



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE DÍLU PŘEHAZOVAČKY PRO PŘÍMOU MONTÁŽ K RÁMU JÍZDNÍHO KOLA

DESIGN OF DIRECT MOUNT B-KNUCKLE FOR BICYCLE DERAILLEUR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Chalupa

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Košťál, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **David Chalupa**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. David Košťál, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukce dílu přehazovačky pro přímou montáž k rámu jízdního kola

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přehazovačky se k rámcům jízdních kol po dlouhou dobu montují pomocí vyměnitelných patek. Tento systém se stává v posledních letech nedostatečným z důvodu zvyšování nároků na přesnost a tuhost upevnění. Nově vyvíjené přehazovačky namísto patky využívají přímé montáže k samotnému rámu kola, nicméně nejsou kompatibilní s předchozí generací řadících systémů.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Konstrukční návrh dílu přehazovačky (B–knuckle) pro umožnění přímé montáže k rámu kola pomocí standardu Sram UDH.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- přehled historických a současných řešení upnutí přehazovaček,
- volba konceptu možných řešení pro umožnění přímé montáže,
- návrh součásti b–knuckle a systému upnutí,
- tvorba podkladů pro výrobu.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<https://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukoncení/>

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, J.E., MISCHKE, Ch.R., BUDYNAS, R.G.: Konstruování strojních součástí. Překlad 7. vydání, VUTIUM, Brno 2010, 1186 s, ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na optimalizaci řazení horských kol prostřednictvím eliminace nepřesností způsobených použitím vyměnitelné patky. Hlavní oblastí zájmu je návrh, výroba a testování adaptéru, který umožní přímé připevnění mechanické přehazovačky k rámu horského kola a dosáhne vyšší tuhosti, než přehazovačka připevněna pomocí patky. Podstata práce spočívá v použití 3D tisku k výrobě mechanicky namáhaných součástí.

V rámci projektu jsou představeny dva návrhy adaptérů: První optimalizovaný pro výrobu pomocí 3D tisku SLS technologií s úmyslem komerčního prodeje. Druhý adaptér je určen pro výrobu na domácích 3D tiskárnách. Oba adaptéry jsou navrženy s využitím generativního designu na základě analyzovaných zatížení. Výsledkem práce jsou dvě plně funkční řešení adaptéru.

Testování ukázalo, že adaptér vyrobený pomocí tisku technologií SLS z materiálu PA12 vykazuje o 24,8 % vyšší tuhost a o 2,85 % nižší hmotnost ve srovnání s přehazovačkou připevněnou pomocí patky. Adaptér vyrobený technologií FDM z materiálu ASA dosáhl zvýšení tuhosti o 127,5 % a snížení hmotnosti o 2,3 %.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přehazovačka jízdního kola, Generativní design, FDM 3D tisk, SLS 3D tisk

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on optimizing the shifting mechanism of mountain bikes by eliminating inaccuracies caused by the use of a replaceable hanger. The aim was to design, manufacture, and test an adapter enabling direct attachment of a mechanical derailleur to the mountain bike frame. The essence of the work lies in utilizing 3D printing to produce mechanically stressed components.

Within the project, two adapter designs were introduced: the first optimized for production using 3D SLS printing technology with the intention of commercial sale, while the second adapter is tailored for production on home 3D printers. Both adapters were designed using generative design based on analyzed loads. The outcome of the work is two fully functional adapter solutions.

Testing revealed that the adapter manufactured using SLS printing technology from PA12 material exhibited a 24.8% increase in stiffness and a 2.85% decrease in weight compared to a derailleur attached using a hanger. The adapter produced using FDM technology from ASA material achieved a stiffness increase of 127.5% and a weight reduction of 2.3%.

KEYWORDS

Rear derailleur, Generative design, FDM 3D printing, SLS 3D printing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CHALUPA, David. Konstrukce dílu přehazovačky pro přímou montáž k rámu jízdního kola [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157596>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce David Košťál.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Petru Křivohlavému za odbornou pomoc s 3D tiskem a konzultaci. Následně bych rád poděkoval Jakubu Mačkovi za pomoc s testováním adaptérů. Dále bych rád poděkoval Ing. Davidu Košťálovi Ph.D. za vedení práce.

Velké díky také patří nejbližším za podporu při tvorbě projektu.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Davida Košťála Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
2.1	Pohonné ústrojí jízdního kola	14
2.1.1	Komponenty řetězového pohonu jízdního kola	14
2.2	Přehazovačky	15
2.2.1	Konstrukce přehazovačky	16
2.2.2	Rozdělení přehazovaček	17
2.3	Současné trendy v pohonech horských kol	18
2.4	Možnosti upínání přehazovaček k rámu	19
2.4.1	Standardní uchycení	19
2.4.2	Direct mount přehazovačky	21
2.4.3	Hákový typ	24
2.5	Přední výrobci komponent pohonů horských kol	25
2.5.1	Sram	25
2.5.2	Shimano	25
2.6	Materiály a technologie použité při tvorbě projektu	26
2.6.1	FDM 3D tištění	26
2.6.2	SLS 3D tištění	26
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	27
3.1	Analýza problému	27
3.2	Cíl práce	27
3.2.1	Dílčí cíle:	28
3.2.2	Upřesnění cíle	28
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	29
4.1	Volba vhodné přehazovačky	29
4.2	Koncepční řešení jednotlivých konstrukčních uzlů	30
4.3	Rozhraní adaptér – rám	31
4.3.1	Požadavky na uchycení:	31
4.3.2	Řešení 1	32
4.3.3	Řešení 2	33
4.3.4	Řešení 3	34
4.3.5	Diskuse řešení připevnění adaptéru	34

4.4	Přivedení ovládacího lanka	35
4.4.1	Řešení 1 - Použití kladky určené pro stávající přehazovačky	35
4.4.2	Řešení 2 – Použití vlastní kladky s ložiskem	36
4.4.3	Řešení 3 - Eliminace kladky	36
4.4.4	Diskuse řešení uchycení bowdenu pro vedení lanka	37
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	38
5.1	Analýza a příprava	38
5.1.1	Analýza upínacích rozměrů a geometrie přehazovačky	38
5.1.2	Zjištění vstupních parametrů pro simulace	40
5.1.3	Určení předpokládaných dynamických zatížení	42
5.1.4	Silové působení při srážce s překážkou	45
5.1.5	Ověření předpokládaných zatížení	47
5.2	Návrh a řešení konstrukčních uzlů	50
5.2.1	Konstrukční uzel: Rozhraní adaptér – rám	50
5.2.2	Konstrukční uzel: Přivedení ovládacího lanka	51
5.2.3	Konstrukční uzel: Připevnění paralelogramu	54
5.3	Návrh materiálu a technologie výroby	56
5.3.1	Adaptér 1 optimalizovaný pro nízkou hmotnost	56
5.3.2	Adaptér 2 optimalizovaný pro 3D tisk na FDM tiskárně	57
5.4	Generativní design	59
5.4.1	Geometrie k zachování	60
5.4.2	Geometrie překážky	61
5.4.3	Návrh výchozího tvaru	62
5.4.4	Analýza generativního designu	63
5.5	Prototypování	68
5.5.1	Optimalizace geometrie	68
5.5.2	Testování prototypů na horském kole	69
5.6	Testování finálních dílů	70
5.6.1	Testování tuhosti adaptéru	70
5.6.2	Konstrukce testovacího zařízení	70
5.6.3	Průběh měření	71
5.6.4	Zhodnocení měření	73
5.6.5	Ověření funkčnosti a odolnosti vůči působení setrvačných sil při dopadu	73
6	DISKUZE	74
7	ZÁVĚR	75

8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	76
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	80
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	81
11	SEZNAM TABULEK	84
12	SEZNAM PŘÍLOH	85

1 ÚVOD

Přehazovačky jsou od počátku minulého století nedílnou součástí jízdních kol. Jejich úkolem je upravovat převodový poměr mezi vstupem a výstupem pohonného ústrojí jízdních kol. Trendem posledních jsou takzvané 1x systémy, které používají kazety skládající se ze 12 pastorků o rozsahu 9 až 52 zubů. Tyto systémy kladou vysoký důraz na přesnost tím pádem i tuhost a tolerance celého systému. Tyto parametry jsou přímo ovlivněny způsobem upevnění samotné přehazovačky k rámu jízdního kola. Tradiční přehazovačky k montáži používají takzvané vyměnitelné patky, které jsou navrženy tak, aby v případě nehody došlo k jejich deformaci. Nevýhodou je tuhost patky, kde i velmi malý náraz, způsobí velké nepřesnosti v řazení. Tento problém je zvláště patrný v horské cyklistice, kde je vyšší riziko kolize přehazovačky s překážkou.

Cílem této práce je navrhnout, zkonstruovat a vyrobit adaptér pro mechanickou přehazovačku, který umožní montáž přímo k rámu jízdního kola bez nutnosti použití vyměnitelné patky. Navržený adaptér bude optimalizován pro výrobu pomocí 3D tisku. Hlavní motivací je prozkoumat téma použití domácích 3D tiskáren k výrobě mechanicky namáhaných součástí a zjistit, zda jsou součásti vyrobené touto technologií schopny odolat provozním podmínkám jízdy na horském kole. Návrh komponent optimalizovaných pro výrobu pomocí 3D tisku by potenciálně mohl snížit provozní náklady horské cyklistiky díky možnosti výroby vlastních náhradních dílů.

V práci jsou představeny dva návrhy adaptérů: První je optimalizovaný pro výrobu pomocí 3D tisku technologií SLS (Selective Laser Sintering) s úmyslem komerčního prodeje. Druhý adaptér je určen pro výrobu na domácích 3D tiskárnách. Oba adaptéry jsou navrženy s využitím generativního designu. Silové působení použité pro generativní design vychází ze zjednodušené analýzy zatížení působícího na přehazovačku během provozu horského kola v terénu.

V poslední části práce je provedeno testování vyrobených adaptérů z různých materiálů. Adaptéry jsou následně porovnány na základě měření jejich tuhosti v rámci statické zkoušky, výsledky jsou porovnány a vyobrazeny v grafu. Výstupem práce jsou dvě plně funkční řešení adaptéru, které umožňují tužší spojení s rámem horského kola oproti použití výměnné patky.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Pohonné ústrojí jízdního kola

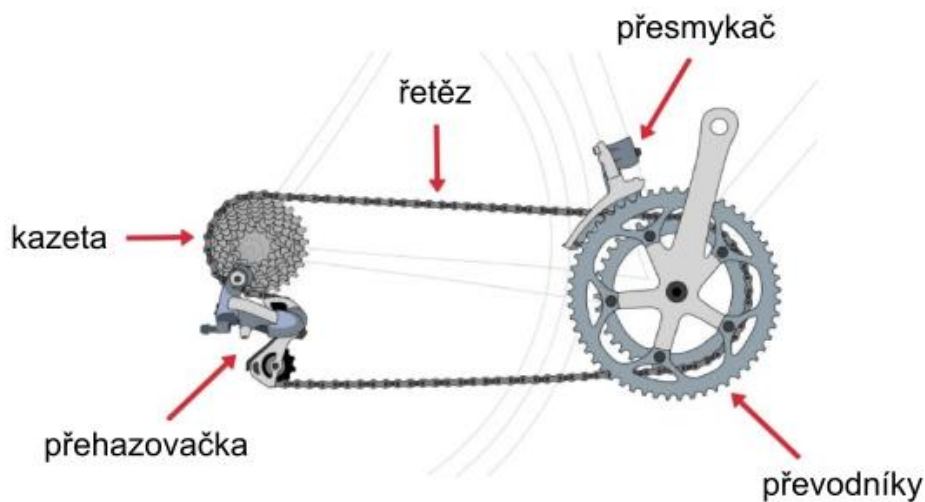
Pohon jízdních kol slouží k přenesení mechanické energie produkované nohama jezdce k pohonu zadního kola. Pro zvýšení komfortu jezdce a optimalizaci šlapání jsou systémy opatřeny komponenty pro změnu převodového poměru během provozu. Tato práce se zabývá systémem, který využívá řetězové převody a je jím vybavena valná většina jízdních kol. Ke změně převodového poměru dochází volbou pastorku a ozubeného kola, které jsou v přímém kontaktu s řetězem. Alternativou mohou být systémy s převodovkou, které ke změně převodového poměru používají různé kombinace spolu zabírajících ozubených kol. U těchto systémů je možné k přenosu mechanické energie použít kromě řetězu i řemenové převody.

2.1.1 Komponenty řetězového pohonu jízdního kola

Pohonné systémy jízdních kol se stávají z několika komponent:

- Přehazovačka – slouží posunutí řetězu na zvolený pastorek kazety a k napínání řetězu
- Kazeta – Skládá se z několika pastorků různých velikostí. Kazeta je se zadním kolem spojena pomocí volnoběžky. Jedná se o výstup systému
- Přesmykač – slouží k posunutí řetězu na zvolený převodník Při použití 1 převodníku dochází k eliminaci přesmykače.
- Převodník - 1 až 3 ozubená kola pevně spojená s klikami, ke kterým jsou připevněny pedály. Jedná se o vstup do systému.
- Řetěz
- Ovládací prvky – Komponenty sloužící k ovládní přehazovačky a přesmykače, nejčastěji připevněné k řídkům

Pohonné systémy jsou označovány dle počtů kombinací převodový poměrů, které jsme v systému schopni dosáhnout. Například systém obsahující 7stupňovou kazetu a dva převodníky označíme násobkem těchto hodnot. Jedná se tedy o systém 14rychlostní.

