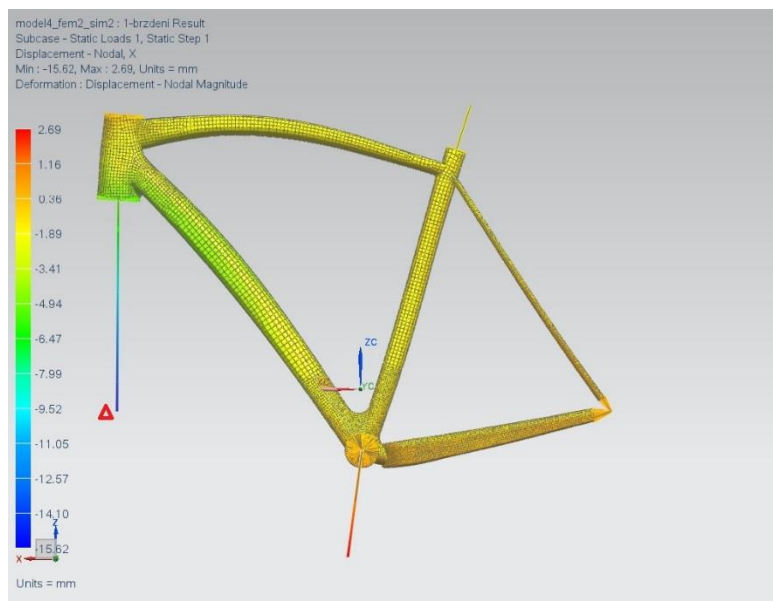
Rám byl rozdělen do jednotlivých oblastí dle předpokládaného namáhání. V druhé variantě je navržena tloušťka stěny v rozmezí od 1.4mm do 3.2mm. Váha rámu je 1.08 Kg.



Hmotnostní varianta B [41]

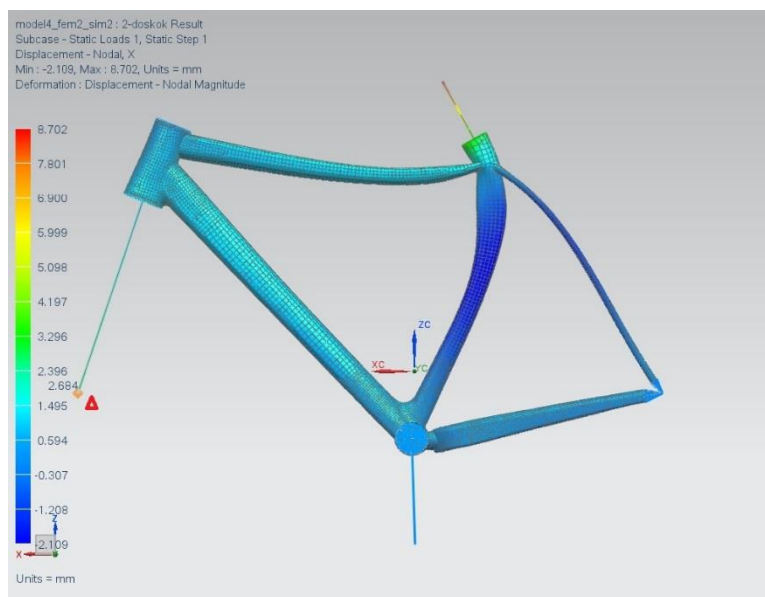


Návrh vrstev laminátu [42]



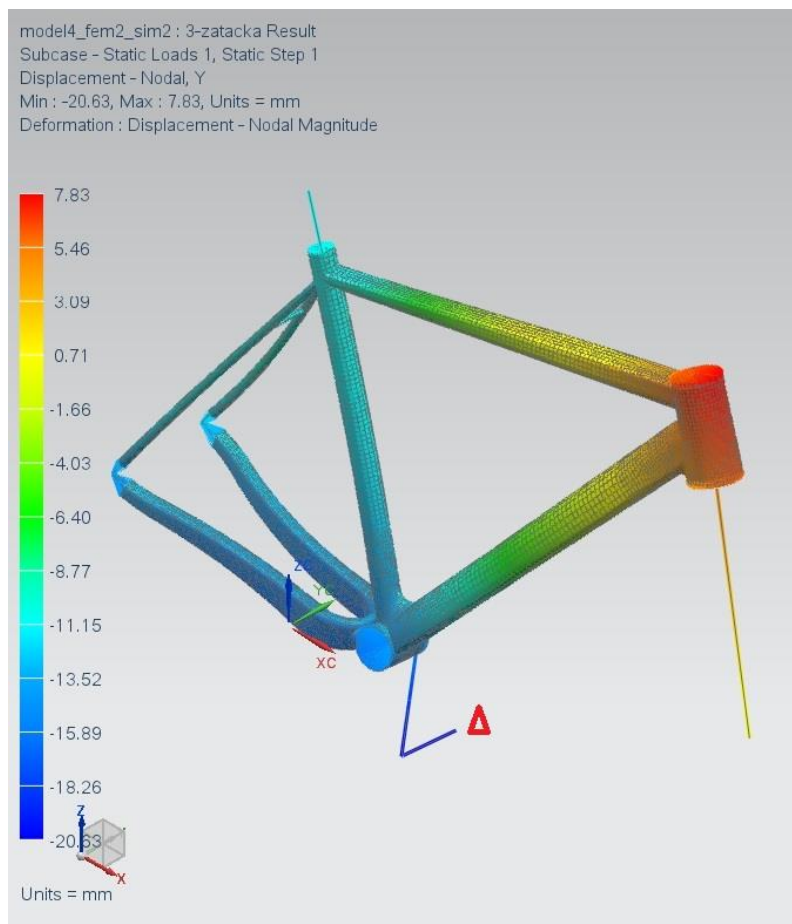
Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.1. [43]

Posunutí v místě uložení předního kola je 2.684 mm.



Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.2. [44]

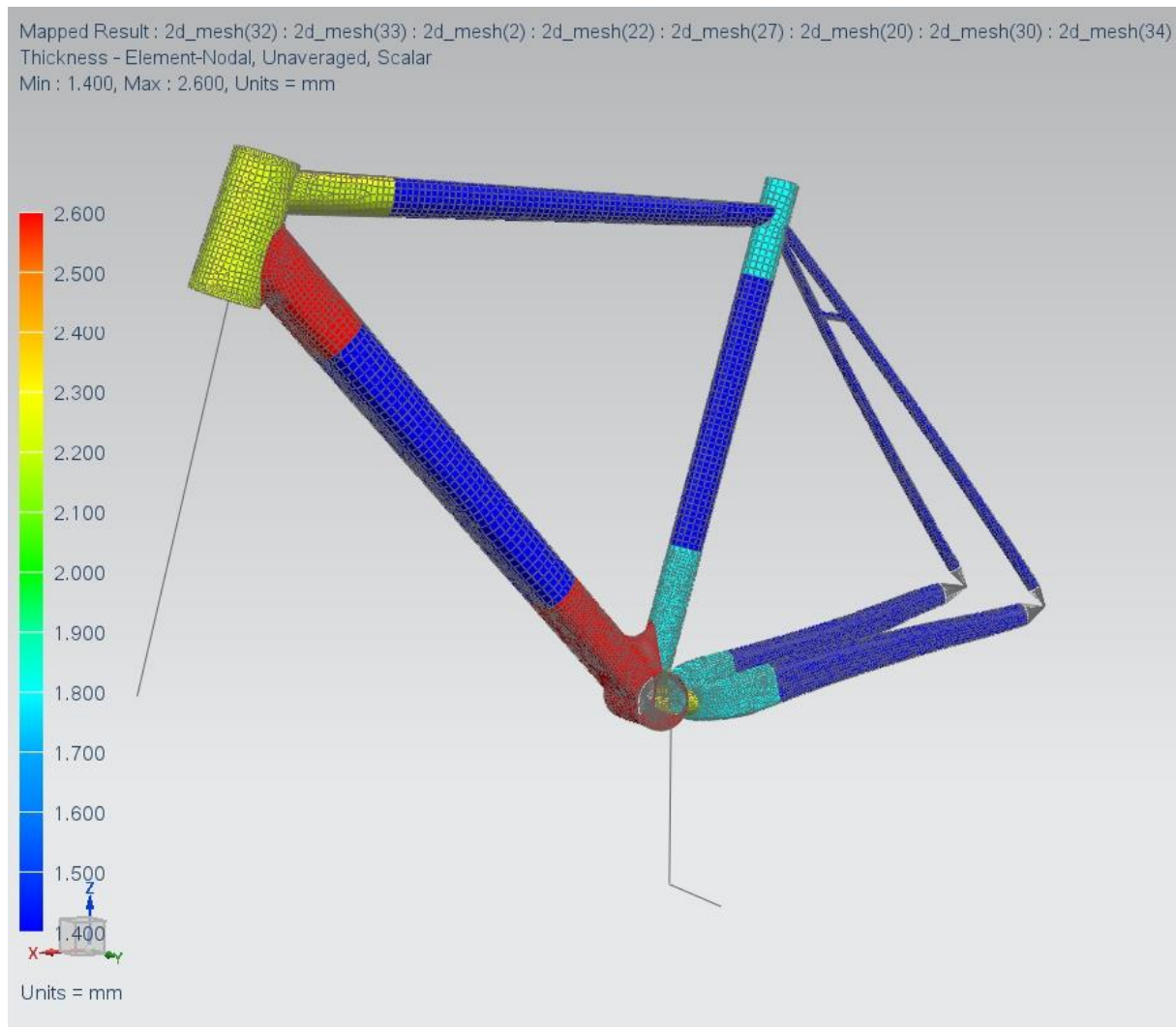
Posunutí v místě pedálu je 20.63 mm.



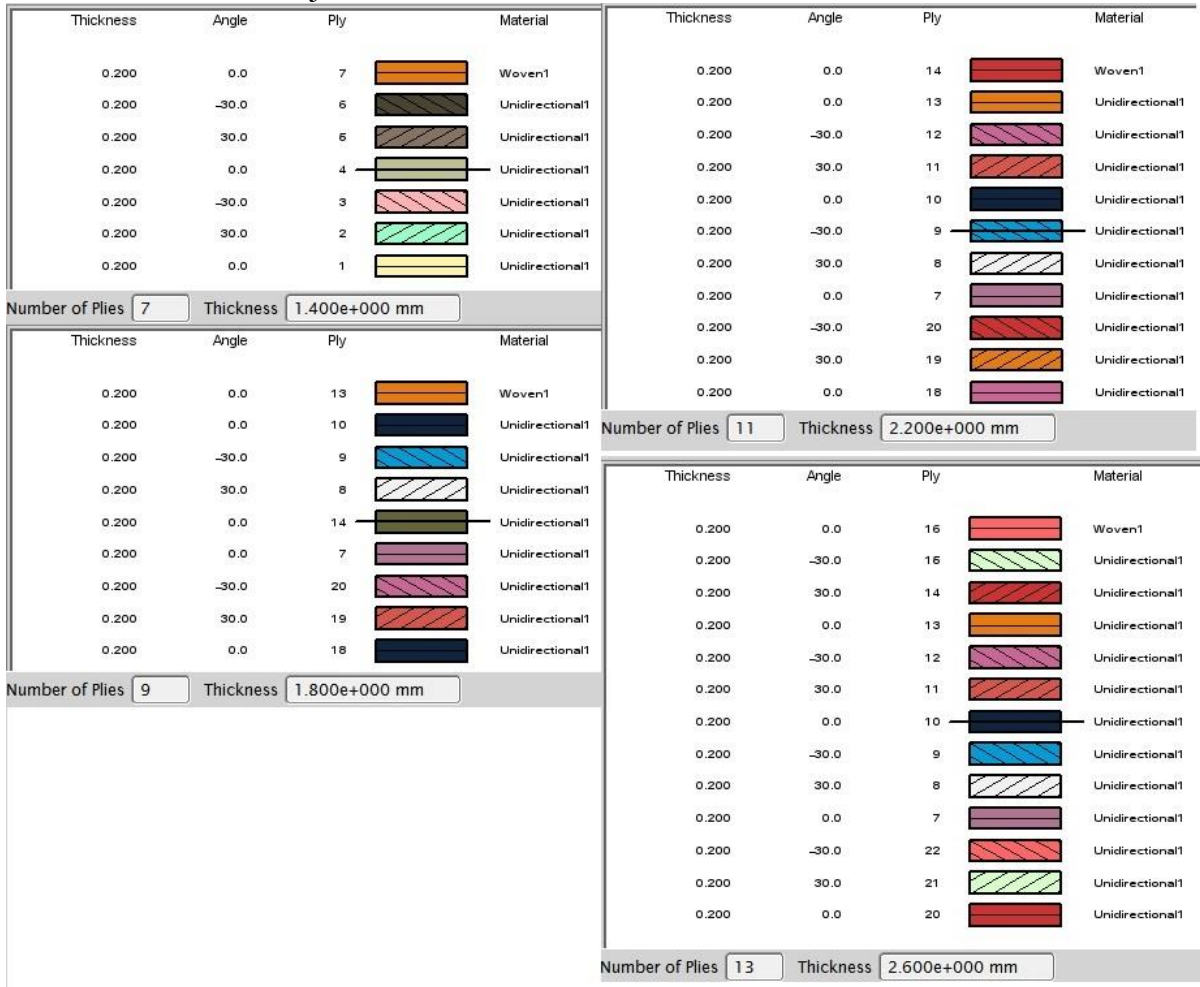
Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.3. [45]

6.3.3. Varianta C

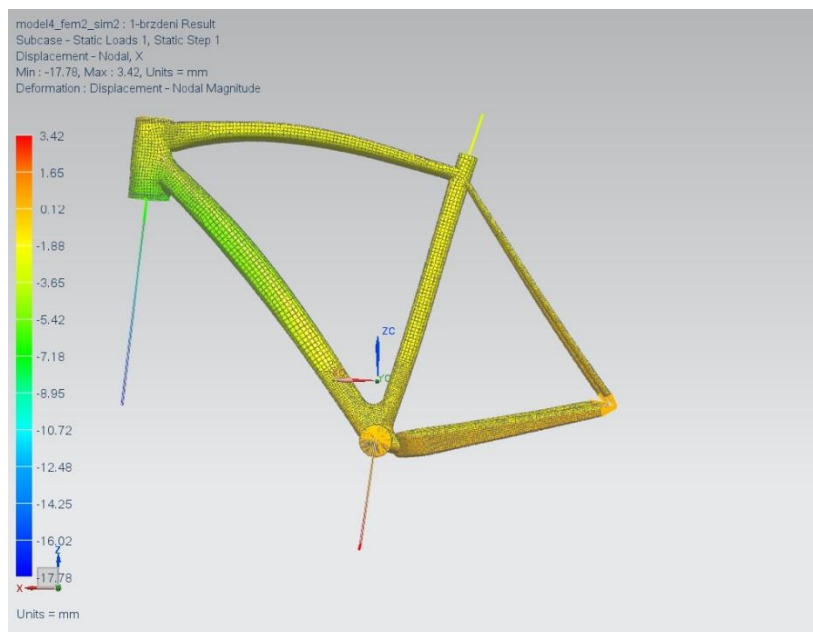
Rám byl rozdělen do jednotlivých oblastí dle předpokládaného namáhání. Ve třetí variantě je navržena tloušťka stěny v rozmezí od 1.4mm do 2.6 mm. Váha rámu je 0.914 Kg.



Hmotnostní varianta C [46]

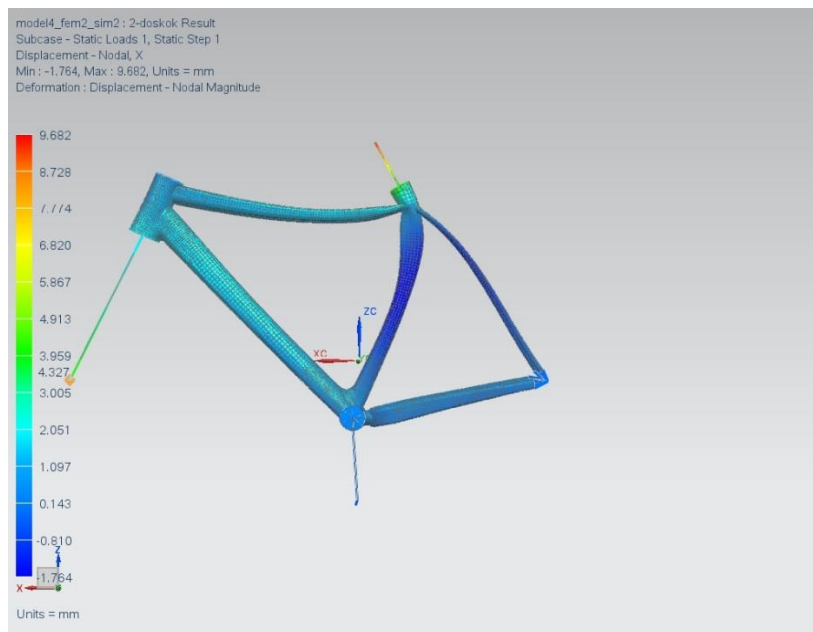


Návrh vrstev laminátu [47]



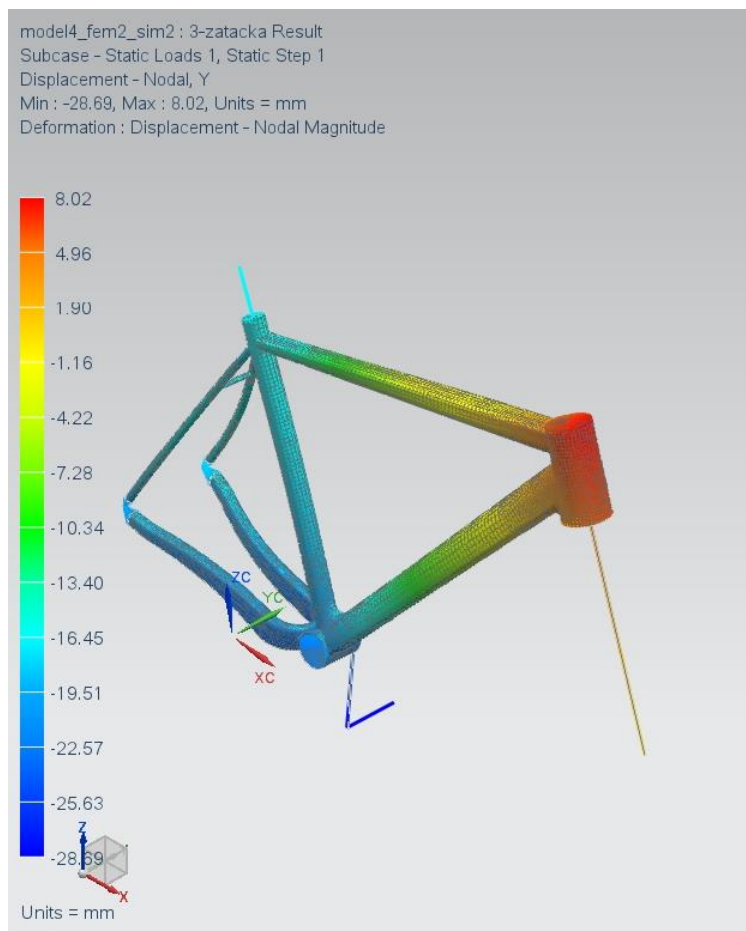
Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.1. [48]

Posunutí v místě uložení předního kola je 4.327 mm.



Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.2. [49]

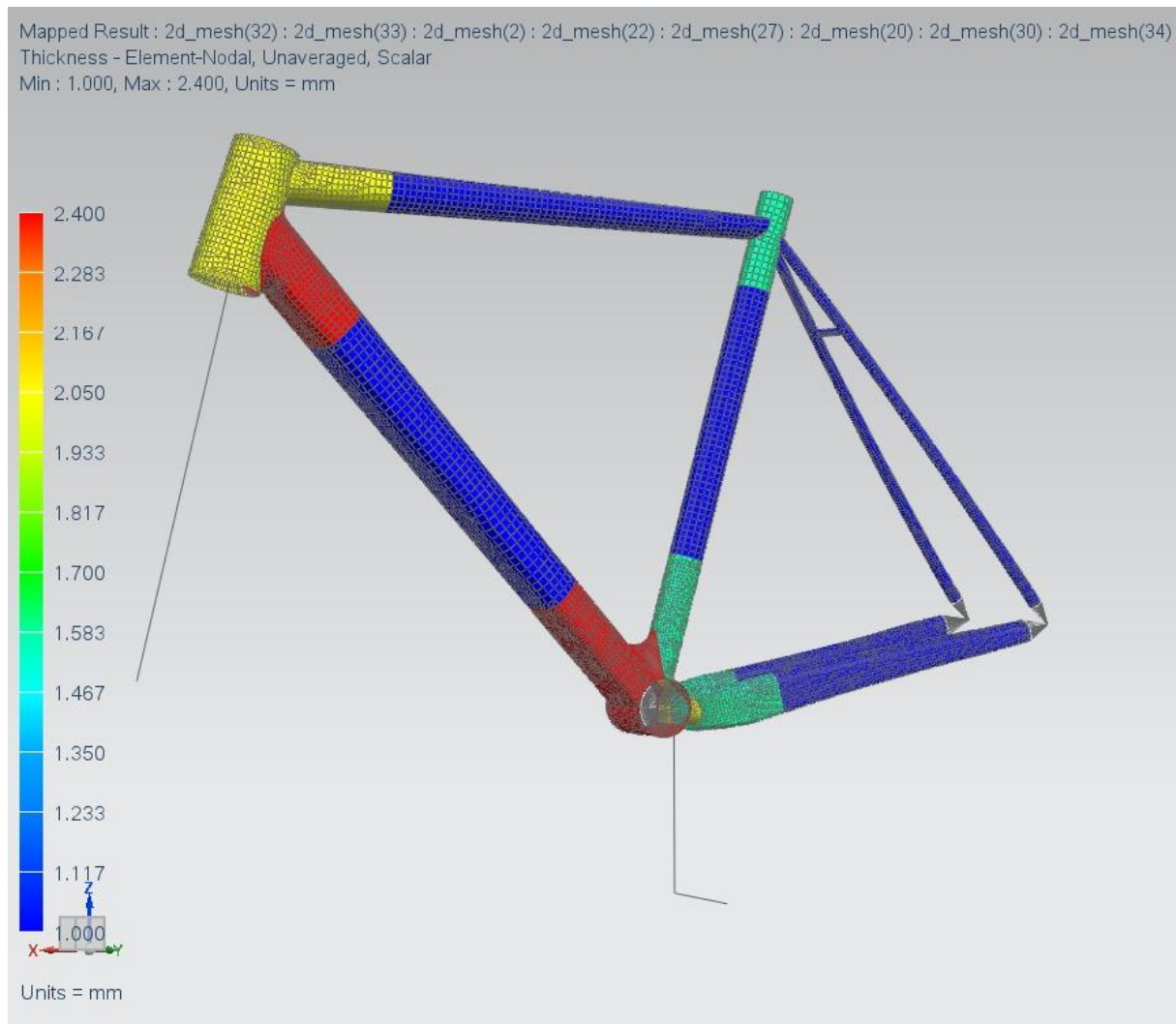
Posunutí v místě pedálu je 28.69 mm.



Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.1. [50]

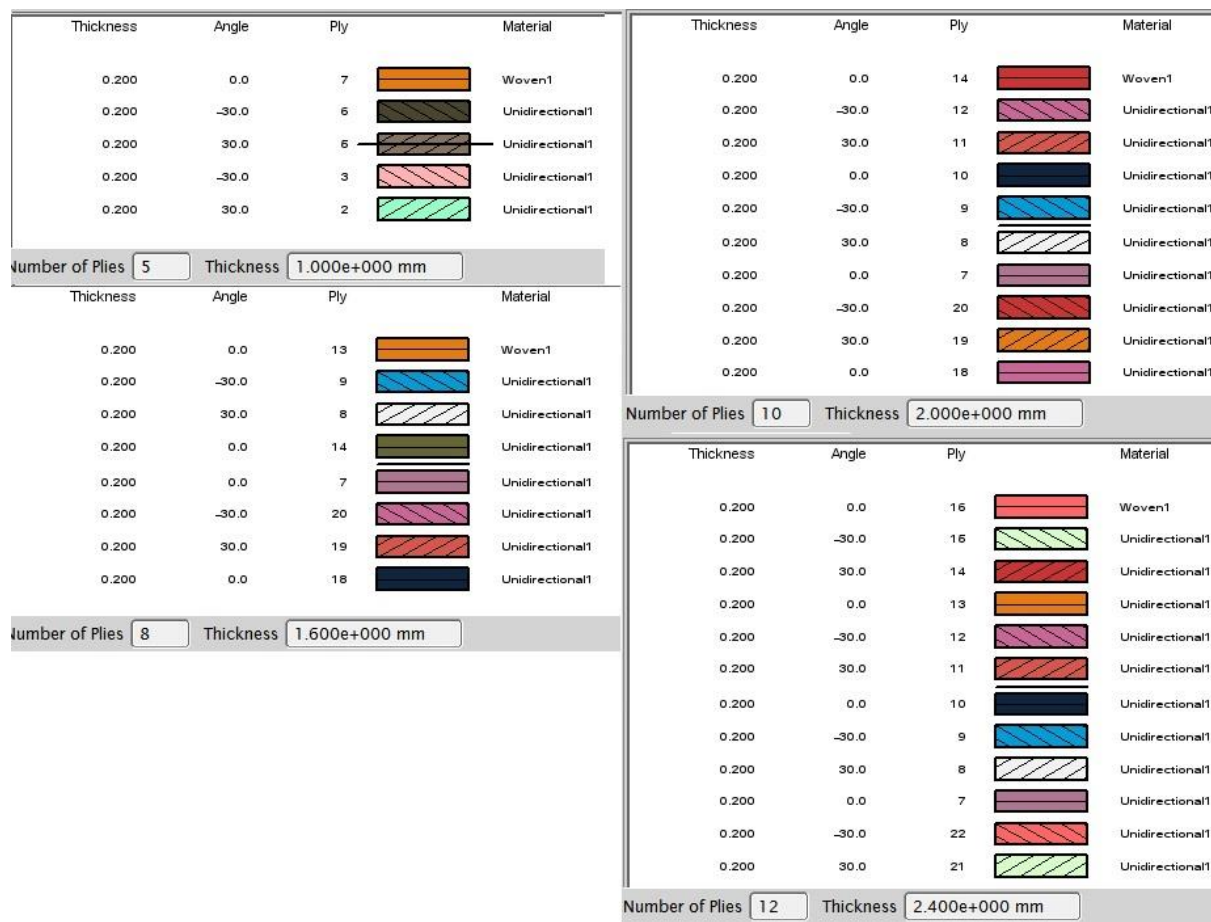
6.3.4. Varianta D

Rám byl rozdělen do jednotlivých oblastí dle předpokládaného namáhání. Ve čtvrté variantě je navržena tloušťka stěny v rozmezí od 1 mm do 2.4 mm. Váha rámu je 0.79 Kg.

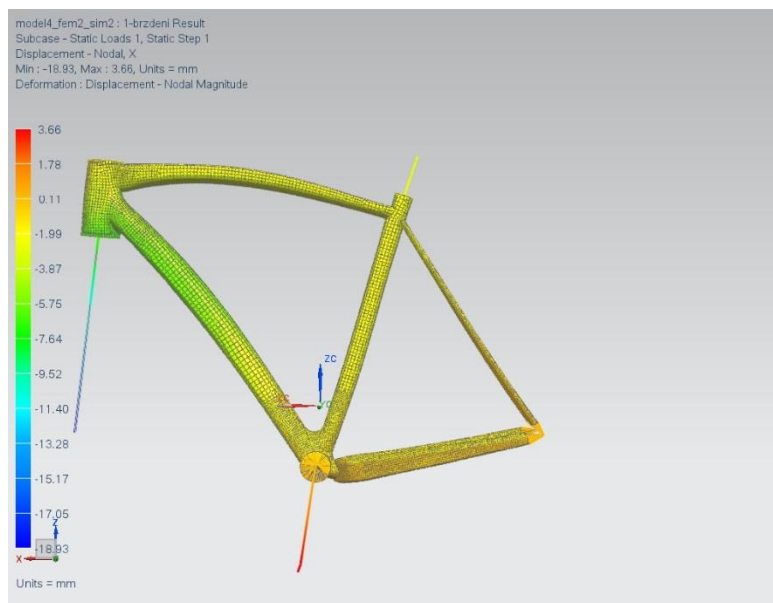


Hmotnostní varianta D [51]

Návrh vrstev laminátu:

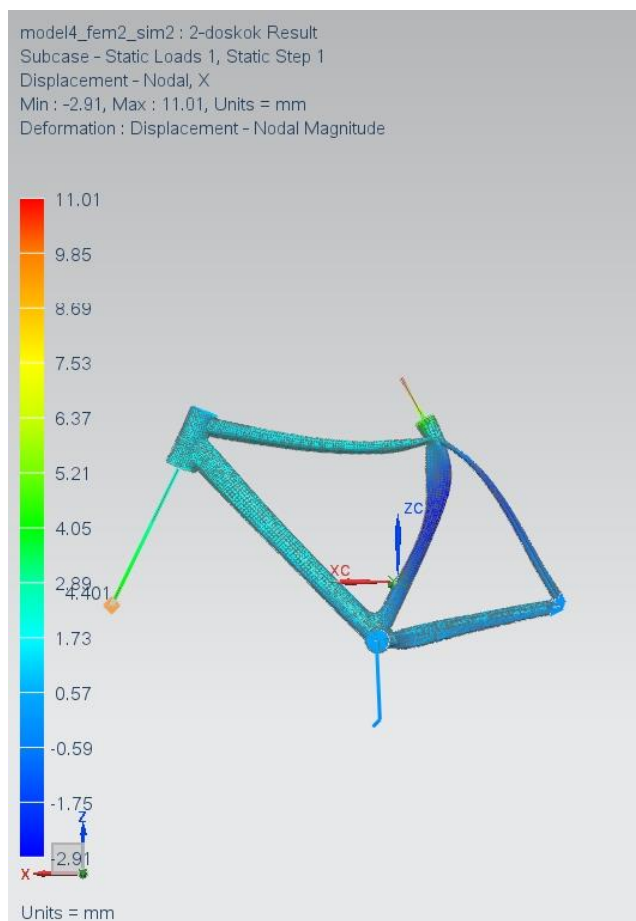


Návrh vrstev laminátu [52]