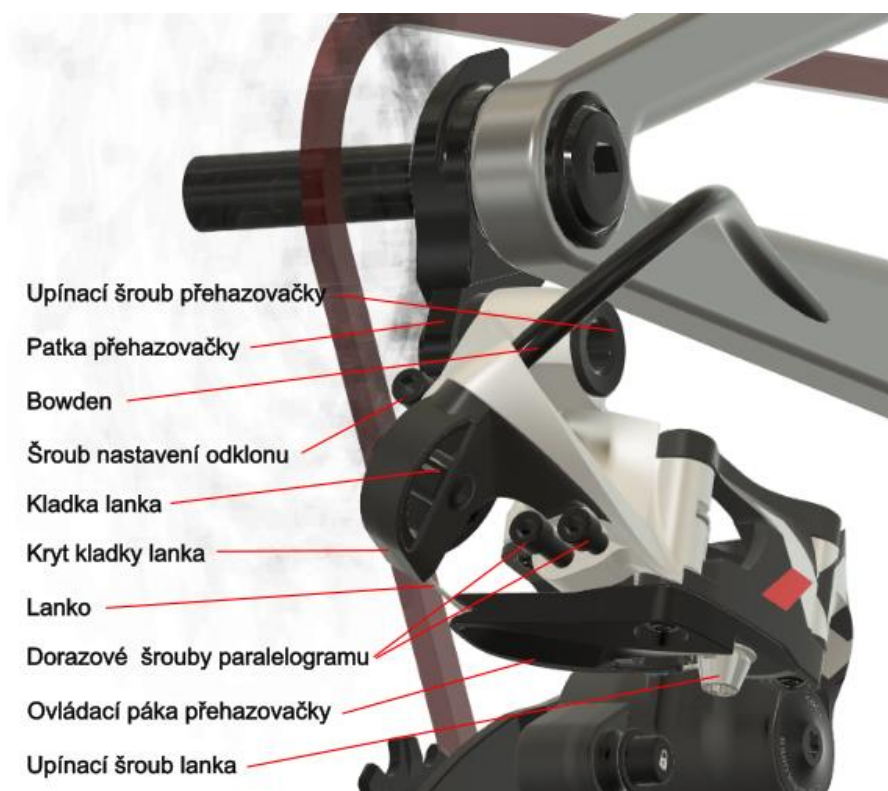
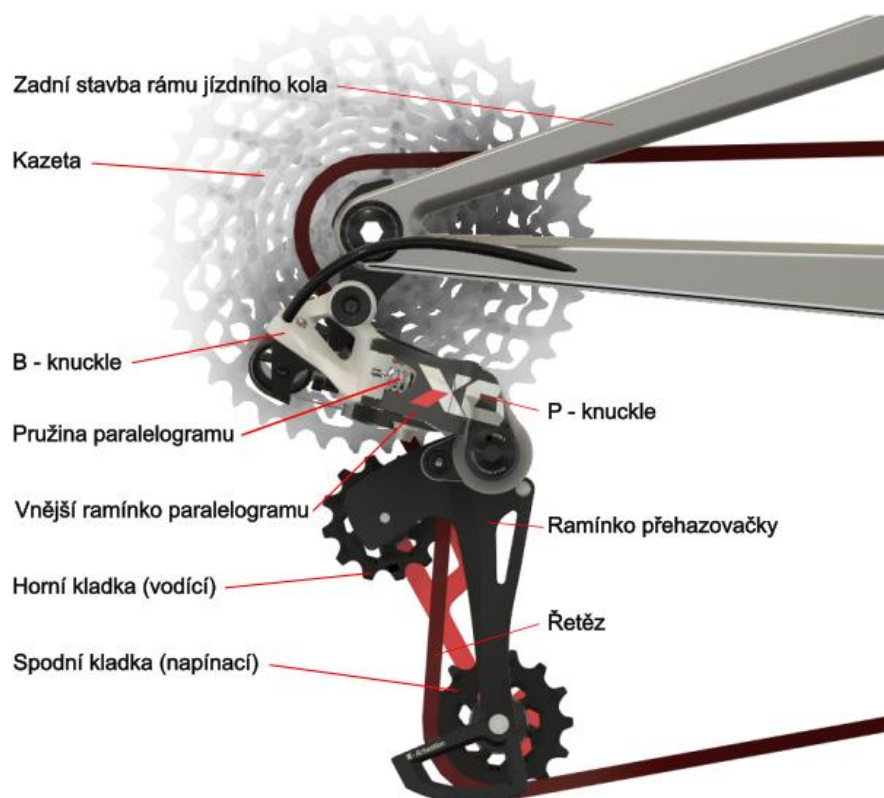


Obr. 2-1 Schéma pohonného ústrojí jízdního kola upraveno dle [1]

2.2 Přehazovačky

Přehazovačky jsou neodmyslitelnou součástí jízdních kol již od počátku minulého století. Jedná se o mechanická zařízení umístěná v blízkosti středu zadního kola. Tento mechanismus mění převodový poměr naváděním řetězu na různě velké pastorky kazety. Změna polohy řetězu probíhá pohybem ramínka přehazovačky, ke kterému jsou připevněné dvě kladky vedoucí řetěz. Ramínko přehazovačky se pohybuje přímočaře ve směru osy zadního kola, trajektorii pohybu zajišťuje použití paralelogramu. První zmínka o přehazovačkách pochází z roku 1895 [2]. Z této doby vychází patent na zařízení měnící polohu řetězu mezi 2 pastorky. V moderní době se na trhu nachází široká škála přehazovaček přizpůsobených potřebám různých cyklistických disciplín v různých cenových kategoriích. Tato bakalářská práce se věnuje úpravě přehazovačky určené zejména pro horská kola vyšší střední třídy.

2.2.1 Konstrukce přehazovačky



Obr. 2-2 Konstrukce přehazovačky horského kola

Přehazovačka je připevněna k patce přehazovačky pomocí upínacího šroubu přehazovačky. Šroub přehazovačky spojuje díly B-knuckle a patku přehazovačky. Odklon přehazovačky, respektive odklon B-knuckle je realizován pomocí šroubu nastavení odklonu. Tímto šroubem jsme schopni nastavit ideální osovou vzdálenost mezi ramínkem přehazovačky a nábojem zadního kola. Paralelogram je k části B-knuckle připevněn pomocí dvojice čepů, je ovládán pomocí lanka, do původní pozice je vracen pomocí pružiny paralelogramu. K druhé straně ramínka paralelogramu je připevněn díl P-knuckle, který obsahuje zkrutnou pružinu. Zkrutná pružina napíná ramínko přehazovačky, které pomocí napínací kladky napíná řetěz a pomocí vodící kladky jej navádí do správné polohy vůči kazetě.

2.2.2 Rozdělení přehazovaček

Dle určení

Přehazovačky dělíme dle určení do několika kategorií. Každá kategorie přehazovaček splňuje různé nároky jednotlivých disciplín. Může se jednat o požadavky na hmotnost, odolnost, servisovatelnost, nebo specifické rozsahy dosažitelných převodových poměrů.

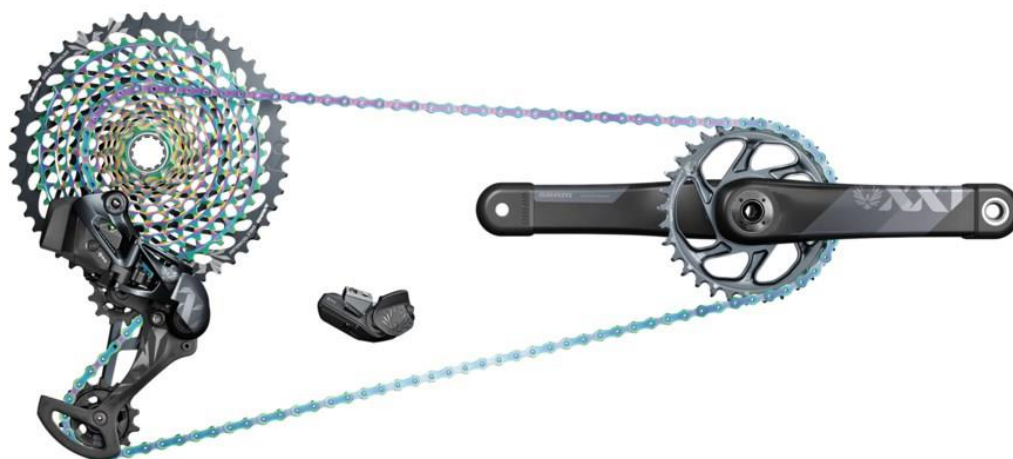
- Silniční přehazovačky
- Horské přehazovačky
- Trekingové přehazovačky
- Přehazovačky pro elektro kola

Dle ovládání

- Mechanicky ovládané
 - Nejrozšířenější typ přehazovaček
 - Řadící páčka je s přehazovačkou přímo spojena pomocí lanka a bowdenu
 - Výhody:** jednoduchost, spolehlivost a nízká hmotnost
 - Nevýhody:** potřeba pravidelného seřizování a údržby kvůli prodloužení lanka
- Elektronicky ovládané
 - Využívají elektromotory pro pohon paralelogramu přehazovačky
 - Jsou ovládány pomocí tlačítek na řídítkách, které jsou s přehazovačkou propojeny většinou bezdrátově
 - Výhody:** snazší údržba a přesnost řazení
 - Nevýhody:** vyšší pořizovací cena, vyšší hmotnost a potřeba nabíjení baterií
- Hydraulicky ovládané
 - Jedná se o nejméně rozšířený typ ovládání
 - Podobný princip jako u mechanicky ovládaných systémů s výjimkou nahrazení lanka kapalinou
 - Výhody:** vysoká přesnost a plynulost řazení a téměř bezúdržbový provoz
 - Nevýhody:** vyšší hmotnost, složitější opravy a vysoká cena

2.3 Současné trendy v pohonech horských kol

Vývoj komponent horských kol směřuje k co největšímu **zjednodušení** řadicích systémů, trendem posledních let je nahrazení trojice nebo dvojice předních převodníků pouze jedním. Systémy s jedním převodníkem jsou označovány jako **1x** (1 krát). Eliminace sady převodníků a dílů s nimi spojených mělo za následek výraznou úsporu hmotnosti a zjednodušení ovládání. Bez potřebných změn by odstranění převodníku mělo negativní vliv na rozsah dostupných převodových poměrů, které jsme schopni v systému provozovat. Proto v posledních letech dochází k nárůstu počtu zubů největšího pastorku zadní kazety a zároveň zmenšování pastorku nejmenšího. Tímto způsobem jsme schopni dosáhnout stejného i většího rozsahu převodových poměrů jako u předchozích generací systémů, které používaly až 30 rychlostí. Pro uspokojení požadavků závodníků, aby bylo možné kolo provozovat při optimální výstupní frekvenci při každé příležitosti je zapotřebí mít mezi jednotlivými převodovými stupni co nejmenší schody. **Z tohoto důvodu mají moderní high-end kazety a přehazovačky 12, některé až 13 rychlostí.** Problémem je ale zástavbová šířka pro kazetu, která zůstala během vývoje prakticky nezměněná. Moderní kazeta, která má 12 pastorků musí mít prakticky stejnou šířku jako kazeta 7rychlostní, pro kterou byl zástavbový prostor původně navrhován. V praxi to znamená, že jsou jednotlivé pastorky a s nimi i řetěz a **veškeré tolerance potřebné pro provoz užší.** Toto klade **vyšší nároky na tuhost** celé sestavy a také na **přesnost uložení** a zachování polohy přehazovačky vůči kazetě. Dalším trendem, který nemůžeme opominout je nástup elektro kol, která v důsledku použití elektromotoru kladou celkově vyšší nároky na celý pohonný systém. Z tohoto důvodu výrobci na trh uvádějí specializované pohony pro elektrokola s vyztuženými komponenty.



Obr. 2-3 Sram XX1 Eagle AXS. Moderní high end 12rychlostní systém s elektronickým ovládáním a standardním uchycením k rámu [3]

2.4 Možnosti upínání přehazovaček k rámu

Správné a přesné upnutí přehazovačky k rámu hraje zásadní roli ve fungování celého systému. Rukou v ruce se samotným vývojem přehazovaček jdou i systémy upnutí přehazovaček k rámu. Rozhodujícími faktory pro upínací systém přehazovaček jsou zejména materiál rámu jízdního kola a typ uchycení zadního kola. Dle [4] rozlišujeme 3 základní typy uchycení přehazovačky k rámu.

- Standardní uchycení
- Uchycení přehazovačky přímo k rámu kola – Direct mount
- Hákový typ uchycení

2.4.1 Standardní uchycení

Nejrozšířenější způsob montáže přehazovačky k rámu. Název vychází z použití standardizovaného závitu. Součástí přehazovačky je šroub M10x1, označovaný B-šroub, který slouží k upevnění k rámu. B-šroub je připevněný k B-kloubu, ke kterému je připevněný paralelogram. Naprostá většina přehazovaček na trhu využívá tento typ montáže. Rozlišujeme 2 typy standardního uchycení.

Montáž přímo do rámu

Samotný rám je opatřen standardním závitem, do kterého se přímo zašroubuje B-šroub přehazovačky. Jedná se o starší druh standardního uchycení, který byl využíván zejména ve druhé polovině minulého století, kdy byla většina rámu jízdních kol vyrobena z oceli. Výhodou je jednoduchá konstrukce. Nevýhoda nastává v případě nehody. Pokud dojde k nenávratnému poškození tohoto držáku, se celý rám stává pro použití s přehazovačkou nepoužitelný. V případě menšího poškození se dá držák narovnat za použití speciálního nástroje. [4]



Obr. 2-4 Držák přehazovačky jako součást rámu [5]

Použití výměnné patky

Výměnná patka je součást zrozená v 80. letech, kdy se k výrobě rámu jízdních kol začínaly používat lehké hliníkové slitiny. Díky povaze materiálů těchto rámu mohla mít i sebemenší nehoda za následek znehodnocení rámu z důsledku zničení držáku přehazovačky [4]. Odpovědí na tento problém je ona vyměnitelná patka přehazovačky. Patka je navržena tak, aby v případě nehody došlo k její deformaci, tím pádem násobně dražší rám a přehazovačka zůstane v případě nehody bez poruchy.

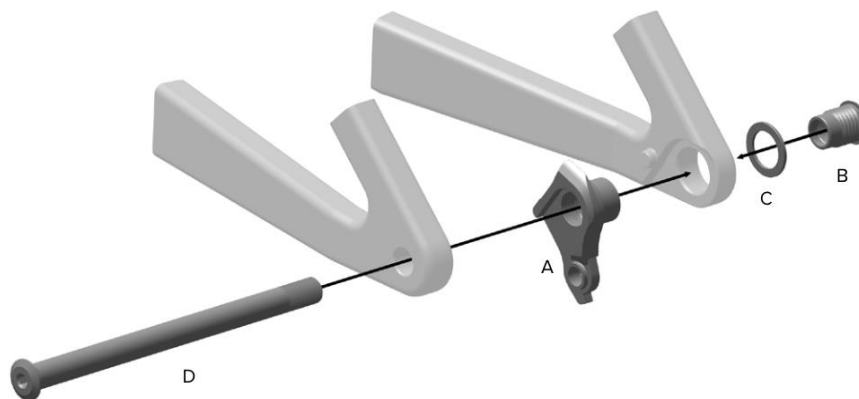
Problémem je fakt, že patky nejsou standardizovány, a proto je pro každý rám specifická patka jiná. Pokud u sebe jezdec v případě poškození patky nemá patku náhradní, nevyhne se objednavce potřebného dílu přímo od výrobce. Nevýhodou patky je také její tuhost, kde i velmi malý náraz, způsobí velké nepřesnosti v řazení. Tento problém se projevuje zejména u extrémnějších disciplín, kde je riziko jakékoli kolize velmi vysoké.



Obr. 2-5 Výběr patek přehazovaček výrobce TREK [6]

Sram UDH

Problém standardizace vyměnitelných patek horských kol se v roce 2019 pokusila vyřešit společnost SRAM. UDH (Universal Derailleur Hanger) je výměnná patka vyvinutá speciálně pro rámy využívající pevné osy k upevnění zadního kola. Patka se skládá ze dvou dílů: samotné patky a UDH a šroubu s podložkou, který je opatřen vnitřním a vnějším závitem. Vnější závit je zašroubovaný přímo do patky vsunuté do rámu a do vnitřního závitu se šroubuje výše zmíněná pevná osa zadního kola. Můžeme tedy říci, že se patka nemontuje pouze na rám, ale také na pevnou osu náboje zadního kola [7].



Obr. 2-6 Montážní schéma patky přehazovačky Sram UDH [8]

Toto řešení má řadu výhod, jako například lepší optimálního rozložení energie v případě kolize přehazovačky. Energie není soustředěna do malé oblasti v okolí patky přehazovačky, ale pomocí pevné osy je rozprostřena i do druhé strany zadní stavby rámu [9]. Patka je k rámu připevněna s jedním stupněm volnosti. V praxi to znamená, že v případě čelní kolize přehazovačky s překážkou dodává UDH možnost odklonu po směru hodinových ručiček a tím způsobem minimalizovat poškození.



Obr. 2-7 Patka Sram UDH [7]

2.4.2 Direct mount přehazovačky

Direct mount přehazovačky reprezentují významný posun v historii cyklistických převodů. Tato technologie umožňuje **přímé upevnění přehazovačky na rámu kola** bez potřeby výměnné patky. Tento koncept se poprvé objevil v roce 2003, kdy společnost Shimano uvedla na trh svou první generaci systému Saint, který obsahoval direct mount přehazovačku s montáží k ose zadního kola. Z důvodu nízké kompatibilitosti se v tu chvíli jednalo spíše o slepou uličku technologického vývoje [10].