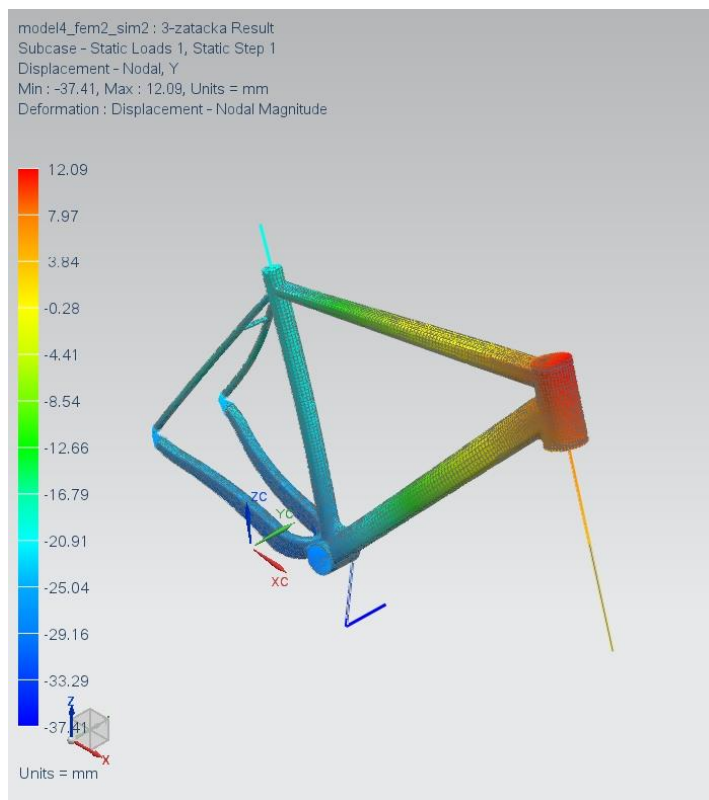
Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.1. [53]

Posunutí v místě uložení předního kola je 4.401 mm.



Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.2. [54]

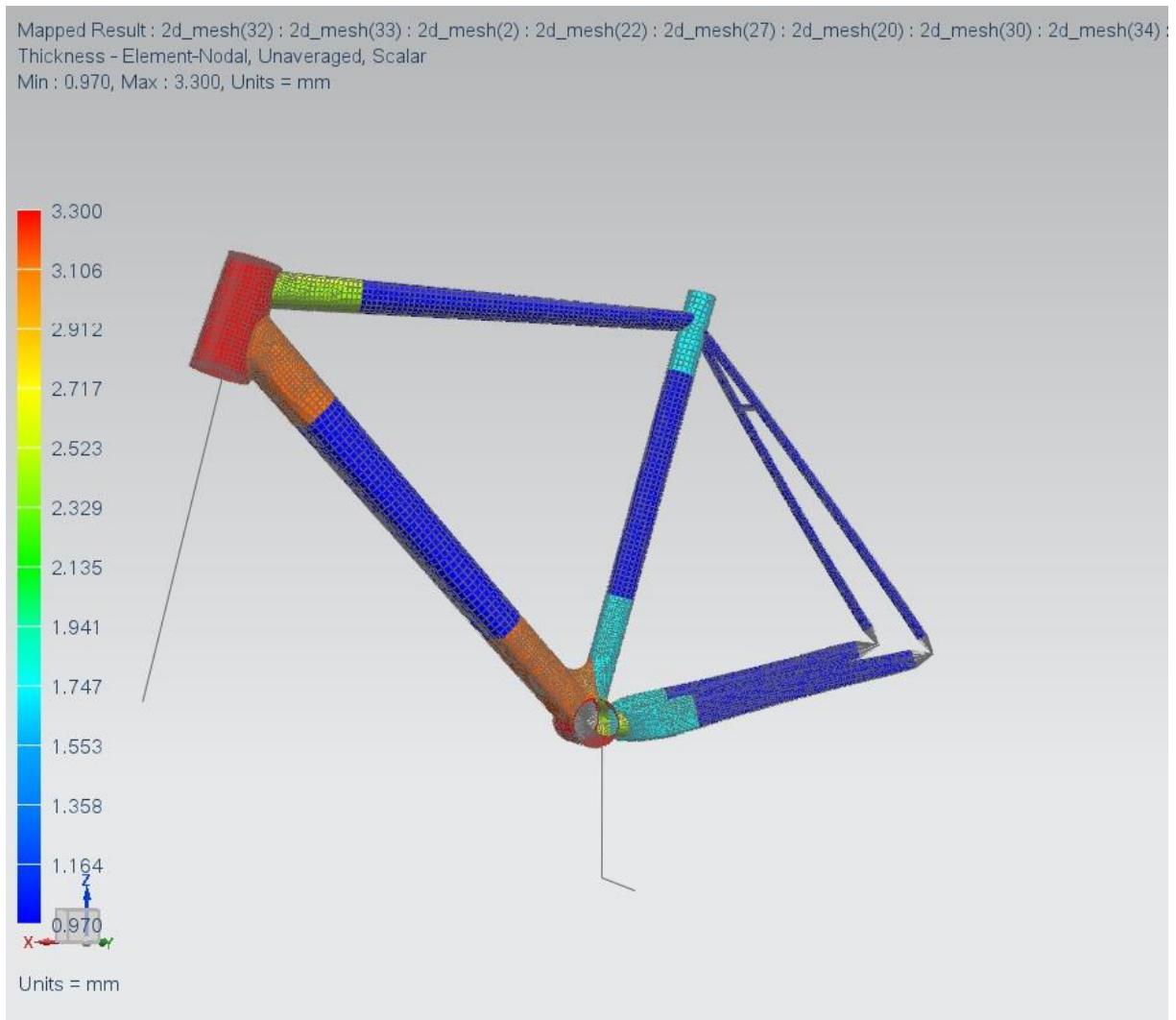
Posunutí v místě pedálu je 37.41 mm.



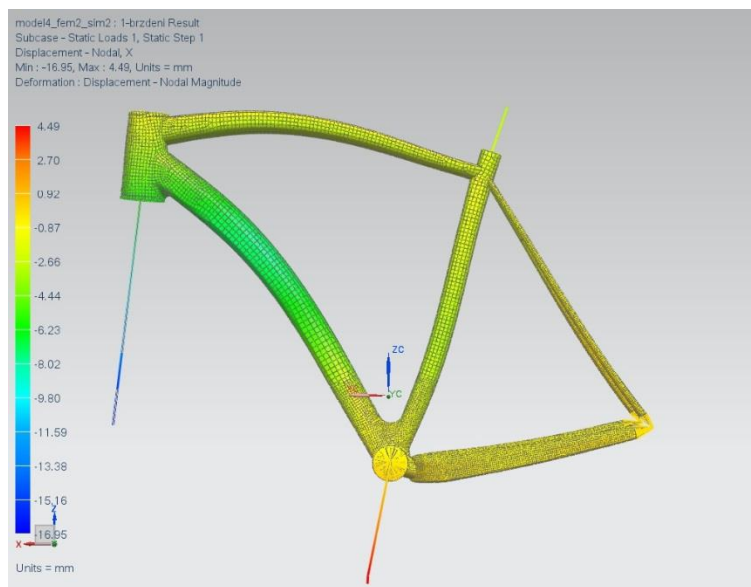
Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.3. [55]

6.3.5. Varianta E

Rám byl rozdělen do jednotlivých oblastí dle předpokládaného namáhání. Ve čtvrté variantě je navržena tloušťka stěny v rozmezí od 0.97 mm do 3.3 mm. Oproti ostatním laminátovým návrhům použijeme izotropní hliník. Váha rámu je 1.38 Kg.

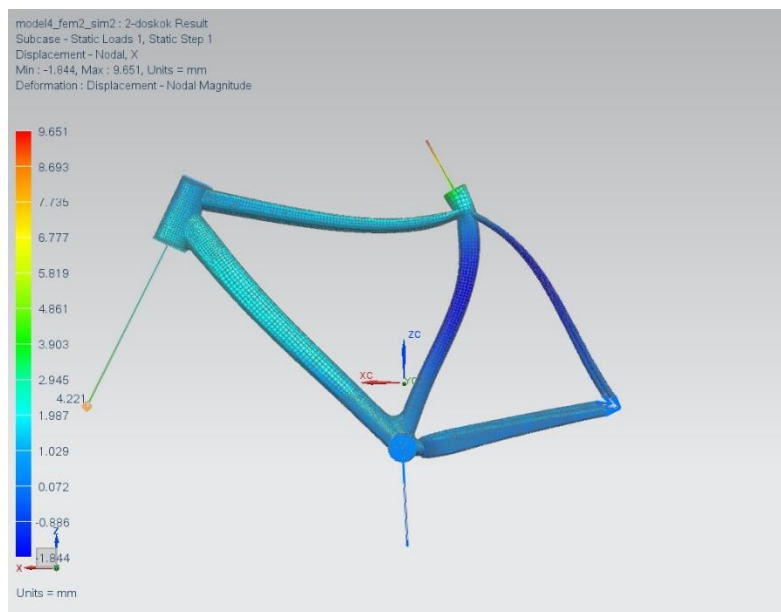


Hliníková varianta E [56]

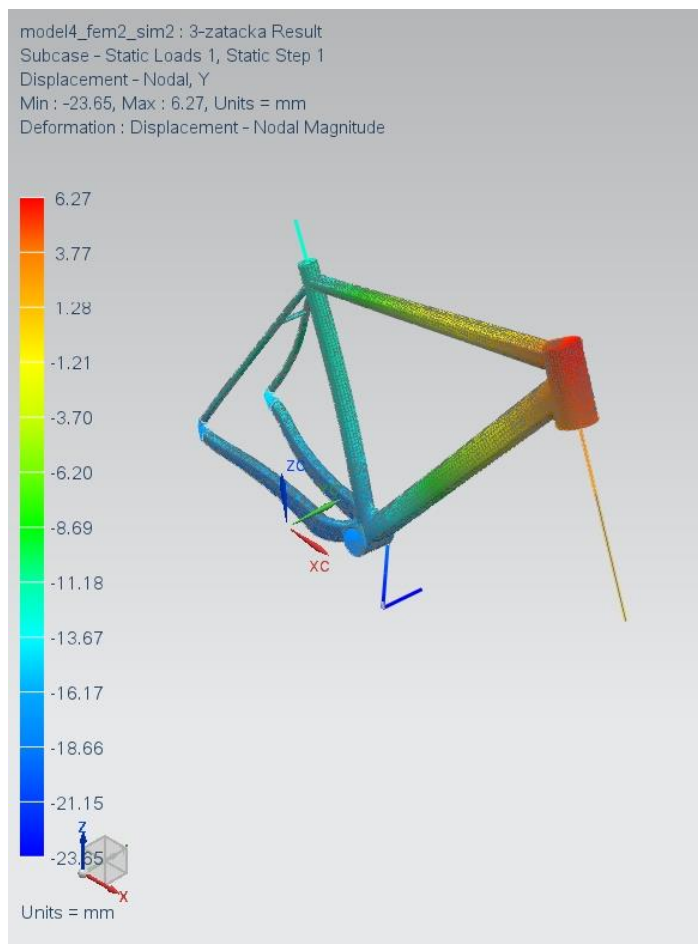


Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.1. [57]

Posunutí v místě uložení předního kola je 4.221 mm.



Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.2. [58]



Posunutí v ose x dle zatížení 6.1.2.3. [59]

6.3.6. Porovnání a výběr optimální varianty tloušťky trubek

6.3.6.1. Porovnání s normou EN 14781:2005 (E)

Výsledné posunutí nepřesálo v žádné z navrhovaných variant dovolenou hodnotu dle normy EN 14781:2005 (E). Tedy 30 mm dle 6.1.2.1., dle 6.1.2.2. maximální hodnotu 15 mm a při statickém zatížení dle 6.1.2.3. nepřekročila 20%.

Tabulka výsledků:

Výše popsaný test dle normy EN 14781:2005 (E) je specifikován pro kovové i kompozitní rámy jízdních kol současně. Kovový rám je poddajný a rozměrově se deformuje. Norma tedy předepisuje hodnotu, do které se rám může deformovat a nepraskne. S kompozitním rámem se to nestane. Po nárazu v rámu nevzniká vnitřní pnutí a v lepším případě se vrátí do svého původního tvaru a deformuje se jen velmi málo v porovnání s kovovým. V horším případě, při překročení určité pevnostní meze rám praskne. Není zde tedy žádná přechodová oblast, buď je rám sto procentně funkční, nebo nepoužitelný.

Díky tomu, že pevnost karbonového rámu tedy závisí hlavně na počtu a tloušťce vrstev tkaniny a směru vláken a jeho poškození nastává náhle, je velmi těžké sestavit způsob jeho testování.

6.3.6.2. Výsledné posunutí hliníkového rámu

Tloušťky trubek hliníkového rámu byly navrženy dle reálného rámu Focus Culebro.



Hliníkové kolo [60] zdroj: www.focus-bikes.com

Výsledné hodnoty deformací výpočtového hliníkového rámu o hmotnosti 1,28 Kg:

a) Test 4.8.2.

Výsledné posunutí 4,74 mm.

b) Test 4.8.3.

Výsledné Posunutí 2,28 mm.

c) Test 4.8.4.

Maximální odchylka od počáteční hodnoty v místě levého pedálu je 20,94 mm.

6.3.6.3. Porovnání s testováním karbonového rámu

Dále porovnáme výsledné hodnoty s hodnotami testu provedeném na kompozitovém karbonovém rámu firmy NUD Bikes.



Karbonový rám [61] zdroj: www.nudbikes.com

a) Test 4.8.2.

Váha testovaného rámu byla 1104g a výsledné posunutí 2,4 mm.

b) Test 4.8.3.

Váha testovaného rámu byla 1143g a výsledné posunutí 4,5 mm.

c) Test 4.8.4.

Maximální odchylka od počáteční hodnoty v místě pravého pedálu je 22,12 mm.

6.3.6.4. Výběr varianty tloušťky trubek

V první řadě musíme zohlednit zidealizování modelu rámu při MKP výpočtu, a to hlavně v oblastech spojů trubek. Z tohoto důvodu jsou výsledné deformace menší, než by byly v reálu. Nejvíce se výsledkům hliníkového a karbonového rámu NUD Bikes přibližuje varianta B při požadavku zachování co nejnižší hmotnosti. Výsledné hodnoty pro test 4.8.2. je posunutí 4,53 mm, pro test 4.8.3 posunutí 2,14 a pro test 4.8.4 posunutí 21,58. Volím tedy tloušťky trubek dle varianty B.

<i>Výsledky</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>NudBikes</i>
<i>posunutí [mm]</i>						
<i>Materiál</i>	karbon	karbon	karbon	karbon	Al	karbon
<i>Váha</i>	1,15 Kg	1,08 Kg	0,91 Kg	0,79 Kg	1,38 Kg	1,1 Kg
<i>Test- brždění</i>	14,86 mm	15,62 mm	17,78 mm	18,93 mm	16,95 mm	2,4 mm
<i>Test- doskok</i>	3,52 mm	2,68 mm	4,32 mm	4,40 mm	4,22 mm	4,5 mm
<i>Test- zatáčka</i>	20,43 mm	20,63 mm	28,69 mm	37,41 mm	23,65 mm	22,12 mm

Tabulka srovnání rámu [62]

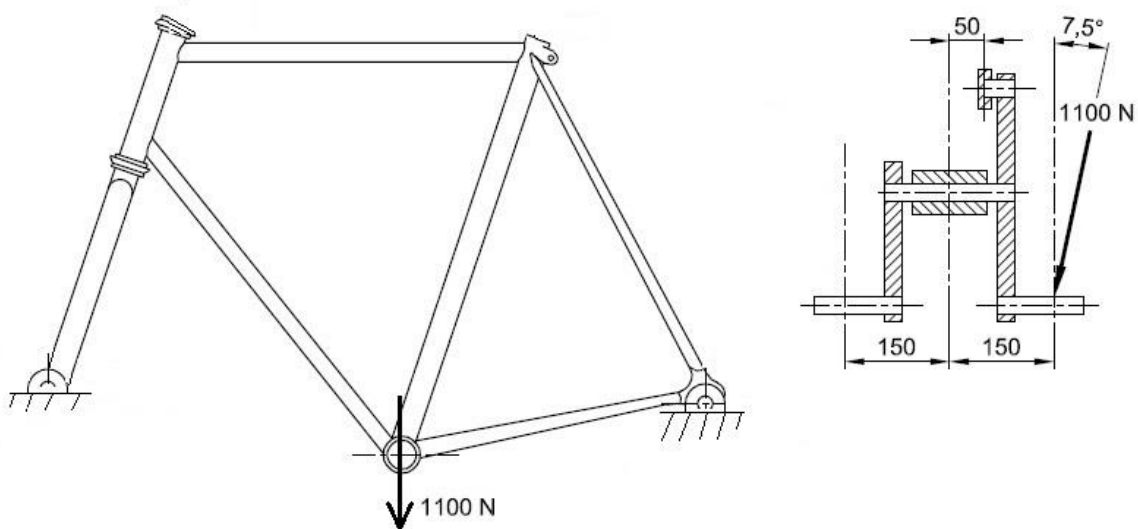
6.4. Návrh orientace vláken

Pro vybranou variantu tloušťky stěn rámu navrhne další varianty orientace vláken. Pro porovnání variant volím zatěžovací stavy tak, aby bylo možné prozkoumat napětí ve všech směrech. Z důvodu zatížení rámu v osách x volím stav 6.1.2.1., dále pak zatěžovací stav simulující sprint ze sedla. Při sprintu řeším zatížení hlavové trubky a šlapacího středu.



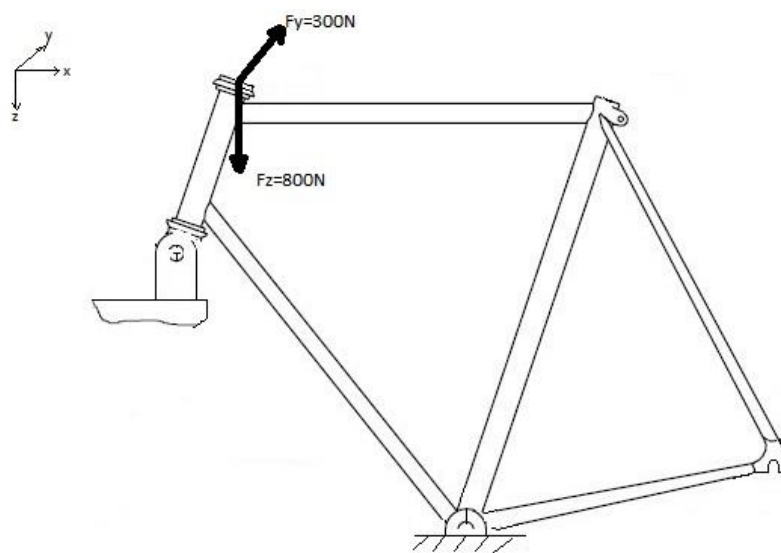
Jízda při sprintu [63] zdroj: cyclist.com

a) zatížení šlapacího středu při sprintu



Zatížení šlapacího středu při sprintu [64]