Obr. 2-8 Přehazovačka Shimano Saint 2003 [11]

Další zmínky jsou z roku 2013, s nástupem systému Shadow od výrobce Shimano. Tento systém k montáži přehazovačky používal namísto patky vyztužený držák, který byl ale přímo pro daný rám, **nejednalo se tedy o standardizované řešení** kompatibilní s velkou škálou kol. Z toho důvodu se od tohoto typu uchycení v roce 2018 výrobce odklonil a pro přehazovačky horských kol tento systém již ani nenabízí [10].



Obr. 2-9 Přehazovačka Shimano Deore XT vybavená systémem Shadow [10]

Sram Eagle Transmision

Na vývoj direct-mount přehazovaček navazuje v roce 2019 firma SRAM s představením **univerzálního držáku přehazovačky Sram UDH**, kterým si výrobce vytváří standardizovanou platformu pro snadnou montáž přehazovačky pro širší škálu jízdních kol. V roce 2022 se na světových závodech horských kol objevují první prototypy přehazovaček s přímou montáží továrních kol výrobce Sram [12]. V roce 2023 SRAM na trh uvádí první přehazovačky s přímou montáží pomocí standartu UDH, přehazovačka je součástí systému Eagle Transmision [3]. Přehazovačka pro montáž **využívá vidlicovou konstrukci**. Vnitřní část vidlice je opatřena podložkou, která je v kontaktu s vnitřní stranou rámu a je opatřena závitem, druhá část vidlice je na straně vnější. Přehazovačka je připevněna pomocí šroubu, který prochází dírou v rámu, hlava šroubu dosedá na vnější stranu rámu a závit se šroubuje do podložky na vnitřní straně rámu. Vnější strana vidlice se v případě zatížení tedy pouze opírá o hlavu šroubu, která je v díře uložena s minimální vůlí. Do šroubu je podobně jako u UDH patky zašroubovaná pevná osa náboje zadního kola. Fungování přehazovačky pouze v rámci jednoho systému s přesně definovanou polohou kazety a revoluční **řešení uchycení sebou přineslo řadu výhod:**

- Robustnější konstrukce, **vyšší odolnost vůči nárazu** a delší životnost
- **Přesnější řazení** a umožnění řazení i pod plnou zátěží. Jedná se o velkou výhodu pro závodní aplikace nebo při použití na elektro kolech.
- Eliminace dorazových šroubů a šroubu pro nastavení B-gap, což vede ke snazšímu seřízení což vede k **usnadnění montáže a provozu**

System Eagle transmission je ovládán pouze elektronicky a je možné je zakoupit ve 4 konfiguracích:



Obr. 2-10 Přehazovačky Sram Eagle Transmission zleva X0, XX, XX SL, GX upraveno z [3]

Ratio Tech

O spojení systému přímé montáže k rámu podobného jako výše zmíněný Eagle Transmission se standardní běžnou přehazovačkou se dle [13] pokoušela společnost Ratio Technology. Která na svém Instagramovém profilu prezentovala **prototyp** řešení na **starším** modelu 11 rychlostní přehazovačky, který byl upraven na 12 rychlostní systém komponenty, které má Ratio Technology v nabídce. **Nejednalo** by se tak o adaptér určený **přímo pro stávající 12 rychlostní přehazovačky**. Kromě zmíněného instagramového příspěvku Ratio Technology o vývoji tohoto adaptéru nezveřejnilo žádné další informace.



Obr. 2-11 Prototyp adaptéru pro montáž standardní přehazovačky bez použití patky [13]

2.4.3 Hákový typ

Jedná se o nejekonomičtější způsob uchycení přehazovačky. Samotný rám není opatřen žádným prvkem pro upnutí, ale hák pro připevnění je součástí přehazovačky. Tento způsob se z důvodu jeho jednoduchosti a nenáročnosti výroby používá u nejlevnějších jízdních kol. [4]



Obr. 2-12 Uchycení přehazovačky pomocí hákového držáku [5; 14; 15]

2.5 Přední výrobci komponent pohonů horských kol

Dle [15] jsou na trhu dva hlavní výrobci pohonných komponent horských kol, z nichž každý nabízí širokou škálu řad od komponent pro hobby až po závodní využití. Jde o Japonského výrobce cyklistických komponent, sportovního a rybářského vybavení Shimano [14] a Amerického výrobce komponent jízdních kol SRAM [3].

Modelové řady komponent horských kol nabízené těmito výrobci (seřazeno dle ceny nejlevnější – nejdražší) [16].

2.5.1 Sram

- SRAM X3
 - SRAM X4
 - SRAM X5
 - SRAM X7
 - SRAM X9
 - SRAM NX
 - SRAM GX
 - SRAM X0
 - SRAM X1
 - SRAM X01
 - SRAM XX
 - SRAM XX1
- Eagle (12rychlostní systémy)**
- SRAM SX Eagle
 - SRAM NX Eagle
 - SRAM GX Eagle
 - SRAM X01 Eagle
 - SRAM X01 Eagle AXS
 - SRAM XX1 Eagle
 - SRAM XX1 Eagle AXS
 - SRAM X0 T-Type Eagle AXS
 - SRAM XX T-Type Eagle AXS
 - SRAM XX SL T-Type Eagle AXS

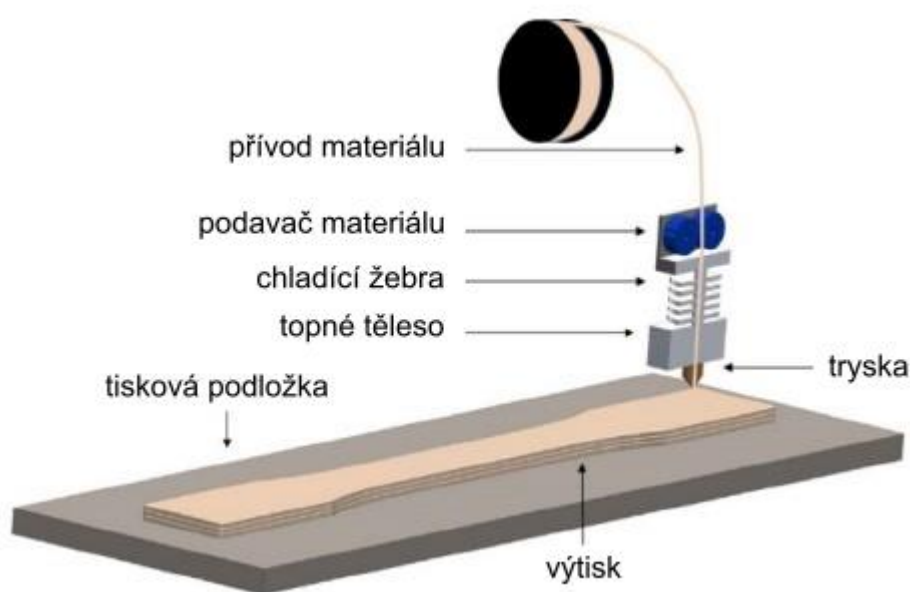
2.5.2 Shimano

- Shimano Tourney
- Shimano Altus M2000
- Shimano Acera M3000
- Shimano Alivio M3100
- Shimano Cues U6000
- Shimano Deore M6100, M5100, M4100
- Shimano SLX M7100
- Shimano Deore XT M8050
- Shimano Deore XT M8100
- Shimano XTR M9050
- Shimano XTR M9100

2.6 Materiály a technologie použité při tvorbě projektu

2.6.1 FDM 3D tištění

FDM (Fused Deposition Modeling) je metoda 3D tisku, která funguje na principu tavení a následného vytlačování termoplastického materiálu skrze trysku. Tisková hlava se pohybuje v horizontální a vertikální rovině, a tím vrstva po vrstvě buduje 3D objekt z digitálního modelu [17]. Materiál je obvykle dodáván ve formě filamentu, který se při tisku rozpouští a rychle tuhne. Tato technologie je oblíbená pro svoji jednoduchost, nízké náklady na zařízení a širokou škálu použitelných materiálů, což ji činí vhodnou pro prototypování, výrobní nástroje a vzdělávací účely [17].



Obr. 2-13 Proces FDM 3D tisku upraveno dle [17]

2.6.2 SLS 3D tištění

SLS (Selective Laser Sintering) je pokročilá technologie 3D tisku, která využívá laser pro selektivní spékání práškových materiálů vrstvu po vrstvě k vytvoření pevného objektu. Tento proces umožňuje realizovat složité geometrie, včetně pohyblivých částí, dutin a detailních prvků, které by bylo složité nebo nemožné vyrobit tradičními metodami. Jednou z hlavních výhod SLS je absence potřeby podpurných struktur, což značně snižuje plýtvání materiálem a umožňuje efektivnější výrobu komplexních dílů s vysokou pevností a odolností. [18] Oproti FDM tisku však SLS může mít omezení v používání výplňových struktur, protože ty by zůstaly vyplněné nespojeným práškem, což může být nežádoucí pro některé aplikace.

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Z rešerše je vidět že se na trhu již nachází přehazovačky, které se montují přímo na rám a využívají standartu UDH. Tyto přehazovačky ale **nejsou přímo kompatibilní s konvenčními komponenty** jako jsou řetězy, kazety atp. které jsou na trhu již několik let. Pokud chce zákazník využívat výhod přehazovačky upevněné přímo k rámu, **není možné vyměnit pouze přehazovačku**, ale musí obměnit kompletně celý systém [9]. Jedná se tedy o investici v řadách **nižších desítek tisíc korun** [3]. Na trhu se tedy nenachází žádný systém, který by umožňoval montáž přehazovačky přímo na rám pomocí standardu UDH a byl by kompatibilní s běžně používanými komponenty, kterými je osazena většina kol střední třídy. Pro některé uživatele může být také nevýhodou fakt, že nabízená přehazovačka je **ovládaná pouze elektronicky**, což má za následek **vyšší hmotnost** a komplexnost oproti čistě mechanické variantě.

Využití 3D tisku pro výrobu **funkčních** a mechanicky namáhaných součástí pro horská kola je zajímavým tématem, zejména vzhledem k **častým poškozením dílů při nehodách**. Z tohoto důvodu by bylo výhodné mít možnost výroby náhradních dílů pomocí 3D tisku, což by usnadnilo a urychlilo jejich výměnu a **snížilo náklady na údržbu**.

V době tvorby bakalářské práce **není možné vyrobit patku pomocí 3D tisku**, která by měla stejné nebo lepší mechanické vlastnosti a zároveň byla ekonomicky výhodná pro kusovou nebo malosériovou výrobu. Proto je třeba navrhnout jiné řešení upnutí přehazovačky k rámu.

3.2 Cíl práce

Cílem této práce je návrh, konstrukční řešení, výroba funkčního modelu a testování adaptéru držáku přehazovačky optimalizovaného pro výrobu pomocí 3D tisku. Adaptér umožňuje připevnit přehazovačku přímo na rám jízdního kola, který je **kompatibilní s patkou UDH**. Navrženy budou **dvě řešení**.

- Adaptér optimalizovaný na **co nejnížší hmotnost** při vyšší tuhosti oproti přehazovačce upevněné pomocí UDH patky vyrobený na 3D tiskárně technologií SLS. Tento adaptér bude navržen jako prodejní produkt.
- Druhý adaptér je určený pro výrobu na Hobby FDM 3D tiskárně, který nahradí funkci UDH patky. Toto řešení je navrženo jako 3D model dostupný pro veřejnost a osobní tisk.

3.2.1 Dílčí cíle:

- **Zjištění** potřebných rozměrů, zatížení přehazovačky a stanovení provozních podmínek
- **Návrh, konstrukční řešení a výroba adaptéru**, optimalizovaného pro **minimální hmotnost** vyráběného na SLS 3D tiskárně. Adaptér musí mít vyšší tuhost při působení ve směru osy zadního kola, než konvenčně upevněná přehazovačka
- **Návrh, konstrukční řešení a výroba** adaptéru optimalizovaného pro tisk na Hobby 3D tiskárně technologie FDM
- **Ověření funkčnosti** a testování součástí
- **Statická zkouška** a porovnání adaptérů s přehazovačkou upevněnou pomocí patky
- **Zhodnocení výsledků**

3.2.2 Upřesnění cíle

Adaptéry musí být kompatibilní s veškerými dvanácti rychlostními přehazovačkami značky SRAM rodiny Eagle, modelové řady NX a vyšší. Přehazovačka s tímto adaptérem musí jít přímo, bez jakýchkoli úprav namontovat na veškeré rámy, která používají patku SRAM UDH. Adaptéry budou konstruovány pro styl jízdy v nenáročném terénu disciplíny Cross-Country

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

4.1 Volba vhodné přehazovačky

Pro zvolení vhodné přehazovačky bylo vytyčeno několik kritérií:

- 12rychlostní přehazovačka
- Přehazovačka střední cenové kategorie (Cena do 3000Kč)
- Snadná rozebiratelnost
- Oblíbenost mezi příznivci horské cyklistiky

Mezi nejprodávanější 12rychlostí přehazovačky v této cenové kategorii patří: Shimano XT RD-8100, Shimano SLX RD-M7000 a SRAM GX Eagle [19]. Přehazovačky Shimano byly svou konstrukcí pro tuto aplikaci **nevhodné z důvodu nerozebíratelného spojení** ramínek paralelogramu se součástí B-knuckle. Z tohoto důvodu byla zvolena přehazovačka SRAM GX Eagle.

Sram GX Eagle

Velkou výhodou této přehazovačky je její konstrukční řešení. Všechny přehazovačky z rodiny Eagle (s výjimkou nejnižší řady) **jsou koncepčně totožné** a jsou konstruovány z tvarově stejných dílů. Pro účely této práce můžeme říct, že mezi jednotlivými řadami je rozdíl pouze v materiálech a technologiích použitých pro výrobu těchto součástí. **Většina** dílů je tedy mezi **jednotlivými řadami zaměnitelná**. Adaptér navržený pro přehazovačku GX Eagle bude tedy kompatibilní i s ostatními přehazovačkami rodiny Eagle.



Obr. 4-1 Přehazovačky SRAM Eagle a) SX, b) NX, c) GX, d) X01, e) XX1 upraveno dle [3]

4.2 Koncepční řešení jednotlivých konstrukčních uzlů

Úkolem tohoto adaptéru je držet přehazovačku v přesně určené poloze při veškerých provozních podmínkách. Z tohoto důvodu musí být tato součást dostatečně odolná vůči statickému zatížení od předeprnutí pružinou v přehazovačce. Dále musí díl odolat dynamickému zatížení, kterému je vystavován v důsledku jízdy v náročném terénu a také rázům, ke kterým může dojít v případě nehody. Z důvodu výrobních tolerancí veškerých komponent musí adaptér umožňovat přesné seřízení polohy přehazovačky. Protože jde o součást jízdního kola, musí mít také atraktivní vzhled a nesmí zásadním způsobem ovlivňovat estetiku kola a vypadat nevhodně. Součástí této práce budou dva návrhy adaptérů viz předchozí kapitola.