b) zatížení hlavové trubky při sprintu

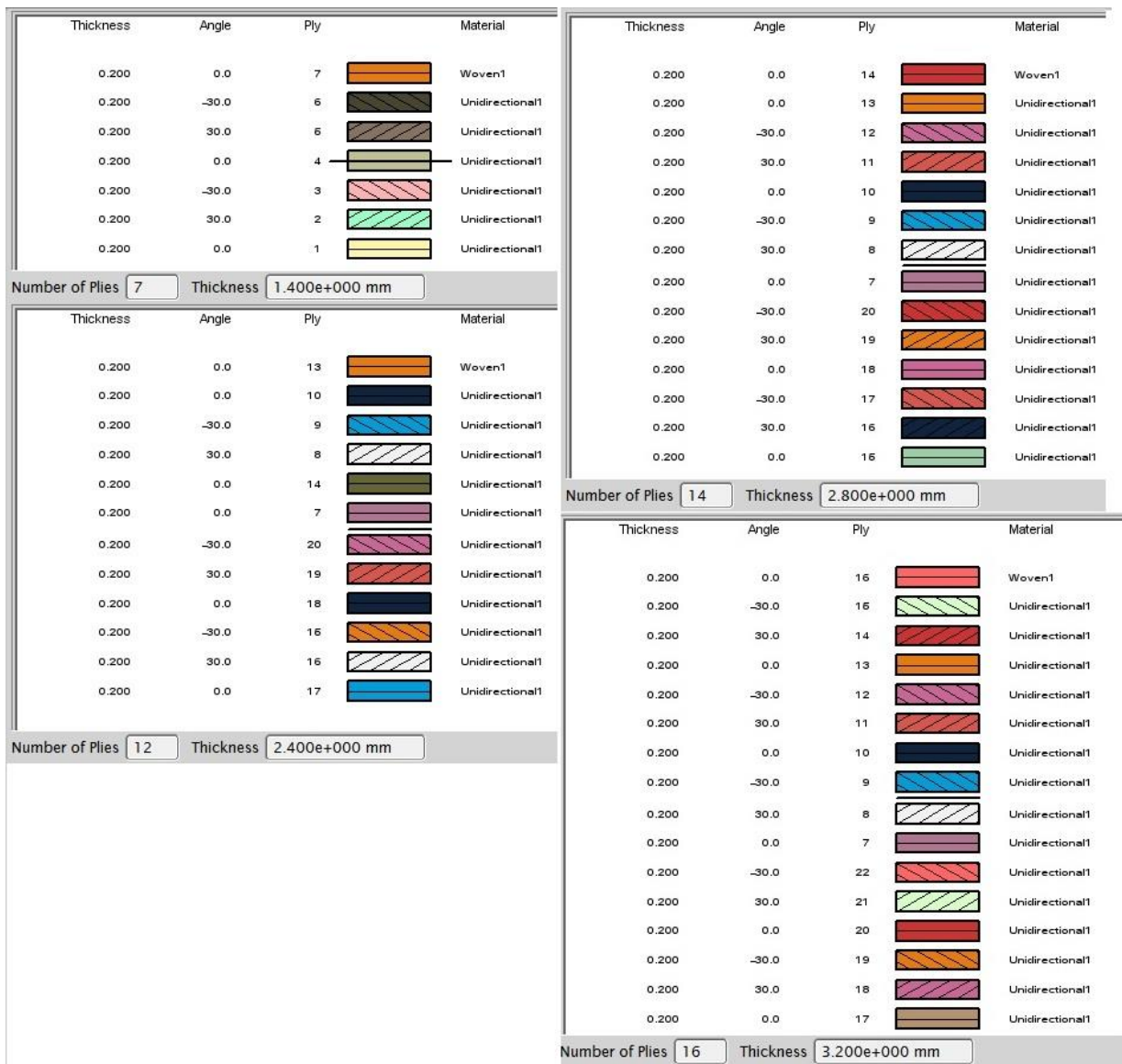


Zatížení hlavové trubky při sprintu [65]

6.4.1. Varianta A

První varianta byla použita při výpočtech v kapitole 6.3. Jsou zde použity vrstvy s nulovou orientací vláken, dále s orientací +30° a -30°. Na povrchu je tkanina, jejíž vlákna vzájemně svírají úhel 90°.

Schéma vrstev:

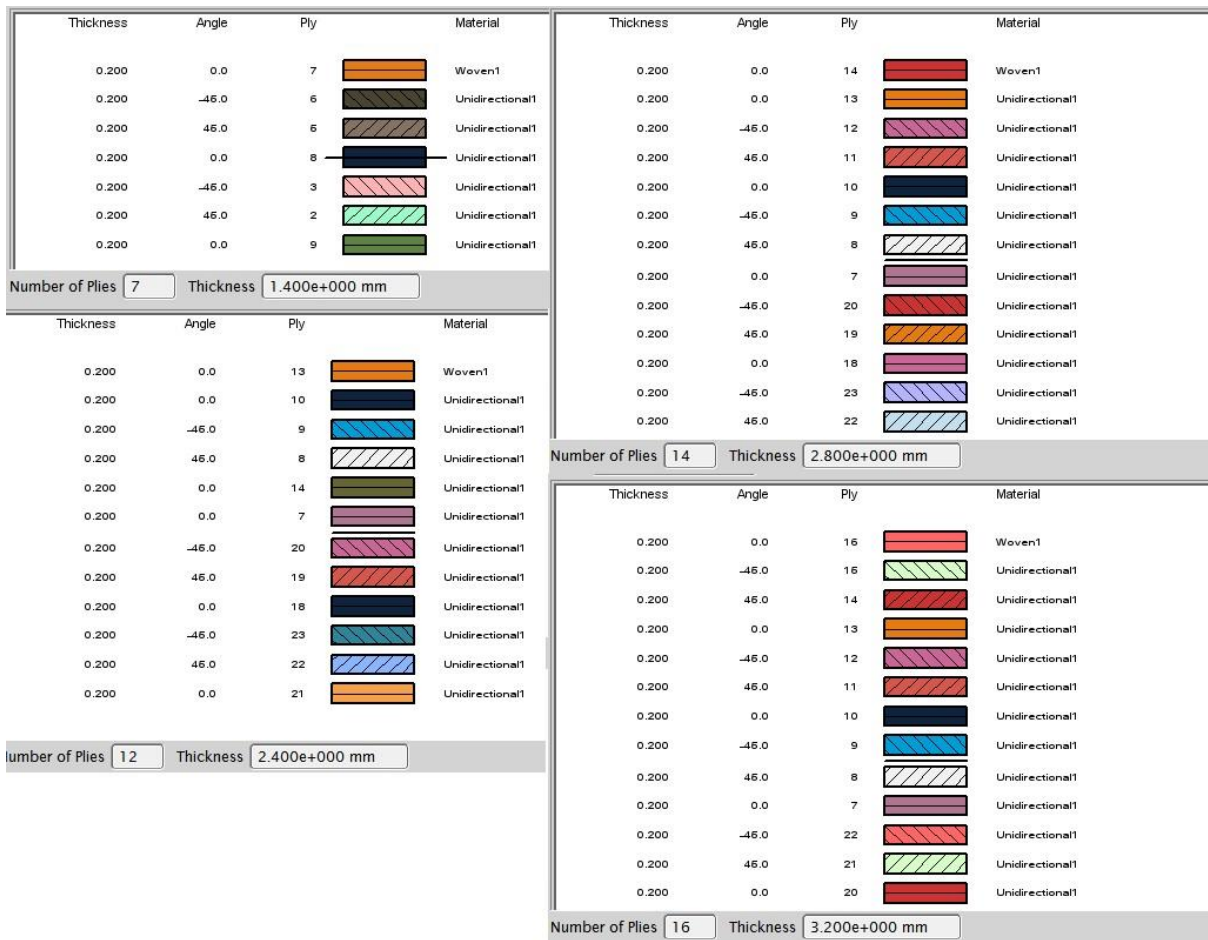


Návrh vrstev laminátu [66]

6.4.2. Varianta B

První varianta byla použita při výpočtech v kapitole 6.3. Jsou zde použity vrstvy s nulovou orientací vláken, dále s orientací +45° a -45°. Na povrchu je tkanina, jejíž vlákna vzájemně svírají úhel 90°.

Schéma vrstev:

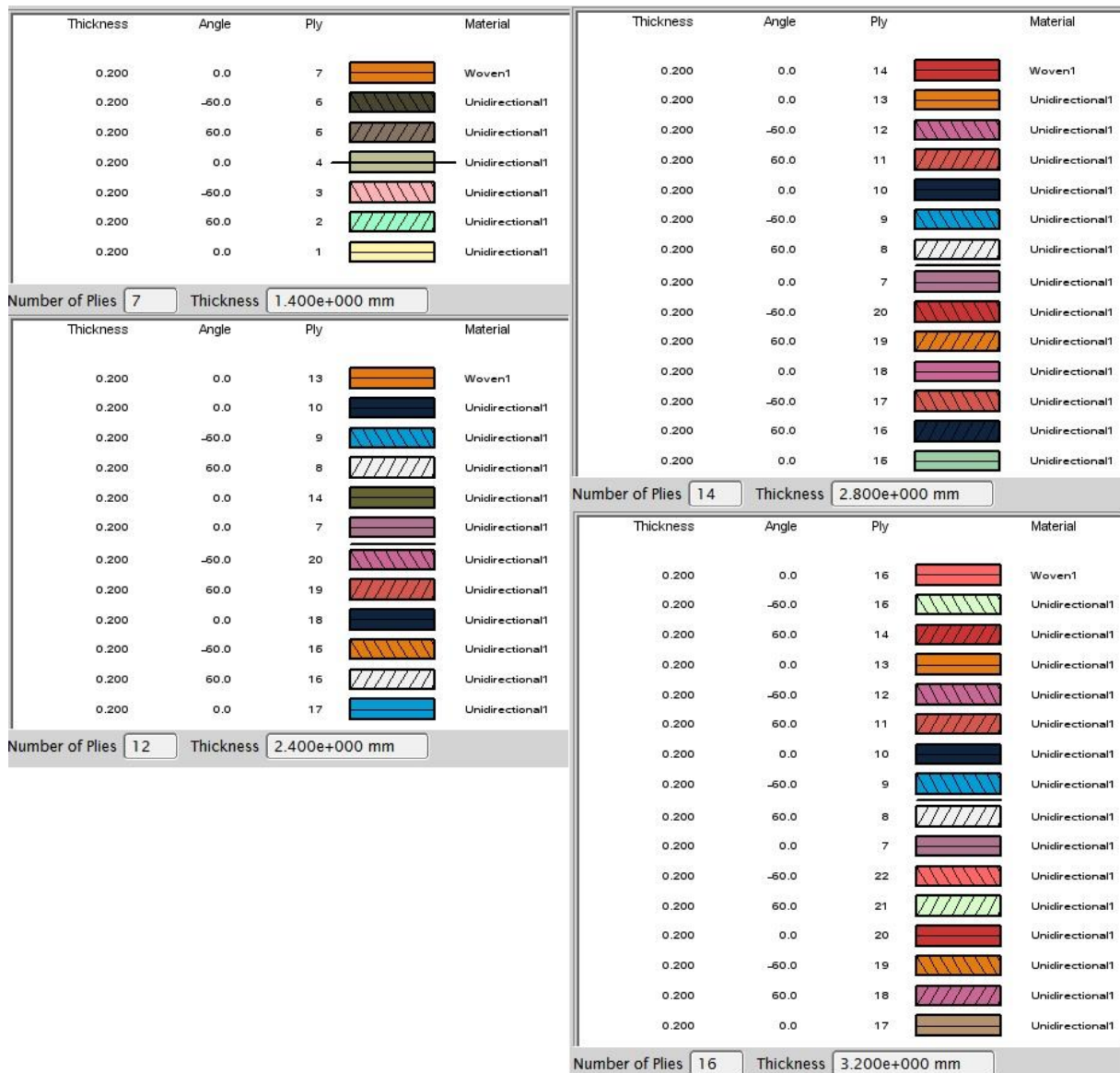


Návrh vrstev laminátu [67]

6.4.3. Varianta C

První varianta byla použita při výpočtech v kapitole 6.3. Jsou zde použity vrstvy s nulovou orientací vláken, dále s orientací +60° a -60°. Na povrchu je tkanina, jejíž vlákna vzájemně svírají úhel 90°.