Adaptér 1 bude navržen jako produkt určený pro veřejný prodej. Veškeré díly použité v konstrukci musí být nakoupené nebo vyrobitelné tak, aby to dávalo ekonomický smysl pro malou sérii. Samotný adaptér bude vyroben na 3D tiskárně technologií SLS z materiálu Nylon PA 12. Požadavky na adaptér:

- Zjistí bezproblémovou funkčnost přehazovačky a celého řadícího systému
- Odolá provoznímu zatížení při **sportovní jízdě v terénu** (disciplína XC)
- Odolá dopadu z výšky 1 metru na asfalt při upevnění na kole jedoucí rychlostí 30 km/h
- Vykáže vyšší tuhost při silovém působení ve směru osy náboje než konvenčně připevněná přehazovačka – posuzováno statickou zkouškou
- Adaptér bude navržen jako prodejní produkt, kterým lze přímo nahradit stávající součást. Součástí adaptéru bude i veškeré příslušenství nutné pro správnou funkci.
- Cílem je dosažení co nejnižší hmotnosti při splnění ostatních požadavků

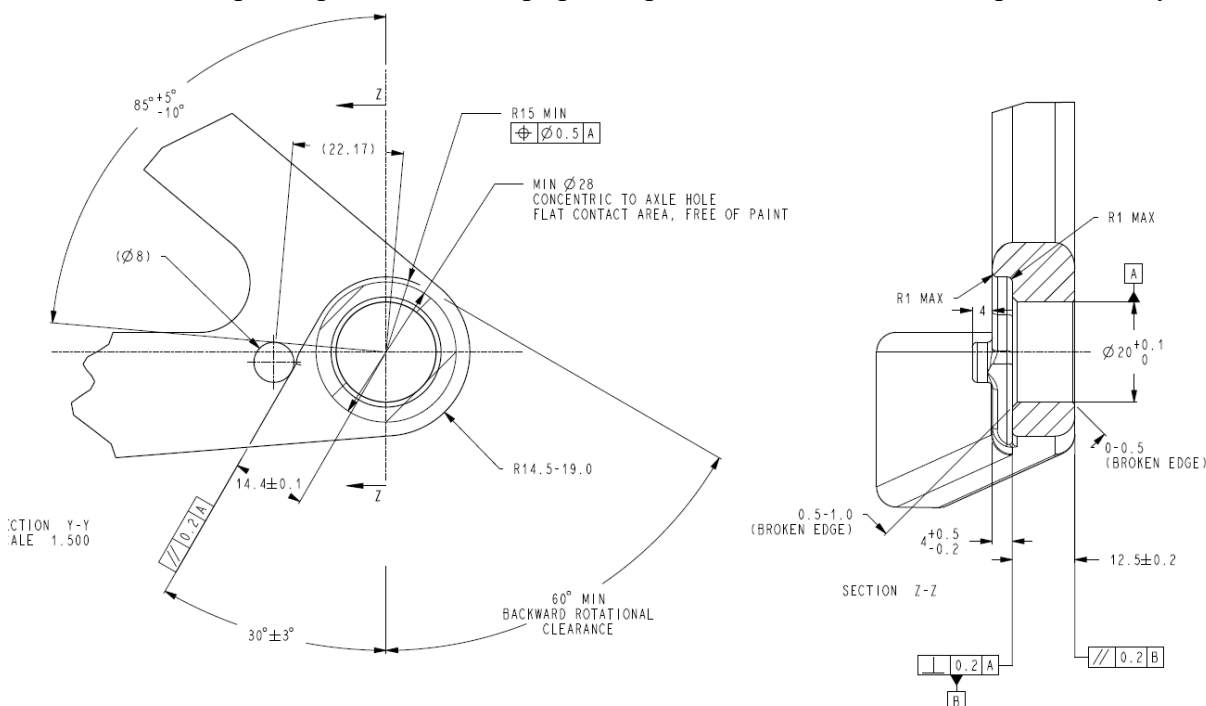
Adaptér 2 bude navržen jako součást určená pro majitele kompatibilních přehazovaček a bude konstruován navržen pro výrobu na FDM 3D tiskárně. Některé použité díly mohou být převzaté ze součástí přehazovačky, které adaptér nahrazuje jako jsou např. šrouby, čepy, kladka atp.

- Díl bude vycházet z Adaptéru 1, bude upravený pro tisk na Hobby 3D tiskárně z běžně dostupných materiálů
- Zajistí bezproblémovou funkčnost přehazovačky a celého systému řazení
- Odolá provoznímu zatížení při jízdě v **mírném** terénu použití (disciplína hobby XC)
- Odolá dopadu z výšky 1 metru na asfalt při upevnění na kole jedoucí rychlostí 30 km/h

Požadavky na funkčnost adaptéru předurčily dva hlavní konstrukční uzly.

4.3 Rozhraní adaptér – rám

Protože adaptér nahrazuje UDH patku, zástavbový prostor je definován standardem viz obr. Obr. 3-2. UDH patka nemá pouze funkci držáku přehazovačky, ale také se do ní šroubuje osa, která drží náboj zadního kola, musí být i tento adaptér vybaven prvkem pro zašroubování a bezpečné zajištění osy zadního kola. Přehazovačka se bude upevněna v díře rámu, pomocí šroubu. **Jedná se tedy o rotační vazbu, která má jeden stupeň volnosti.** Mezi dírou a šroubem bude vložena plastová vložka s osazením. Vložka bude mít za úkol **ochránit rám** před poškozením v případě protočení šroubu nebo přehazovačky.



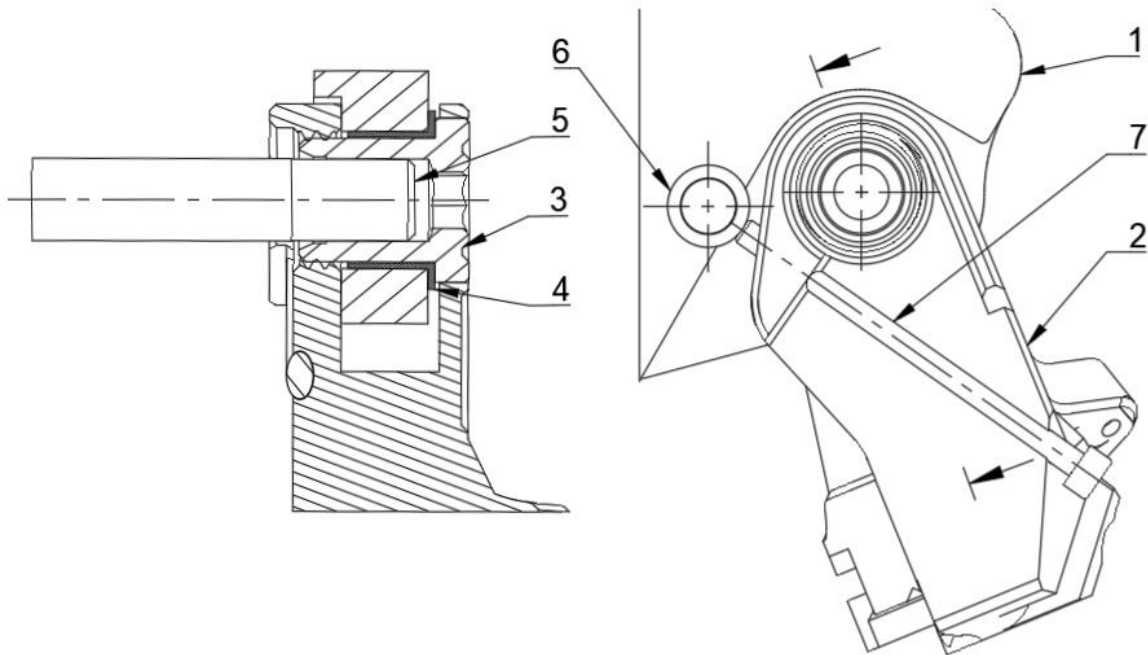
Obr. 4-2 Definovaný prostor pro upevnění přehazovačky k rámu [20]

4.3.1 Požadavky na uchycení:

- Přehazovačka musí být provozována v **přesně definované** poloze
- Poloha (natočení) přehazovačky musí být **přesně nastavitelné**
- Přehazovačka musí mít **umožněnou rotaci ve směru hodinových ručiček** v případě čelní kolize
- Uchycení přehazovačky musí obsahovat prvek pro zašroubování pevné osy náboje zadního kola

4.3.2 Řešení 1

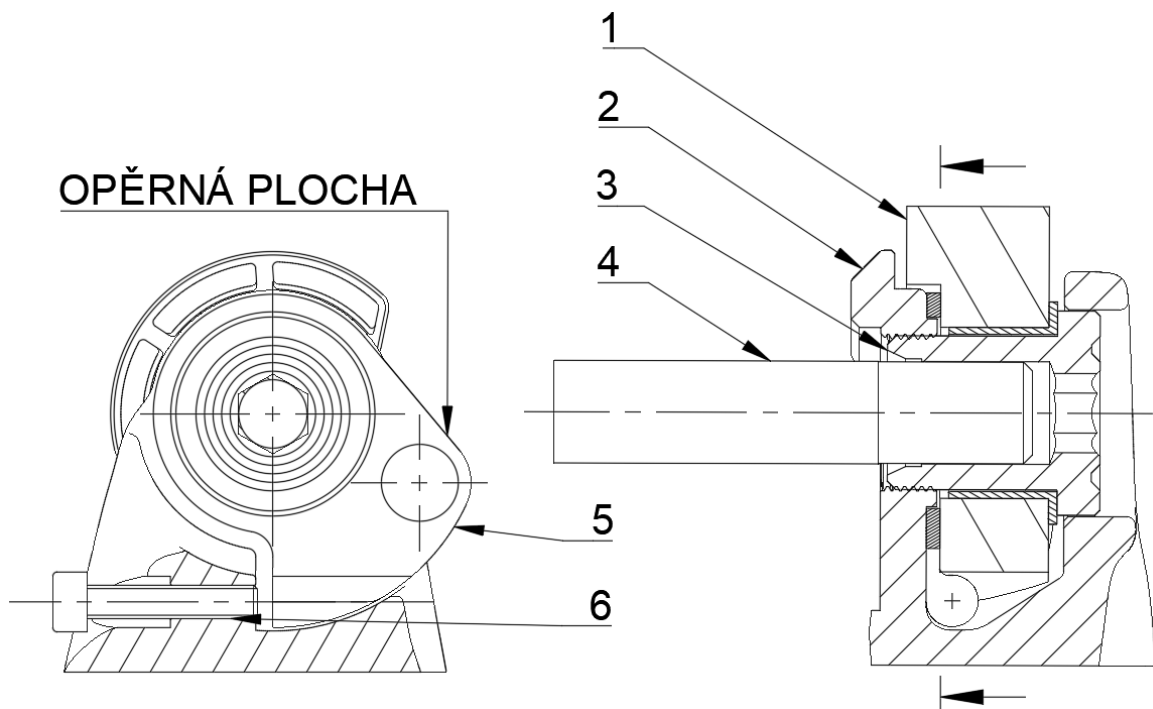
Adaptér (2) je uchycen pomocí šroubu (3), který je zašroubovaný přímo do vnitřní nohy vidlice, která je v přímém kontaktu se zadní stavbou rámu kola (1). Nastavení odklonu přehazovačky je realizováno pomocí stavěcího šroubu (7), který se přímo opírá o rám kola, který je v místě styku opatřen ochranným prvkem (6). **Výhodou** tohoto řešení je jeho jednoduchost. **Nevýhoda** spočívá v nevhodném umístění stavěcího šroubu (7), který komplikuje montáž zadního kola.



Obr. 4-3 Konceptní řešení 1 uchycení přehazovačky

4.3.3 Řešení 2

Šroub (3) je zašroubován přímo do vnitřní nohy vidlice adaptéru (2) jako v řešení 1. Mezi vnitřní nohou adaptéru a rámem kola (1) je vložena opěrka (5), která je uložena na osazení na vnitřní noze adaptéru. Opěrka je opřena o plochu rámu viz. Obr. 3-4, která zabraňuje rotaci v proti směru hodinových ručiček. Odklon přehazovačky se nastavuje pomocí šroubu (6), který se opírá o opěrku. Opěrka slouží pouze pro nastavení odklonu přehazovačky. Po ustavení přehazovačky do správné polohy je utážen šroub (3) a přehazovačka je držena v ideální poloze **pomocí tření**, na opěrku tedy nepůsobí žádné další zatížení. **Malá tloušťka stěny** opěrky v kombinaci s použitím plastových materiálů k její výrobě je hlavní **nevýhodou** tohoto řešení.

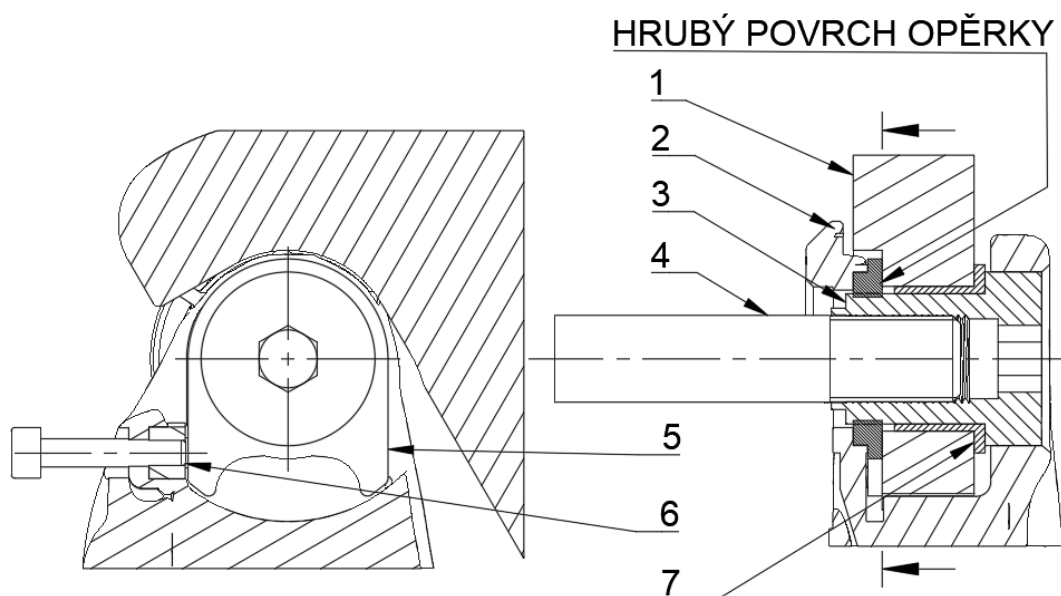


Obr. 4-4 Konceptní řešení 2 uchycení přehazovačky

4.3.4 Řešení 3

Způsob uchycení stejný jako u Sram Eagle Transmission viz. 1.4.2 - Direct mount přehazovačky. Šroub (3) je zašroubován do opěrky (5), která je v přímém kontaktu s rámem (1). Na styčné ploše mezi rámem a opěrkou je hrubý povrch, který má za úkol maximalizaci součinitele tření. Z druhé strany opěrky je osazení, které je vloženo do díry ve vnitřní noze vidlice adaptéru (3). Přesná poloha přehazovačky se nastavuje pomocí stavěcího šroubu (6), který se opírá o opěrku (5). Poloha opěrky je ustavená pomocí tření mezi hrubým povrchem opěrky a rámem.

Vložka do rámu (7), opěrka (5) a šroub (3) se **prodává jako sada náhradních dílů** s katalogovým číslem: 11.7518.104.000 [21], což je **hlavní výhodou** tohoto řešení. **Nevýhodou** toho řešení může být **nedostatečná tuhost** spojení vnitřní nohy vidlice adaptéru a opěrky. Styčná plocha těchto dvou součástí je velmi malá a tuto nevýhodu je nutné zvážit v konstrukci



Obr. 4-5 Koncepční řešení 3 uchycení přehazovačky

4.3.5 Diskuse řešení připevnění adaptéru

Při počáteční fázi projektu byla zvážena **pouze řešení 1 a 2** a bylo rozhodnuto aplikovat **druhé řešení**. Původní plán byl využít standardní **šroub, který je součástí UDH patky**. V průběhu implementace se však ukázalo, že **použití tohoto šroubu není možné** a bude nutné **vyrobit speciální šroub**. Což představovalo hlavní **nevýhodu** zejména pro adaptér 2, který je navrhnu pouze se standartními díly. Jako další nevýhoda se ukázala **nedostatečná tuhost opěrky**, která snižovala funkčnost tohoto řešení.

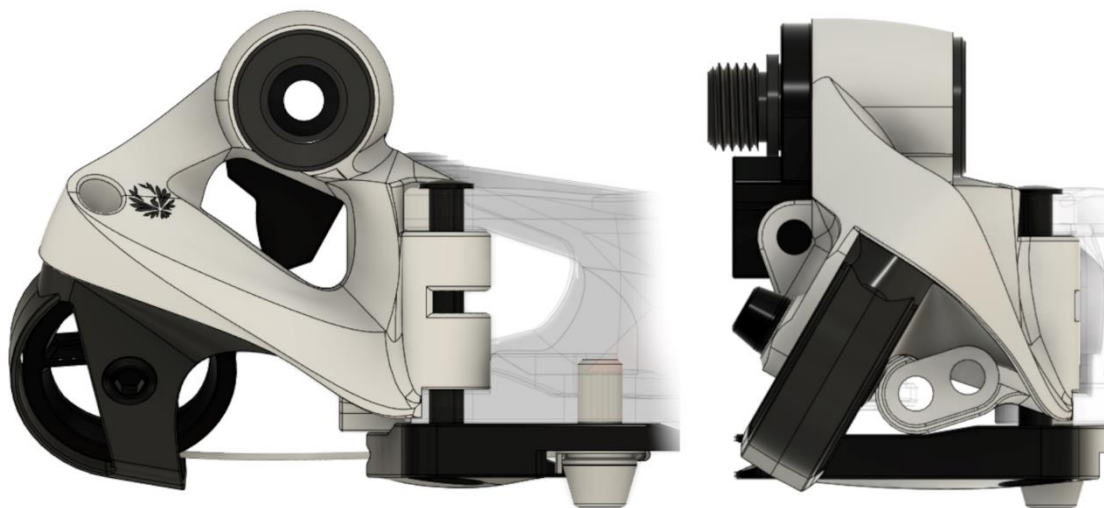
Během testování druhého řešení bylo identifikováno **třetí řešení**, které účinně řešilo oba tyto problémy, a proto bylo **přijato pro další použití v projektu**.

4.4 Přivedení ovládacího lanka

Dalším konstrukčním uzlem je vhodné umístění konce bowdenu, a přivedení lanka které slouží k ovládání přehazovačky. Lanko musí být navedeno směrem k páce, která je součástí paralelogramu, kde je lanko pomocí šroubu upnuté. Stávající přehazovačky k tomuto účelu používají kladku.

4.4.1 Řešení 1 - Použití kladky určené pro stávající přehazovačky

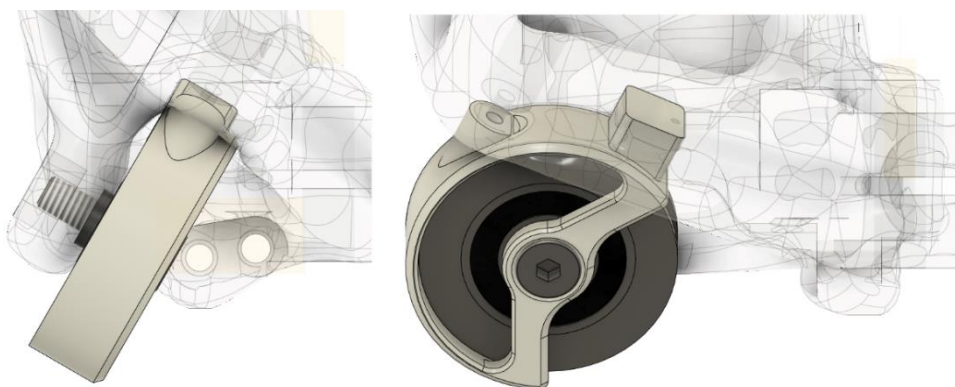
Plastová kladka je společně s plastovým krytem k tělu přehazovačky připevněna pomocí šroubu. Nižší řady používají čep, jehož konec je zánýtovaný v hliníkovém těle přehazovačky. Sestava se **dá zakoupit jako náhradní díl** s katalogovým číslem: 11.7518.016.000 [21]. **Výhodou** této konstrukce je její nízká hmotnost a jednoduchost. **Nevýhodou je vysoká nákupní cena** a také fakt, že se kladka v náročném provozu zadržává z důvodu silné kontaminace, což může nežádoucím způsobem ovlivnit řazení. Další nevýhodou je nevhodný tvar pro aplikaci v této práci.



Obr. 4-6 Koncept použití stávající kladky pro vedení lanka upraveno z modelu [22]

4.4.2 Řešení 2 – Použití vlastní kladky s ložiskem

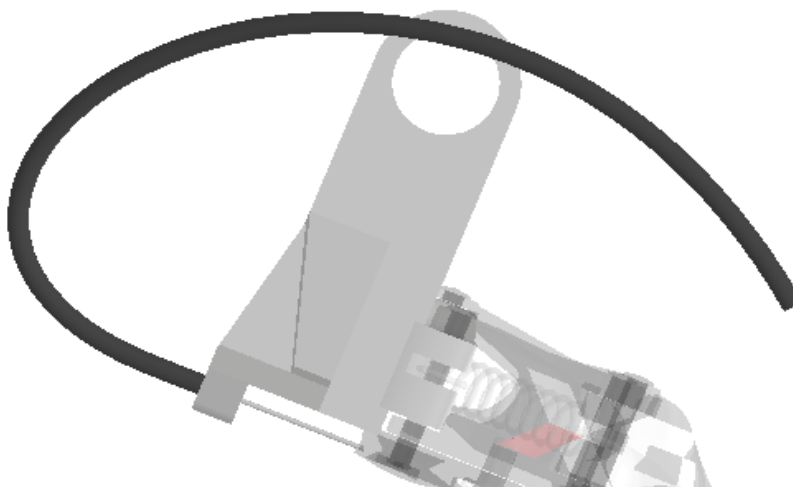
Kladka by byla uložena na **zapouzdřeném kuličkovém ložisku**. Kryt a ložisko by byly s adaptérem spojeny **pomocí šroubu**. V úvahu připadalo i řešení s kluzným ložiskem, kde by ale nastával stejný problém s kontaminací jako v případě řešení 1. Výhodou oproti 1. řešení je i bezúdržbový provoz a **fungování bez zadržávání i v náročných podmínkách, nižší cena** a konstrukční volnost bez tvarového omezení. Nevýhodou oproti 1. řešení je jeho hmotnost



Obr. 4-7 Koncept použití vlastní kladky s ložiskem pro vedení lanka

4.4.3 Řešení 3 - Eliminace kladky

Použití jednoduchého dorazu pro bowden. **Výhodou** tohoto řešení je jednoznačně jeho **ekonomičnost a jednoduchost**. **Nevýhodou** je potřeba použití delšího bowdenu a lanka, což přináší **riziko zachycení překážky** za dlouhý bowden vyčnívající z kola. Další nevýhodou je **zvýšená míra opotřebení bowdenu** způsobena jeho provozováním v zohnutém stavu s malým poloměrem. Toto řešení je také **méně vzhledné a atraktivní** než dvě přechozí.



Obr. 4-8 Koncept vedení lanka bez použití kladky

4.4.4 Diskuse řešení uchycení bowdenu pro vedení lanka

Po zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých řešení bude pro každý adaptér využité jiné řešení.

Adaptér 2

Vzhledem k tomu, že adaptér je primárně určen pro majitele přehazovaček Eagle, kteří si přejí své stávající zařízení vylepšit, je **nejvhodnější použít kladku přímo z této přehazovačky**. Hlavní nevýhodou prvního řešení je však nevhodný tvar **krytu**, což si vyžádá jeho **redesign** pro zlepšení celkové funkčnosti.

Adaptér 1

"U tohoto adaptéru nebylo vhodné aplikovat řešení 1, hlavně kvůli jeho vysoké ceně. Řešení 2 je považováno za robustnější a technicky vhodnější volbu pro tuto aplikaci kde se kladou vysoké požadavky na spolehlivost a funkčnost systému.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Návrh samotného dílu a jeho konstrukční řešení je iterační proces

- Analýza a příprava
- Volba Materiálu
- Návrh a řešení konstrukčních uzlů
- Prototypování a testování
- Finální iterace a výroba
- Návrh a výroba testovacího zařízení
- Testování a vyhodnocení výsledků

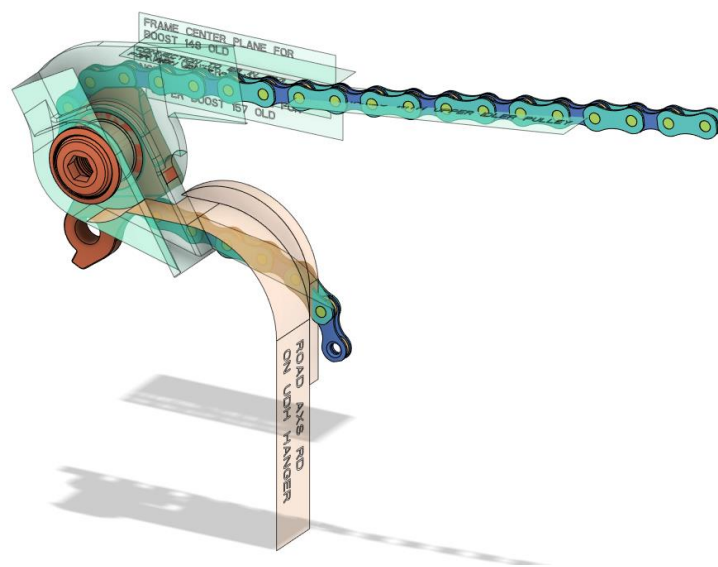
5.1 Analýza a příprava

5.1.1 Analýza upínacích rozměrů a geometrie přehazovačky

Upínací rozměry rámu kola

Adaptér musí být kompatibilní s veškerými rámy využívající patku Sram UDH, montážní rozměry jsou tedy omezené. Veškeré rozměry jsou definovány a detailně popsány ve výkresové dokumentaci [20] a dostupné na webových stránkách

www.universalderrailleurhanger.com/ [8]. Volně přístupný je i 3D model UDH patky společně s modelem ploch vymezujících prostor v okolí patky, který musí zůstat volný pro správnou funkčnost patky a přehazovačky. Model je součástí [20]

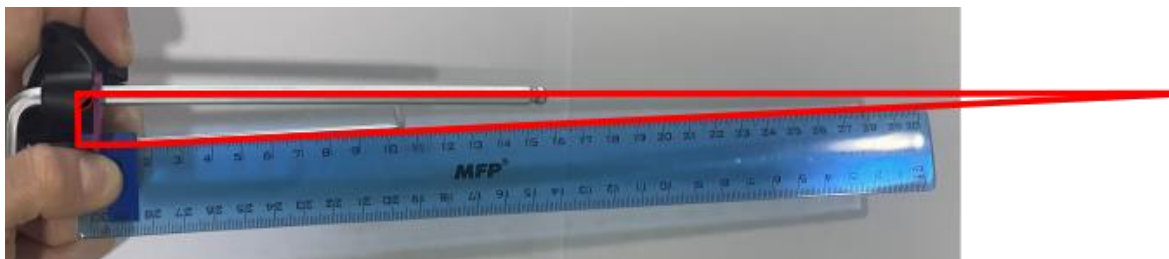


Obr. 5-1 3D model UDH patky a prostor vymezující volný prostor vytvořeno pomocí modelu z [20]

Geometrie přehazovačky

Moderní přehazovačky představují technicky náročná zařízení, jejichž optimální funkčnost závisí na přesném umístění jednotlivých komponentů vzhledem k poloze kazety. Jedním z klíčových konstrukčních uzlů je spojení mezi ramínky paralelogramu přehazovačky a adaptérem. Kratší ramínka paralelogramu, z nichž jedno představuje adaptér, jsou nasměrována pod malým úhlem vzhledem k ose zadního kola. Delší ramínka jsou od sebe odlišné a jejich polohy se liší vzhledem k ose náboje zadního kola, pokud jsou pozorovány ve směru osy. Měření těchto a dalších důležitých rozměrů není možné provést pomocí běžných měřicích nástrojů. Jako vhodná řešení se nabízí použití přesného 3D scanneru nebo výroba speciálních přípravků. Z důvodu omezení v materiálech, čase a technických schopnostech bylo rozhodnuto vytvořit sadu těchto přípravků a provést měření rozměrů pomocí nich.

Úhel sklonu paralelogramu byl změřen za pomoci sady přípravků, přípravky znázorňovaly průsečík osy šroubu určeného k připevnění přehazovačky k patce a spojnice středů děr pro čepy uchycení paralelogramu. Tímto způsobem vzniknul trojúhelník, s přeponou v podobě spojnice středů děr pro čepy a delší odvěsny v podobě osy upínacího šroubu. Po změření délek těchto stran byl dopočítán úhel pomocí funkce arccosinus.



Obr. 5-2 Nalezení úhlu sklonu paralelogramu vůči ose náboje

5.1.2 Zjištění vstupních parametrů pro simulace

Cílem této práce je vytvoření dílu s co **nejvyšší tuhostí** a odolností při **minimální váze**. Z tohoto důvodu bude adaptér přehazovačky navržen pomocí **generativního designu**. Abychom mohli díl optimálně navrhnout, je nutné analyzovat zatížení, kterým bude díl během provozu vystaven.

Hlavní funkcí přehazovačky je nastavování polohy ramínka s kladkami, které vedou řetěz pro každý převodový stupeň. Přehazovačka navádí řetěz ve směru osy zadního kola a celý mechanismus je ovládán předepnutým ocelovým lankem. Druhou neméně důležitou funkcí je napínání řetězu pomocí ramínka s kladkami, které je napínáno zkrutnou pružinou. Adaptér je tedy neustále namáhán díky předepnutému lanku a zkrutné pružině. Tyto namáhání jsou ve skutečnosti díky řazení jiných převodových stupňů proměnné, tedy dynamické nestacionární. Pro zjednodušení problematiky a vstupních hodnot budeme tato zatížení uvažovat jako statická a do simulací zahrneme jejich nejvyšší hodnoty. O vlivu únavy materiálu bude pojednáno v kapitole 5.3.

Měření síly od předepnutého lanka

Lanko je předepnuté pomocí pružiny v přehazovačce a je namáháno tahem. Pro účely této práce postačuje přesnost měření na jednotky Newtonů. Měření bylo prováděno pomocí jednoduchého pružinového siloměru. Siloměr byl připevněn k jednomu konci ocelového lanka, zatímco druhý konec byl připevněn k přehazovačce, která byla nastavena do provozní polohy. Síla působící na lanko se měnila podle každého převodového poměru z důvodu lineární charakteristiky tažné pružiny. Nejvyšší naměřená hodnota síly byla 15N při nejlehčím převodovém stupni, kdy je pružina nejvíce natažená. Protože byla síla během řazení proměnná a při řazení na lehčí stupně rostla až na 17N.