Schéma vrstev:



Návrh vrstev laminátu [68]

6.4.4. Výběr optimální varianty orientace vláken

Tabulka výsledků variant:

<i>Posunutí v mm</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>Brždění</i>	3,503 mm	4,115 mm	4,376 mm
<i>Sprint-střed</i>	1,930 mm	1,940 mm	2,036 mm
<i>Sprint-hlavová</i>	0,384 mm	0,337 mm	0,396 mm

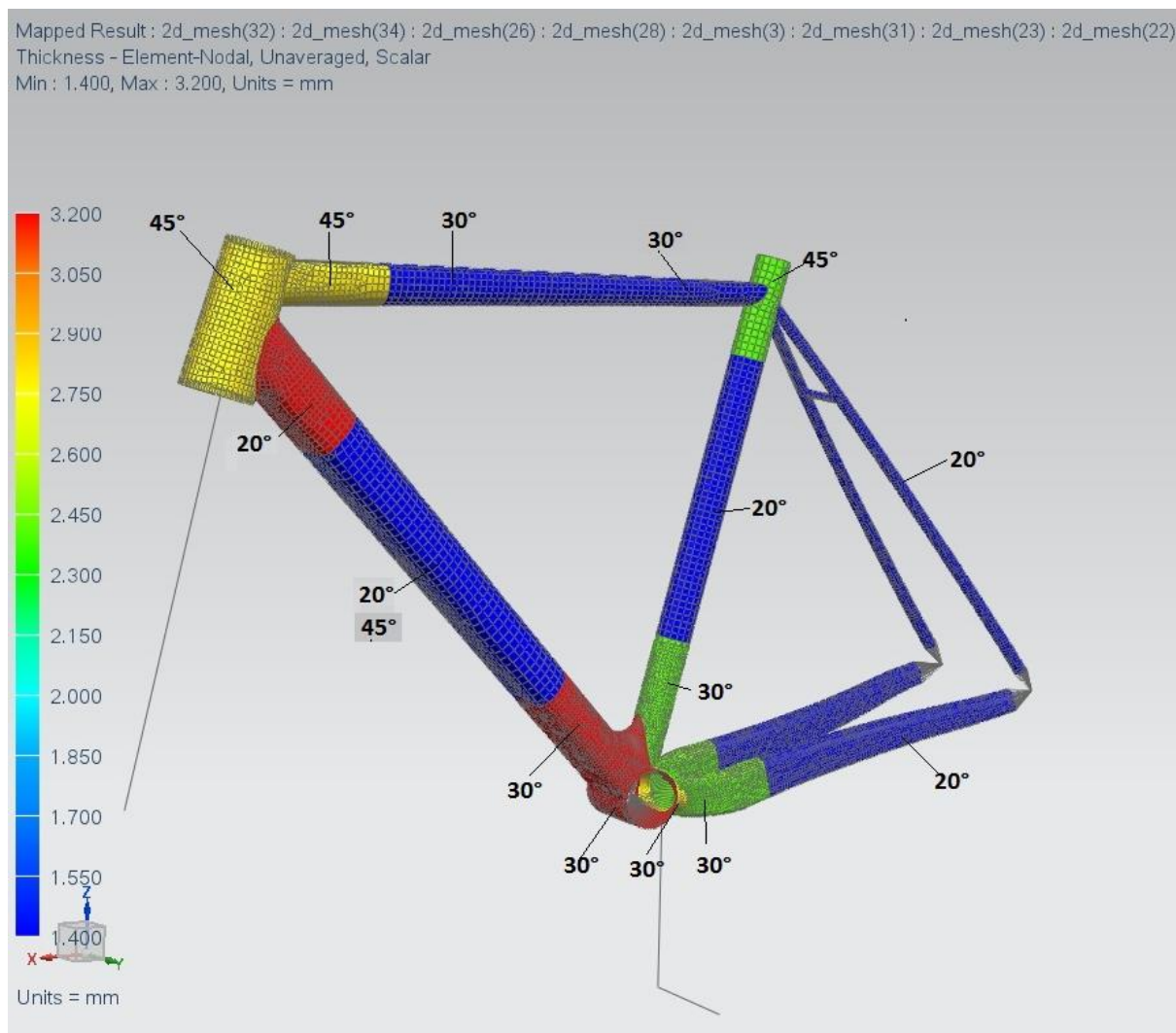
Tabulka výsledků variant orientace vláken [69]

Dle varianty A mají místa s orientací vláken 30° největší tuhost při zatěžování rámu v oblasti středu šlapání a zároveň při brždění v oblasti pod hlavovou trubkou. Dle varianty B mají místa s orientací vláken 45° největší tuhost při zatěžování rámu z boku v oblasti hlavové trubky. Varianta s orientací vláken 60° nemá oproti předešlým žádná místa s menší deformací, je tedy nevodná.

Z těchto výsledků vyplývají klíčové vlastnosti kompozitu při různé orientaci vláken. Na jejich základě tedy navrhuji optimální variantu rozložení různých orientací dle požadavku použití kola pro cyklistické závody, hlavně sprintu a při jízdě ze sedla.

V oblasti hlavové trubky použiji vlákna s orientací 45°, v oblasti středu šlapání vlákna s orientací 30°. V oblasti zadní rámové stavby je rám vyztužen zdvojením vidlic, tudíž postačí vlákna s orientací 20° pro zvýšení tuhosti.

Optimální návrh rozložení různých úhlů orientace vláken:



Rozložení různé orientace vláken [70]

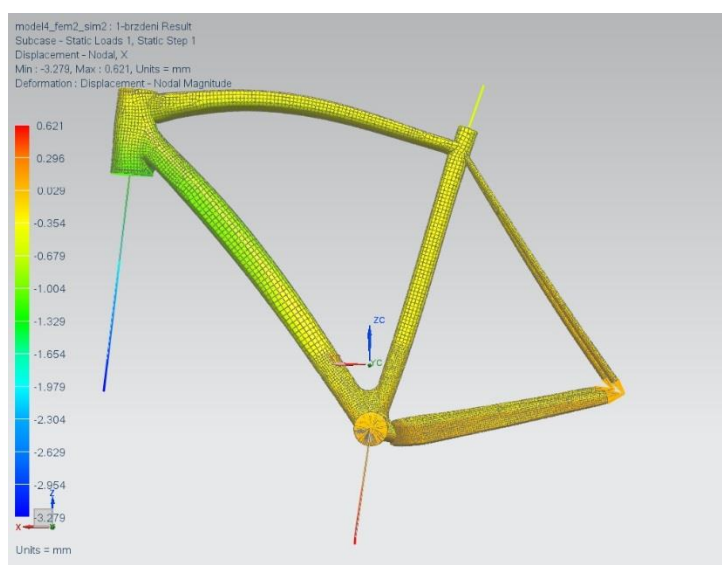
SKLADBA X=PROMĚNNÝ
LAMINÁTU ÚHEL OR.
 VLÁKEN

OBLAST	ČÍSLO VRSTVY od jádra	TLOUŠŤKA	ORIENTACE	MATERIÁL
TENKÁ	1.	0,2 mm	0	Unidirectional
	2.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
	3.	0,2 mm	- x	Unidirectional
	4.	0,2 mm	0	Unidirectional
	5.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
	6.	0,2 mm	- x	Unidirectional
	7.	0,2 mm	0	Woven
STŘEDNÍ	1.	0,2 mm	0	Unidirectional
	2.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
	3.	0,2 mm	- x	Unidirectional
	4.	0,2 mm	0	Unidirectional
	5.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
	6.	0,2 mm	- x	Unidirectional
	7.	0,2 mm	0	Unidirectional
	8.	0,2 mm	0	Unidirectional
	9.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
	10.	0,2 mm	- x	Unidirectional
	11.	0,2 mm	0	Unidirectional
	12.	0,2 mm	0	Woven
SILNÁ	1.	0,2 mm	0	Unidirectional
	2.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
	3.	0,2 mm	- x	Unidirectional
	4.	0,2 mm	0	Unidirectional
	5.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
	6.	0,2 mm	- x	Unidirectional
	7.	0,2 mm	0	Unidirectional
	8.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
	9.	0,2 mm	- x	Unidirectional
	10.	0,2 mm	0	Unidirectional
	11.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
	12.	0,2 mm	- x	Unidirectional
	13.	0,2 mm	0	Unidirectional
	14.	0,2 mm	0	Woven
EXTRA SILNÁ	1.	0,2 mm	0	Unidirectional
	2.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
	3.	0,2 mm	- x	Unidirectional
	4.	0,2 mm	0	Unidirectional
	5.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
	6.	0,2 mm	- x	Unidirectional