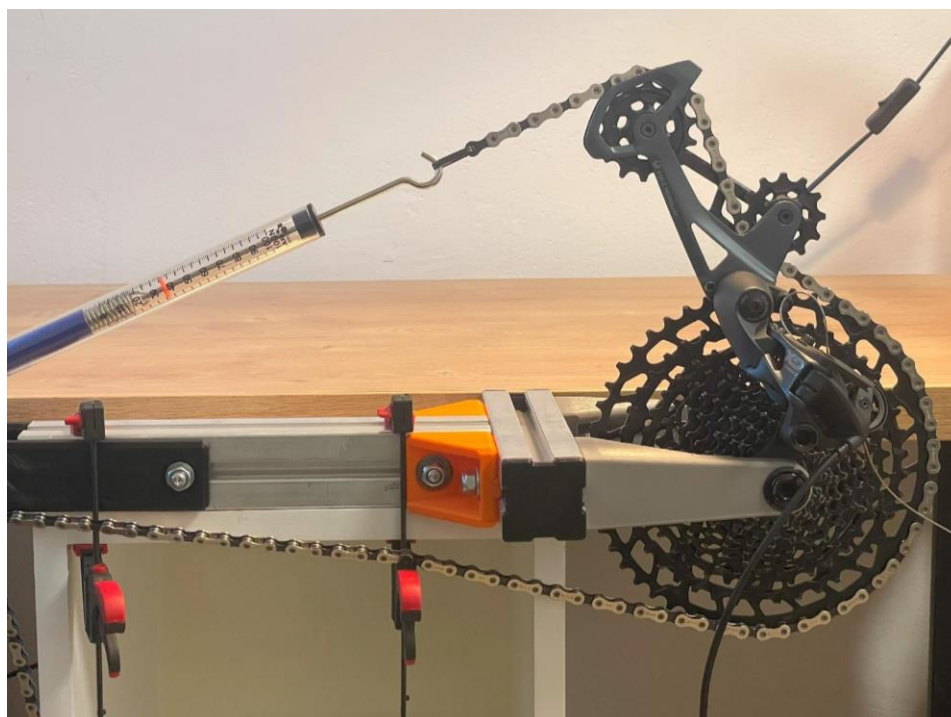


Obr. 5-3 Měření předepnutí ocelového lanka

Měření napětí od zkrutné pružiny

Řetěz je napínán zejména pomocí spodní kladky, která je připevněna k ramínku napínanému zkrutnou pružinou. Pružina má lineární charakteristiku. Měření probíhalo následovně:

Přehazovačka společně s kazetou, klikami a řetězem byla připevněna k měřicímu stojanu. Sestava byla nainstalována v konfiguraci zařazení nejlehčího převodu, kdy dochází k největšímu zkroucení pružiny a vyvolání největšího kroutícího momentu. Řetěz byl během měření rozpojený; jeden konec byl pevně uchycený k rámu. K volnému konci řetězu byl připevněn pružinový siloměr. Pomocí siloměru byl řetěz natažen směrem k převodníku, aby došlo ke zkroucení pružiny, a následně byla odečtena hodnota působící síly.



Obr. 5-4 Měření napětí od zkrutné pružiny

Výsledná naměřená síla byla $F = 35 \text{ N}$. Tato hodnota byla násobena vzdáleností středu kladky od středu otáčení ramínka. Tímto způsobem byl zjednodušeně stanoven kroutící moment působící v rotační vazbě.

Délka ramene působíště byla uvažována jako rozteč osy spodní kladky a středu otáčení ramínka, naměřená hodnota je $l = 110 \text{ mm}$.

$$M_k = F \cdot l = 35 \cdot 0,11 = 3,85 \text{ Nm} \quad (4 - 1)$$

5.1.3 Určení předpokládaných dynamických zatížení

Z důvodu provozu přehazovačky v náročném terénu **jsou dynamické síly působící na přehazovačku významné** v porovnávání s přehazovačkou určenou například pro provoz na silničním kole. Dynamické zatížení komponent během jízdy na horském kole v terénu je složitá problematika. Pro **zjištění skutečných napětí v součásti by bylo nutné provést měření při provozu v terénu** pomocí tenzometrických zařízení. Tato problematika kvůli časové náročnosti bohužel přesahuje cíle dosažitelné touto prací. Aby nešlo o pouhý odhad, bylo **použito výsledků z již provedených experimentů/měření nebo simulací**.

Jedním z faktorů způsobující dynamické zatížení jsou **setrvačné síly**, které se odvíjí od velikosti impulzu síly při přejíždění překážek a při dopadech ze skoků. Dalším významnou situací, kdy dochází k působení výrazných dynamických sil je **srážka přehazovačky s překážkou**. Při reálném provozu jsou přehazovačky vystavovány řadě jiných silových působení, ale pro účely této práce budeme uvažovat tyto dvě situace jako zásadní při návrhu adaptéru.

Adaptér bude navržen pomocí prostřední **generativního designu programu Autodesk Fusion 360**. **Vstupní hodnoty do této analýzy jsou pouze statické momenty a síly**, z tohoto důvodu bude dynamické zatížení zjednodušeno a přepočítáno na náhradní statické.

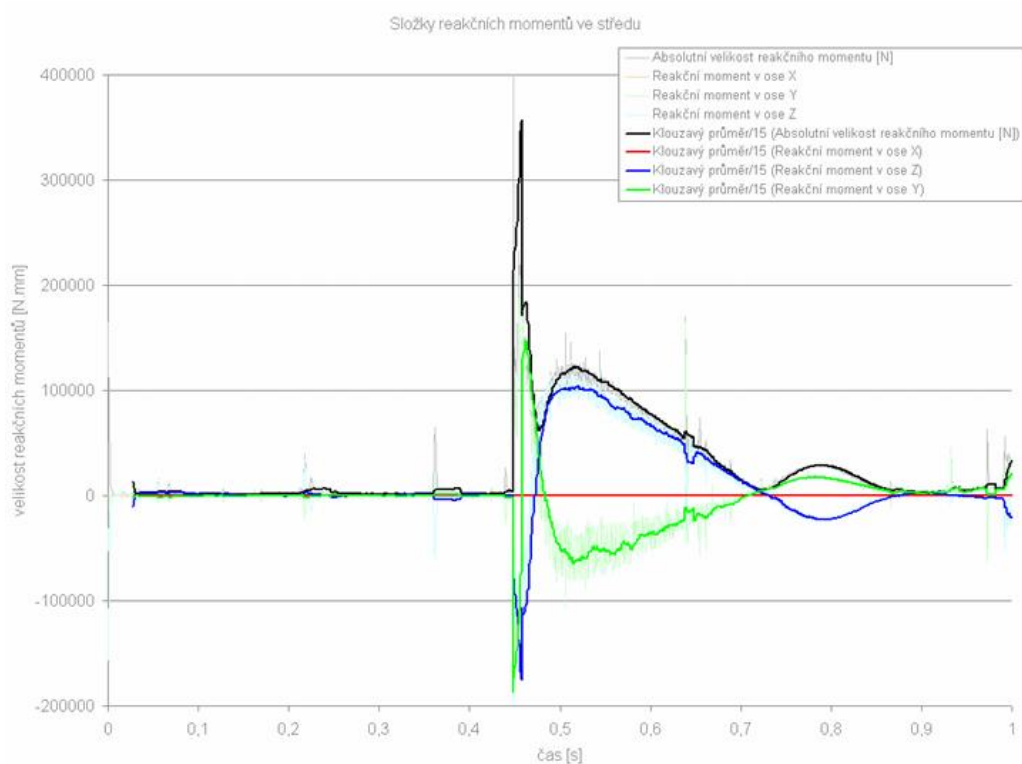
Silové působení setrvačných sil při dopadu z překážky

Pro zjednodušený výpočet silového působení setrvačných sil byla nastíněna **modelová situace**, která vychází z dynamické simulace z diplomové práce Ing. Martina Jelínka. Diplomová práce se zabývala návrhem rámu horského kola ve spolupráci s výrobcem rámu jízdních kol [23].

Modelová situace

Cyklista o hmotnosti 85 kg jedoucí na odpruženém kole rychlostí 30 km/h dopadne **z výšky 1 metru na zem**. Cílem modelové situace je výpočet hybnosti komponent zavěšených na přehazovačce před nárazem. Následně bude pomocí impulzu síly vypočítán odhad průměrné síly působící na adaptér během nárazu. Tento model je navíc snadno aplikovatelný v praxi, což umožňuje efektivní testování adaptérů, zda daný náraz při dopadu vydrží.

Pro výpočet síly tímto způsobem je ale nutné znát čas působení. Během diplomové práce [23] byly pomocí deformačně-napěťové analýzy zkoumány reakční síly ve středovém a hlavovém složení kola. Pro potřeby této práce je důležitý následující graf, který vykresluje závislost reakčních momentů ve středu kola v závislosti na čase.



Obr. 5-5 Graf složek reakčních momentů ve středu kola při dopadu [23]

„Časový interval 0,50 s – 0,56 s je čas po dopadu, kdy dochází k pro pružení kola s jezdcem a reakční síly jsou v hlavovém složení a středu maximální“ [23] Dle tohoto předpokladu budeme uvažovat $t = 0,06$ s jako čas působení největších silových zatížení působících i na přehazovačku během dopadu. Dalším předpokladem je, že rychlost přehazovačky ve vertikální směru bude po uplynutí 0,06 s nulová.

Pro výpočet hybnosti je nutné znát hmotnost pohybujícího se tělesa, v našem případě jde o zavěšenou přehazovačku a na ní zavěšený řetěz. Byla uvažována hmotnost nejtěžší možné přehazovačky, která je s adaptérem kompatibilní. Hmotnost přehazovačky činí **274,3 g** viz Obr. 5-6



Obr. 5-6 Hmotnost přehazovačky Sram NX Eagle (bez nahrazovaného dílu B-knuckle)

Bylo předpokládáno, že přehazovačka nese tíhu 23 párů článků řetězu Sram GX Eagle [3]



Obr. 5-7 Část řetězu nesena přehazovačkou upraveno dle [3]

Hmotnost řetězu:

$$m_{\dot{r}} = m_{\dot{c}} \cdot n = 0,0043 \cdot 23 = 0,0989 \text{ kg} \quad (4 - 2)$$

- $m_{\dot{r}}$ = hmotnost řetězu
- $m_{\dot{c}}$ = hmotnost páru článků řetězu
- n = počet článků zavěšených na řetězu

Hmotnost sestavy přehazovačka + řetěz:

$$m_s = m_p + \frac{m_{\dot{r}}}{2} = 0,2743 + 0,0989 = 0,3732 \text{ kg} \quad (4 - 3)$$

- m_s = hmotnost sestavy
- m_p = hmotnost přehazovačky

Vertikální složka rychlosti sestavy okamžik před nárazem [24]:

$$v_y = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1} \doteq 4,429 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (4 - 4)$$

- g = tíhové zrychlení
- h = výška pádu
- v_y = vertikální složka rychlosti okamžik před nárazem

Výpočet průměrné síly pomocí impulzu síly¹ [24]:

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v \quad (4 - 5)$$

$$F_y = \frac{m_s \cdot v_y}{t} = \frac{0,3732 \cdot 4,429}{0,06} \doteq 27,551 \text{ N} \quad (4 - 6)$$

- F_y = Průměrná setrvačná síla působící na adaptér při dopadu

¹ Během výpočtu počítáme působení pouze ve vertikální směru

5.1.4 Silové působení při srážce s překážkou

Cílem této práce je návrh adaptéru, který umožní připevnění přehazovačky bez ovlivnění její funkčnosti ve srovnání s běžným připevněním pomocí patky. Proto bylo klíčové zjistit, jak velkou silou je nutné působit na standardně připevněnou přehazovačku, aby došlo k jejímu poškození. Tato informace nám umožnila navrhnout adaptér, který dokáže odolat obdobnému zatížení.

Dynamické zatěžování a testování je velmi složitá problematika, která není předmětem této bakalářské práce, z tohoto důvodu byly provedeny značné zjednodušení, které nemusí odpovídat realitě.

Hodnota působící síly byla předběžně odhadnuta na základě výpočtů. Silové zatížení bylo následně aplikováno na model samotné patky přehazovačky pomocí metody konečných prvků. Cílem této simulace bylo nalézt minimální sílu, kterou je nutné na přehazovačku působit, aby došlo k vyvození napětí přesahující mez kluzu materiálu, ze kterého je patka vyrobena.

Předpokládaná hodnota síly potřebné k poškození patky

Ve videu s názvem „It took a 1,342 mph fastball to break SRAM Transmission“ [25] kanadští prodejci jízdních kol Fanatik, kteří vystupují také na youtube.com porovnávají odolnost nového systému SRAM Transmission a předchozí generace elektronicky ovládané přehazovačky (viz Obr. 2-3), která je upevněna pomocí patky UDH. Z videa vyplynulo, že jakou rychlostí do přehazovačky musí narazit baseballový míček, aby došlo k trvalému poškození patky UDH, ke které byla připevněna přehazovačka předchozí generace. Ve videu bylo testování prováděno pomocí kyvadla, které bylo osazeno závažím. Závaží naráželo do přehazovačky a pro pochopení neodborné veřejnosti byla hybnost přepočítávána na baseballový míček letící určitou rychlostí. Náraz do přehazovačky byl pod úhlem $\alpha = 45^\circ$, elektronická přehazovačka použitá ve videu je designovaná, aby v případě nehody uhnula, což výrazně prodloužilo dobu nárazu. Při testování nebylo dostatečně pevně upnuté horské kolo, na kterém byla přehazovačka připevněna. Z tohoto důvodu byla odhadnuta doba trvání nárazu jako $t_n=0,1$ s. Pomocí těchto hodnot byly provedeny následující výpočty pro odvození síly potřebné k poškození UDH patky.

Výpočet hybnosti baseballového míčku [24]:

$$p_b = m_b \cdot v = 0,145 \cdot 600 = 87 \frac{kgm}{s} \quad (4 - 7)$$

- p_b = hybnost baseballového míčku
- m_b = hmotnost baseballového míčku = 0,145 kg [26]
- v = rychlost baseballového míčku = 600 m/s [25]

Výpočet průměrné síly pomocí impulzu síly [24]:

$$F \cdot \Delta t = \Delta p \quad (4 - 8)$$

$$F = \frac{p_b}{t_n} = \frac{87}{0,1} = 870 \text{ N} \quad (4 - 9)$$

- t_n = doba nárazu
- F = průměrná síla působící během nárazu

Přepočet síly do směru rovnoběžného s osou zadního kola:

$$F_x = F \cdot \cos(\alpha) = 870 \cdot \cos(45^\circ) \doteq 615 \text{ N} \quad (4 - 10)$$

- F_x = Průměrná síla působící ve směru osy náboje
- α = úhel, která svírá nositelka síly F a s vertikální rovinou, na které leží osa náboje

Působíště síly

Jako působíště síly byl zvolen nejvzdálenější bod přehazovačky od samotného rámu kola, kde je největší pravděpodobnost kolize. Důkazem, že se jedná o kritické místo mohou být šrámy, které se často objevují na vnějším ramínku paralelogramu, kde se právě nejvzdálenější místo nachází. Při zvolení nejvzdálenějšího bodu dochází k maximalizaci ramene, které s nárazovou silou vytváří ohybový moment působící na patku přehazovačky.



Obr. 5-8 Místo s vysokou pravděpodobností kolize upraveno dle [27]

5.1.5 Ověření předpokládaných zatížení

Zda dojde k poškození UDH patky po aplikování předpokládané síly v místě působení bylo ověřeno pomocí MKP analýzy v programu Fusion 360. Na model UDH patky, který byl zjednodušený pro účely snadnějšího sítování bylo působeno silou o velikosti odvozené z experimentu na videu. Za poškození patky bylo považováno překročení meze kluzu i mimo odfiltrované koncentrátoři napětí.

Zjednodušení modelu

Z modelu byly z důvodu snížení nároků na výpočetní výkon byly provedeny následující zjednodušení:

- Odebrání tvarové prvky, které mají na skutečné patce pouze funkci proti zabránění pádu řetězu a ochranu rámu před poškozením od řetězu.
- Odstranění šroubu patky a nahrazení jeho funkce vazbami.
- Nahrazení závitů k montáži přehazovačky průchozími děrami o velikosti středního průměru závitu.

Na tuhost patky odstranění těchto prvků nemá zásadní vliv a pro účel této práce je toto zjednodušení adekvátní.

Určení materiálových charakteristik

Materiálové charakteristiky vychází z přednastavených modelových materiálů, které jsou součástí knihovny materiálů programu Fusion 360. **Samotné tělo UDH patky je tvořené dvěma součástmi.** Plechem z hliníkové slitiny tloušťce 5 mm a plastovým výliskem, který je na plech nalisován. Dle [28] je většina patek vyrobena z recyklovaných slitin hliníku. Někteří výrobci působící na sekundárním trhu patky vyrábí ze slitiny 6061.

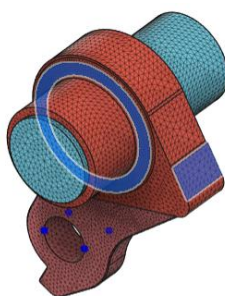
Přesný materiál použití pro výrobu patky UDH nebylo možné dohledat, budeme tedy materiál plechu uvažovat jako slitinu 6061. Materiál výlisku je uvažován jako Nylon 6, který nabízí knihovna materiálů Fusion. Tento materiál se dle [29] používá právě pro aplikace v cyklistickém průmyslu.

Silové působení

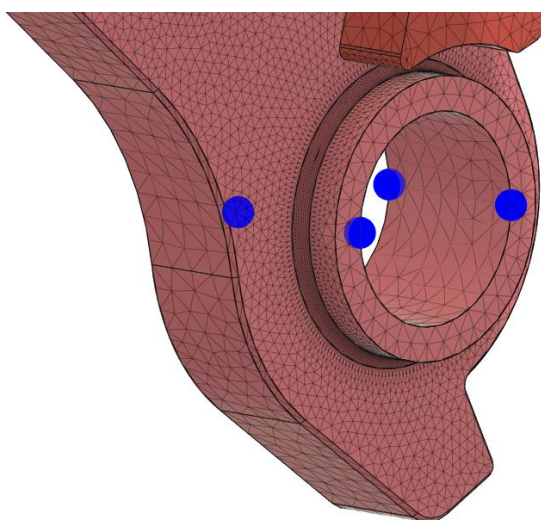
Na patku bylo působeno silou simulující náraz, o kterých hovoří kapitola 5.1.3. Toto silové působení bylo nasimulováno funkcí Remote Force. Tyto funkce umožňují simulovat síly s působením umístěným kdekoli v prostoru. Toto zatížení působilo na otvor pro montáž přehazovačky.

Vazby

Patka byla pro účely simulace vazebná k vetknutému tělesu (viz Obr. 5-9, světle modré těleso) které simulovalo osu zadního kola, ke které je přišroubovaný UDH šroub. K tomu tělesu byla patka vazebná pomocí rotačních vazeb. Samotné dva díly patky byly spojeny pomocí funkce nastavení kontaktů, která umožňuje nastavení chování styčných ploch modelu během simulace. Axiální posuv vůči vetknutému tělesu byl zastaven na styčné ploše patky s rámem (viz tmavě modré mezikruží na Obr. 5-9). Rotaci bylo zabráněno díky zakázání relativního pohybu patky vůči vetknutému tělesu v místě závitu šroubu. Průměrná velikost elementu sítě byla nastavena na 2% velikosti modelu. V místě koncentrátoru napětí byla nastavena velikost elementu na 0,1 mm. Vektor síly je znázorněn modrou šipkou.



Obr. 5-9 Silové působení v simulaci na nasíťovanou UDH patku

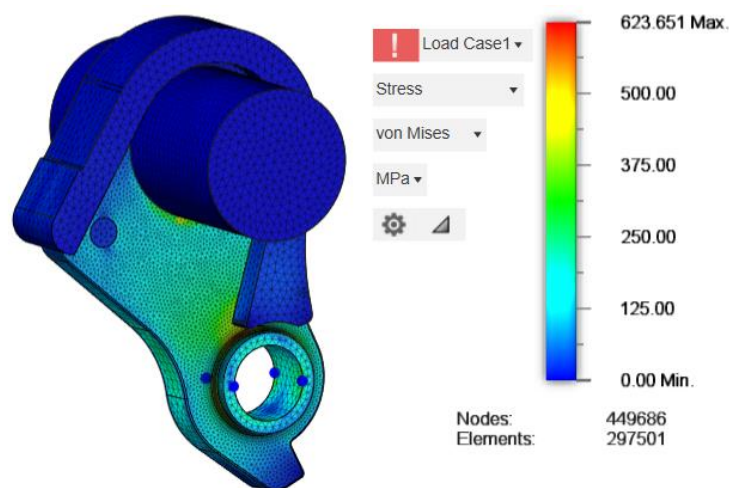


Obr. 5-10 Zjemnění sítě v místě koncentrátoru napětí

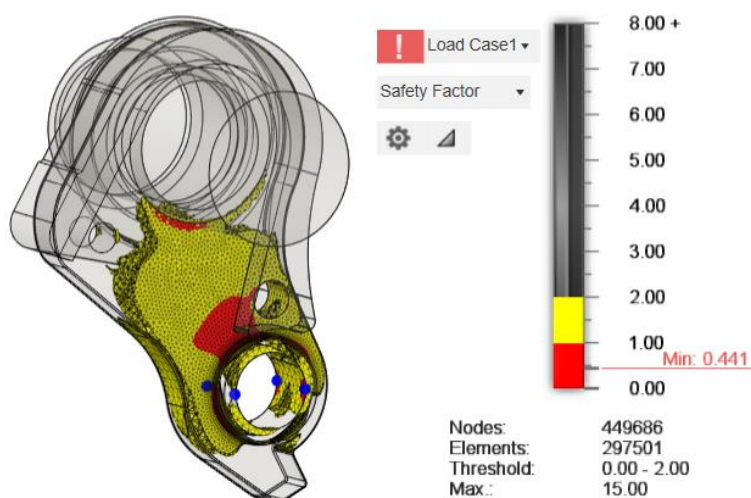
Vyhodnocení analýzy

Obrázky ukazují výstup analýzy po zatížení silou 300 N. Síla byla odvozena iteračním postupem, jehož cílem bylo nalezení minimální sílu působící napětí přesahující mez kluzu v dostatečné míře pro ovlivnění funkčnosti přehazovačky. Původní síla iteračního procesu vycházela z kapitoly 5.1.4, ukázalo se, že vypočtená síla 615 N působila nadměrné deformace, proto byla postupně snižována.

Obr. 5-11 ukazuje celý průběh napětí na povrchu součásti. Z obrázku je zřejmé, že nejvyšší dosažené napětí dosahuje hodnot okolo 600 MPa, což více než dvojnásobek meze kluzu hliníkové slitiny 6061. Mez kluzu pro tento materiál 275 MPa, dle integrované knihovny materiálu softwaru Fusion 360. Pro lepší názornost je přiložen Obr. 5-12, kde je znázorněn průběh bezpečnosti vůči mezi kluzu v objemu materiálu. Červené oblasti znázorňují místa, kde je napětí v součásti přesahuje mez kluzu, bezpečnost vůči mezi kluzu je tedy menší než 1. Žlutá místa ukazují bezpečnost v rozmezí hodnot 1-2.



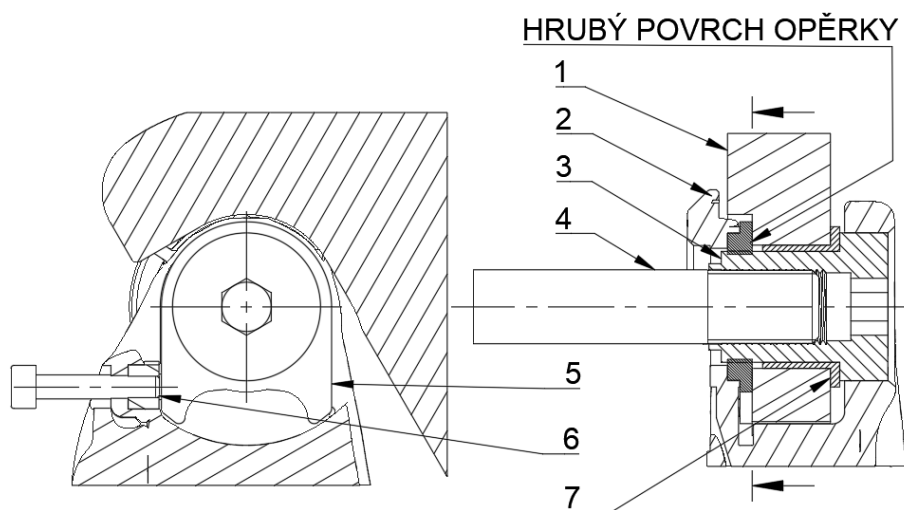
Obr. 5-11 Analýza UDH patky, vykreslení napětí



Obr. 5-12 Analýza UDH patky, vykreslení hodnoty bezpečnosti

5.2 Návrh a řešení konstrukčních uzlů

5.2.1 Konstrukční uzel: Rozhraní adaptér – rám



Obr. 5-13 Konstrukční řešení uchycení adaptéru přehazovačky

Při navrhování spoje adaptéru k rámu kola bylo vycházeno z koncepčního řešení popsaného v kapitole 3.3.4, které bylo inspirováno metodou použitou u Sram Eagle Transmission. Adaptér je upevněn k rámu pomocí **šroubu (3)**, který je zašroubován do **opěrky (5)**. Tato opěrka je v přímém kontaktu s **rámem** kola (1), přičemž na styčné ploše mezi rámem a opěrkou je **hrubý povrch**, který zvyšuje tření a zajišťuje stabilitu spojení proti prokluzu. Šroub je utažen 35 Nm kroutícího momentu, hodnota je předepsaná výrobcem šroubu [3].

Na druhé straně opěrky je osazení, které je vloženo do otvoru ve vnitřní noze vidlice adaptéru (3). Opěrka je na osazení opatřena pružnou plastovou vložkou, která vymezuje vůli mezi adaptérem a opěrkou. **Adaptér je tedy na rámu připevněn pouze tvarovým stykem**, což eliminuje možnost vyvíjení nadměrného napětí na adaptér vlivem přetažených šroubů.

Pro zajištění správné funkčnosti a přesného náklonu přehazovačky je používán **nerezový šroub M4 x 20 ISO 4762 (6)**, který se opírá o opěrku (5). Tento šroub je zašroubován do **samojistné matice M4** vlepené do šestihranného otvoru. **Matice byla oproti řezání závitu zvolena z důvodu zvětšení kontaktní plochy**, čímž se snižuje tlak vyvolaný silou od předepnutého řetězu a rázy během jízdy. **Poloha opěrky je ustavena třením** mezi styčnou plochou opěrky a rámu.

V místě spojení vnitřní nohy adaptéru a rámu (pozice 2 na obrázku) byl přidán **chránič**, který zamezuje zapadnutí řetězu mezi rám kola a kazetu, což zabraňuje poškození rámu.

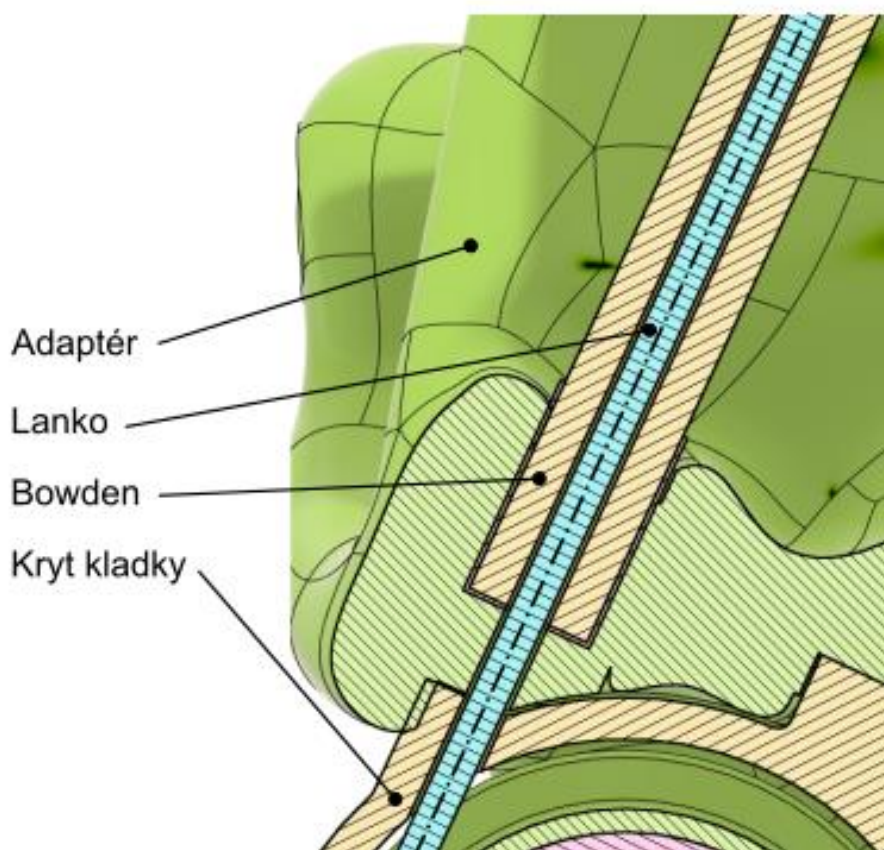
V případě čelní kolize přehazovačky s překážkou dochází k jejímu protočení po směru hodinových ručiček, čímž se minimalizuje poškození. Vložka do rámu (7) je navržena tak, aby při protočení přehazovačky došlo k otočení vložky, nikoli šroubu v rámu, čímž se minimalizuje abrazivní poškození rámu.

5.2.2 Konstrukční uzel: Přivedení ovládacího lanka

Návrh tohoto konstrukčního řešení se mezi dvěma navrhovanými adaptéry liší v typu kladky pro navádění lanka a způsobu jejího uchycení k adaptéru.

Uchycení Bowdenu

Uchycení konce bowdenu je pro oba adaptéry totožné. Bowden vedoucí předepnuté lanko je zasunut do díry v adaptéru o průměru 6 mm. V určité hloubce je díra skokově zúžena na průměr 2 mm, kterou prochází samotné lanko. Konec bowdenu se opírá o plochu v místě zúžení díry, na kterou je vyvíjen tlak způsobený silou předepnutého bowdenu.