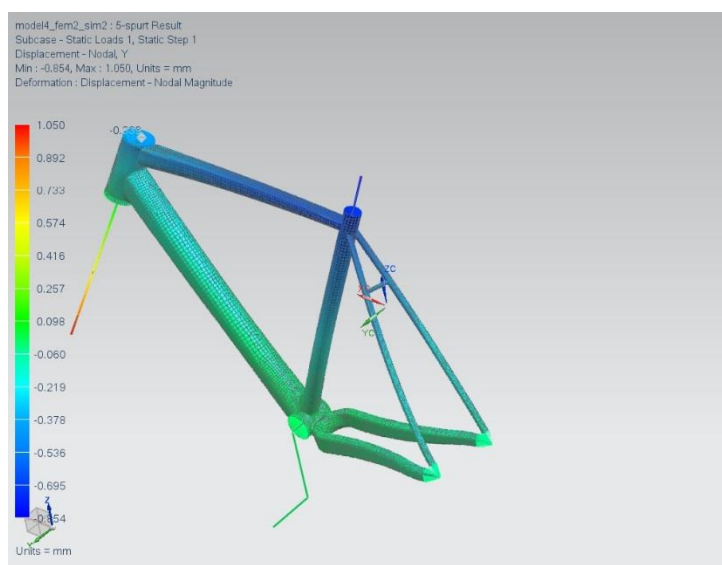
7.	0,2 mm	0	Unidirectional
8.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
9.	0,2 mm	- x	Unidirectional
10.	0,2 mm	0	Unidirectional
11.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
12.	0,2 mm	- x	Unidirectional
13.	0,2 mm	0	Unidirectional
14.	0,2 mm	+ x	Unidirectional
15.	0,2 mm	- x	Unidirectional
16.	0,2 mm	0	Woven

Schéma vrstev [71]

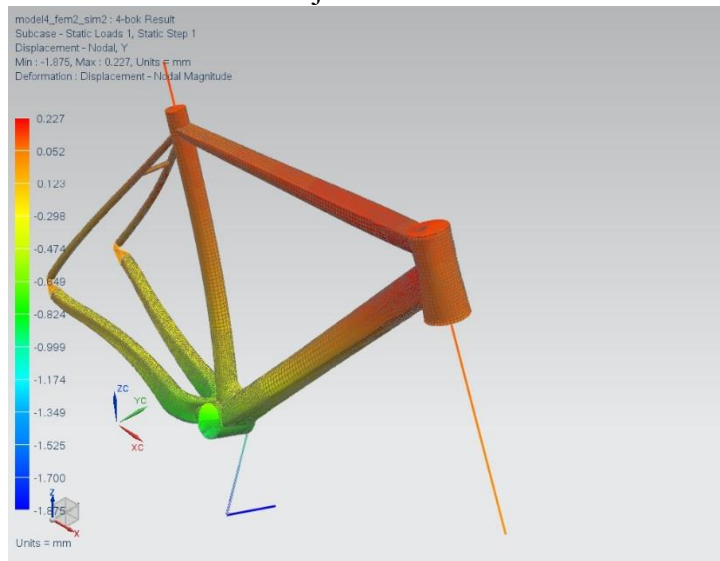
Výsledky analýz dle zatěžovacích stavů v 6.4.:



Posunutí v ose x při testu brždění [72]



Posunutí v ose y při zatížení šlapacího středu při sprintu [73]



Posunutí v ose y v místě pedálu při zatížení šlapacího středu při sprintu [74]

Tabulka výsledků:

<i>Posunutí v mm</i>	<i>A</i> +30°, -30°, 0°	<i>B</i> +45°, -45°, 0°	<i>C</i> +60°, -60°, 0°	<i>Optimální</i>
<i>Brždění</i>	3,503 mm	4,115 mm	4,376 mm	3,278 mm
<i>Sprint-střed</i>	1,930 mm	1,940 mm	2,036 mm	1,874 mm
<i>Sprint-hlavová</i>	0,384 mm	0,337 mm	0,396 mm	0,403 mm

Porovnání variant orientace vláken s optimální navrženou [75]

Byla zjištěna závislost tuhosti rámu na orientaci vláken v různých směrech zatížení. Dále byla provedena optimalizace tuhosti rámu pro dané provozní podmínky. Díky kombinaci různých úhlů natočení vláken v různých oblastech rámu jsme získali optimální variantu vhodnou pro požadované provozní podmínky.

6.4.5. Porovnání ideální varianty s předchozími, dle normy EN 14781:2005

<i>Výsledky</i>	<i>B</i>	<i>Opt</i>	<i>E</i>	<i>NudBikes</i>
posunutí [mm]				
<i>Materiál</i>	karbon	karbon	Al	karbon
<i>Váha</i>	1,08 Kg	1,09Kg	1,38 Kg	1,1 Kg
<i>Test- brždění</i>	15,62 mm	14,76 mm	16,95 mm	2,4 mm
<i>Test- doskok</i>	2,68 mm	3,488 mm	4,22 mm	4,5 mm
<i>Test- zatáčka</i>	20,63 mm	21.99mm	23,65 mm	22,12 mm

Porovnání variant orientace vláken dle normy EN 14781 [76]

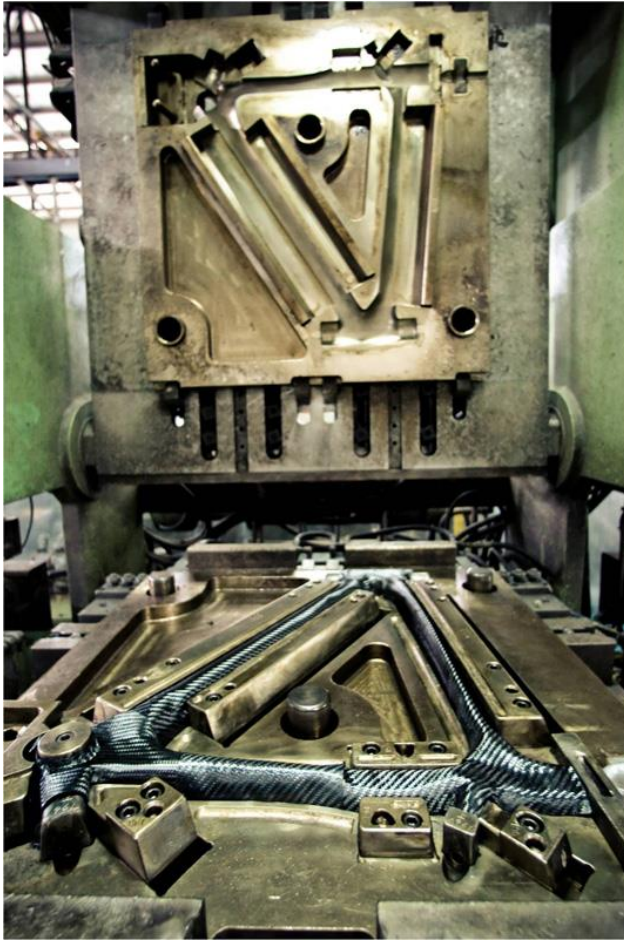
7. Ekonomické zhodnocení dle způsobu výroby

7.1. Velkosériová výroba

Pro velkosériovou výrobu se většinou používá kovová formy, do které je kladena preimpregnovaná karbonová tkanina. Následně je pak forma i s materiálem vytvrzena v peci.

Náklady na materiál jsou přibližně 15 000 Kč. Náklady na zařízení pro výrobu přibližně 50 000 Kč. Toto zařízení je ale použitelné pro velký počet rámu. Časová náročnost celé výroby je přibližně 15 hodin.

Pozn. Náklady jsou pouze orientační.



Forma na výrobu rámu [76] zdroj: www.scott-sports.com

7.2. Ruční výroba

Ruční výroba je možná několika způsoby. Jedním z nich je použití jádra z tvrdé pěny, tkaniny s jednosměrným vláknem a dvojsložkového epoxidu tuhnoucím při pokojové teplotě. Tkanina se nabaluje na polystyrenové jádro a každá vrstva se potírá epoxidem. Po kladení každé vrstvy následuje vytvrzení, které trvá přibližně 6 hodin, a jemné broušení pro zachování požadovaného tvaru. Náklady na materiál jsou přibližně 10 000 Kč. Náklady na zařízení pro výrobu jsou přibližně 3000 Kč. Časová náročnost je asi 300 hodin.

Pozn. Náklady jsou pouze orientační.



Ruční výroba rámu [77] zdroj: <http://www.craddockcycles.co.uk/>

8. Porovnání navržené varianty s konkurencí

- Normovaným testem jsme ověřili bezpečný návrh váhy rámu pro univerzální použití.
- Na základě specifických požadavků jezdce byl dále vytvořen optimální návrh orientace vláken v různých oblastech rámu.
- Konkurenční rámy velkosériové výroby používají jeden univerzální návrh orientace vláken. V porovnání s nimi byl vytvořen specifický návrh rámu, odpovídající nárokům jezdce a zajišťující ideální jízdní vlastnosti kola pro specifické provozní podmínky.
- Při návrhu tloušťky vrstev bychom také mohli zohlednit váhu jezdce a specifické provozní podmínky a navrhnout tak optimální váhu rámu odpovídající parametrům jezdce. Tato metoda by ale vyžadovala další MKP výpočty a mechanické testování pro zajištění bezpečnosti jízdy.

Seznam použité literatury

SOWTER, M., FEATHER, R. :Made in England: The Artisans Behind the Handbuilt Bicycle.
Birmingham: Push Projects Limited, 2012

Citace z WWW stránky:

Robert Štěřba [online]. 2015 [cit. 2015-03-20]. <http://www.sterba-kola.cz/>. Dostupné z
WWW: <http://www.sterba-kola.cz/>

Wikipedia [online]. 2015 [cit. 2015-04-26]. <Http://cs.wikipedia.org>. Dostupné z WWW:
<<http://cs.wikipedia.org>>.

Google [online]. 2015 [cit. 2015-04-26]. Google.com. Dostupné z WWW: <<google.com>>.

EN 14781:2005 (E) [online]. 2015 [cit. 2015-04-26]. <http://www.nlfnorm.cz/>. Dostupné z
WWW: <http://www.nlfnorm.cz/>

Nudbikes [online]. 2015 [cit. 2015-04-26]. <www.nudbikes.com>. Dostupné z WWW:
<www.nudbikes.com>

PŘÍLOHA č. 1

CAD modely navržených cyklistických rámu, soubory FEM a simulace.