Obr. 5-14 Přichycení ovládacího lanka

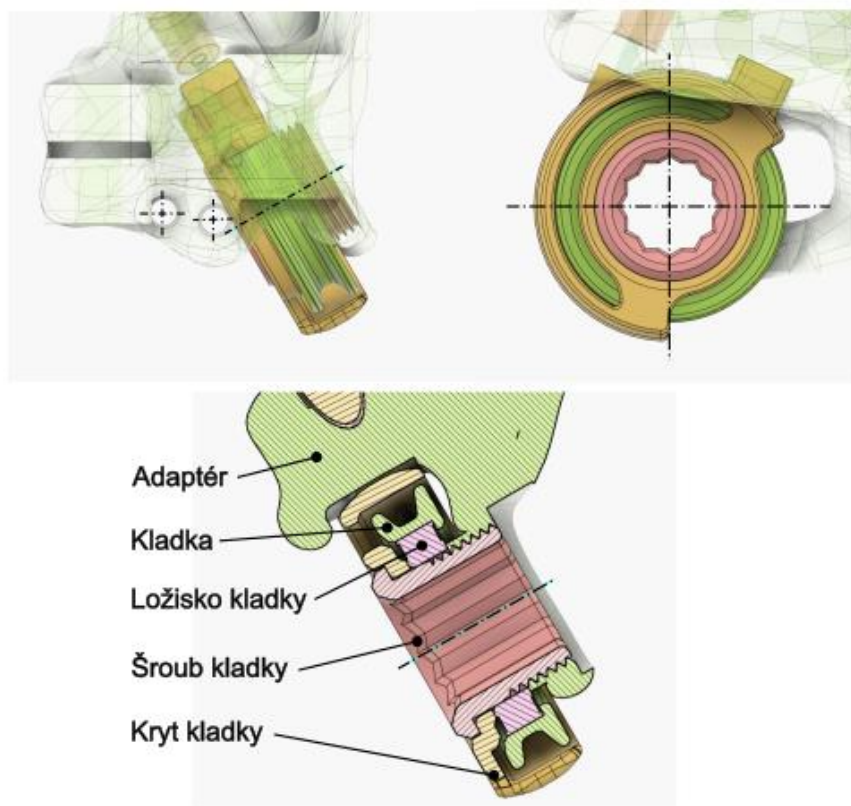
Řešení kladky pro Adaptér 1

Protože je adaptér optimalizovaný na co nejnižší hmotnost a funkčnost a z důvodu vysoké ceny nebylo možné kladku nakoupit, vychází řešení z návrhu kladky upevněné na kuličkovém ložisku.

Kladka je **nalisovaná** na vnějším průměru kuličkového ložiska 61702 2RS s vnitřním průměrem $d = 15$ mm, vnějším průměrem $D = 21$ mm a šířkou $B = 4$ mm. Kladka je navržena pro výrobu pomocí 3D tisku.

Kladka je k adaptéru **přípevněna speciálním šroubem**, který je zašroubován do závitu v těle adaptéru pomocí závitu M15x1. Axiální síla šroubu působí na vnitřní kroužek ložiska a osazení na krytu kladky. Šroub je utahován imbusovým klíčem velikosti 10. Klíč se vkládá do dvanácticípé hvězdice, vzniklé vzájemným pootočením dvou šestihranných otvorů. Toto řešení bylo zvoleno **kvůli úspoře hmotnosti a estetickým důvodům**. Na závitu šroubu je použit zajišťovač šroubů Loctite 243, který zabraňuje samovolnému uvolnění vlivem vibrací a rázů [30]. Díky nízkým utahovacím momentům je šroub navržen pro výrobu pomocí 3D tisku.

Kryt kladky je k adaptéru přípevněn pomocí tvarového spojení a šroubu. Tvarové spojení je realizováno vsunutím čtyřhranného prvku krytu do odpovídajícího otvoru v adaptéru o hloubce 2 mm, čímž vzniká spoj s vůlí.



Obr. 5-15 Konstrukční řešení kladky pro Adaptér 1

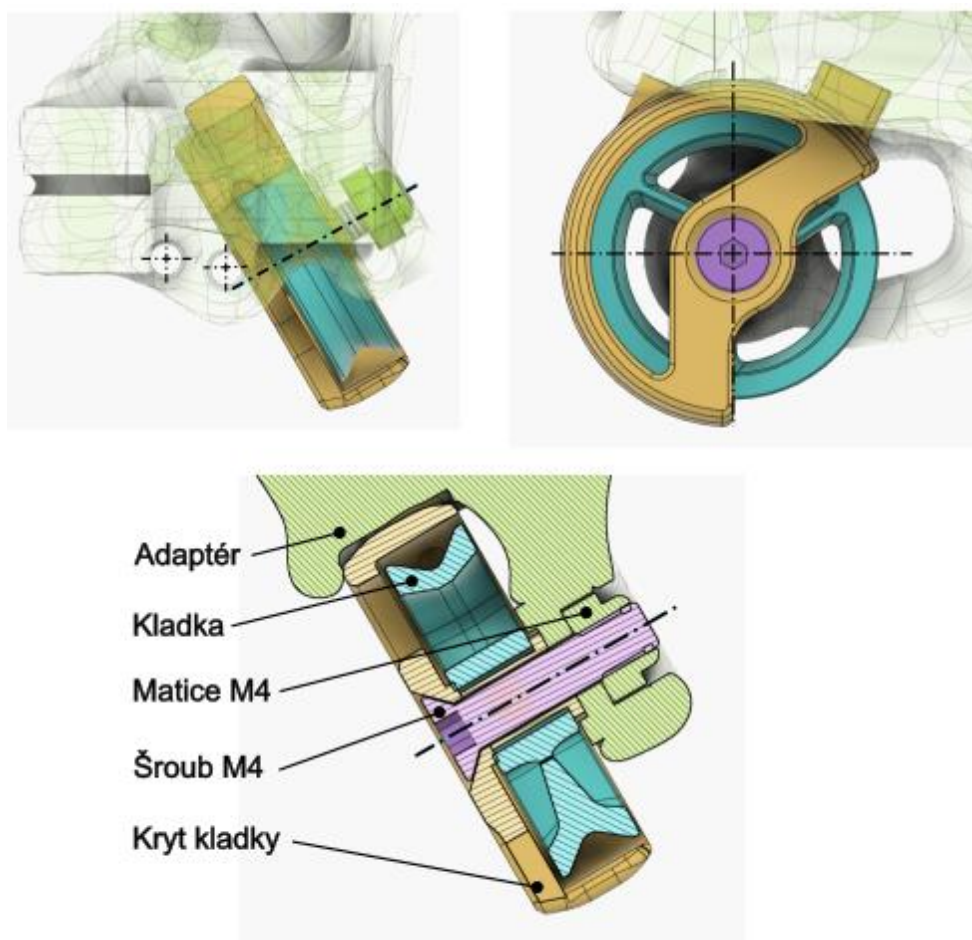
Řešení kladky pro Adaptér 2

Adaptér 2 je navržen pro majitele kompatibilních přehazovaček s cílem jejich úpravy. Návrh vychází z myšlenky využití kladky demontované z nahrazovaného dílu na přehazovačce tímto adaptérem.

V adaptéru je vytvořen šestihřanný otvor, do které je vlepena **pojistná šestihřanná matice M4** s plastovou vložkou.

Samotná **kladka** je uložena na **čepu** s průchozí dírou. Čep je z jedné strany osazen a vložen do díry v adaptéru, druhá strana čepu se opírá o kryt kladky. Osazení čepu tvoří styčnou plochu s kladkou. Dřík čepu je delší, než je šířka kladky, aby byla zajištěno volné otáčení kladky. Čep je vyroben na FDM 3D tiskárně za použití materiálu PLA z **důvodu nízkého součinitele tření**.

Kryt kladky je řešen obdobným způsobem jako u Adaptéru 1 s rozdílem použití standardního šroubu M4 se zápusťnou hlavou. Hlava šroubu se opírá o kryt kladky, dřík šroubu prochází skrz čep kladky a díru v adaptéru, kde je zašroubován do samojistné matice.



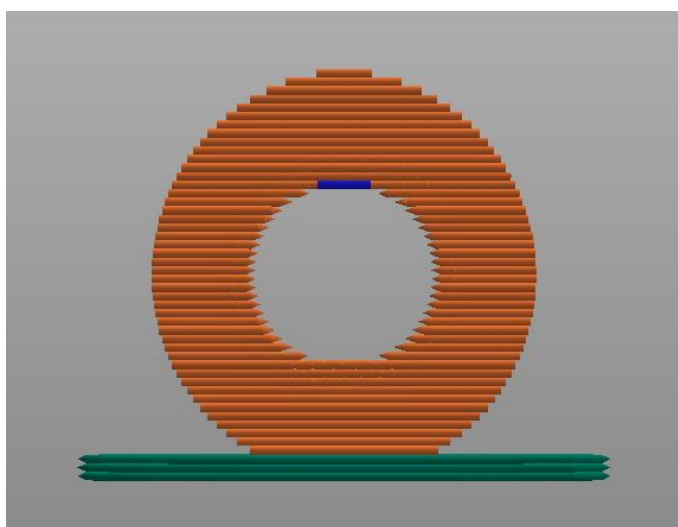
Obr. 5-16 Konstrukční řešení kladky pro Adaptér 2

5.2.3 Konstrukční uzel: Připevnění paralelogramu

Paralelogram je k adaptéru připevněn pomocí dvou čepů s hlavou o průměru 4 mm, které jsou zajištěny pomocí pojistných kroužků. Ramínka paralelogramu přehazovačky mají tvar vidlice, jejíž nohy objímají adaptér zespoďu i shora. Hlava čepu se opírá o horní část ramínka paralelogramu, prochází skrze díry v ramínku i adaptéru a po výstupu z ramínka je zajištěna pojistným kroužkem.

Použití kluzných vložek

Kvůli orientaci tisku, kdy osa děr leží v rovině tiskové vrstvy, by nebylo možné vyrobit dostatečně válcové díry pro zasunutí čepů, zejména když má díra průměr 4 mm viz Obr. 4-15. Možnost vyvrtání takto vytisknutých děr byla zvažována, avšak pro tuto aplikaci není vhodná kvůli riziku poškození výrobku způsobeného selháním lidského faktoru.



Obr. 5-17 Pohled na otvor o průměru 4 mm vytisknutý s výškou vrstvy 0,2 mm

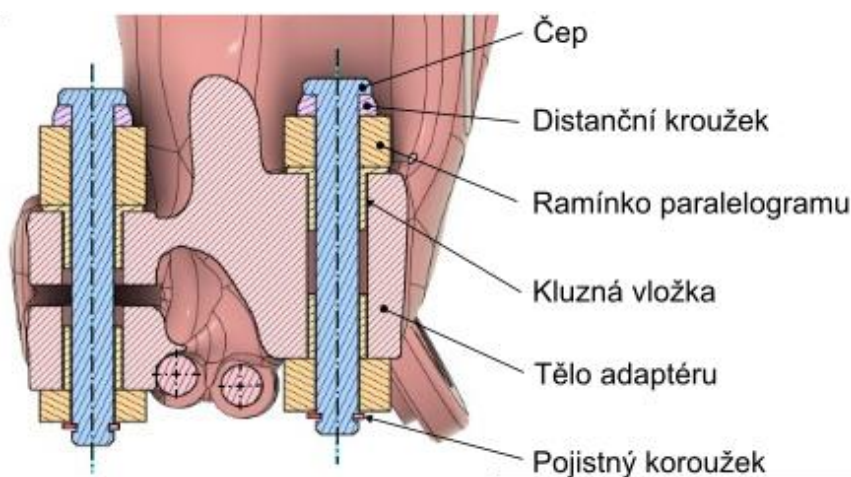
Tento problém byl vyřešen rozšířením děr v adaptéru na průměr 5,7 mm a vytvořením **dodatečných vložek**. Výhody tohoto řešení zahrnují:

- Snížení tlaku, který působí kolmo na jednotlivé tiskové vrstvy a má tendenci odtrhávat je od sebe.
- Možnost použití materiálu s nižším součinitelem tření, přičemž pro tuto aplikaci byl použit materiál PLA.

Nevýhodou tohoto řešení je nutnost tisku více dílů, avšak výhody převažují nad nevýhodami.

Volba čepu

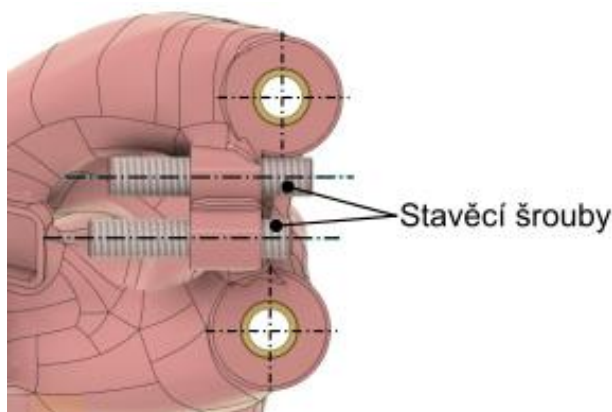
Pro tuto aplikaci byly zvoleny nerezové čepy Hinge pins jmenovitého průměru $d = 4$ mm a jmenovité délky $L = 30$ mm výrobce MISUMI [31]. Délka 30 mm je standartní; pro tuto aplikaci by bylo vhodnější použít čepy délky 28 mm, tato délka ale standartní není, což by výrazně zvýšilo cenu dílu a pro tuto aplikaci to nemá smysl. Vzhledem k použití delších čepů byly použity 2 mm vysoké distanční kroužky, které jsou z prostorových důvodů umístěny pod hlavou čepu. V případě adaptéru 2 je možné použít čepy ze stávající přehazovačky.



Obr. 5-18 Konstrukční řešení připojení paralelogramu přehazovačky

Nastavení dorazu paralelogramu

Pro zachování správné funkčnosti musí adaptér obsahovat nastavitelné dorazy pro ramínka paralelogramu. Tyto dorazy nastavují maximální úhly natočení ramínek paralelogramu, čímž vymezují maximální posuv přehazovačky ve směru osy náboje. Nastavitelné dorazy jsou řešeny pomocí dvou nerezových stavěcích šroubů DIN 913 s plochým koncem M4x20. Tyto šrouby jsou zašroubovány do vyřezaných závitů M4 a jsou zajištěny pomocí zajišťovače šroubů Loctite 243. Závitů jsou řezány ručním závitníkem do předtisknutých děr o průměru 3,2 mm.



Obr. 5-19 Konstrukční řešení dorazů paralelogramu

5.3 Návrh materiálu a technologie výroby

5.3.1 Adaptér 1 optimalizovaný pro nízkou hmotnost

Adaptér bude vyráběn na SLS tiskárně. Dle [32] dosahují výrobky vyrobené technologií SLS mnohem více izotropních mechanických vlastností než výrobky vyrobené technologií FDM. Protože jsou výtisky SLS plně vyplněné materiálem (nepoužívají výplňové vzory) je chování těchto výrobků při zatěžování předvídatelnější. Tato vlastnost byla mimo jiné důvodem volby této technologie, protože je nutná pro analýzu generativního designu.

Materiály použité pro SLS jsou dle [32] schopny dosahovat výsledků s vyšší rázovou houževnatostí než většina materiálů používaných pro FDM. Vysoká rázová houževnatost je důležitou vlastností pro aplikaci na horském kole. Další výhodou této technologie je schopnost tisknout bez nutnosti podpor, což je u součástí tvořených pomocí generativního designu velmi výhodné z důvodu tvarové složitosti.

Součást bude vyráběna z materiálu PA12 Industrial výrobce Sinerit a bude vyráběna na tiskárně Lisa X. Jedná se o vysoce odolný Nylon 12

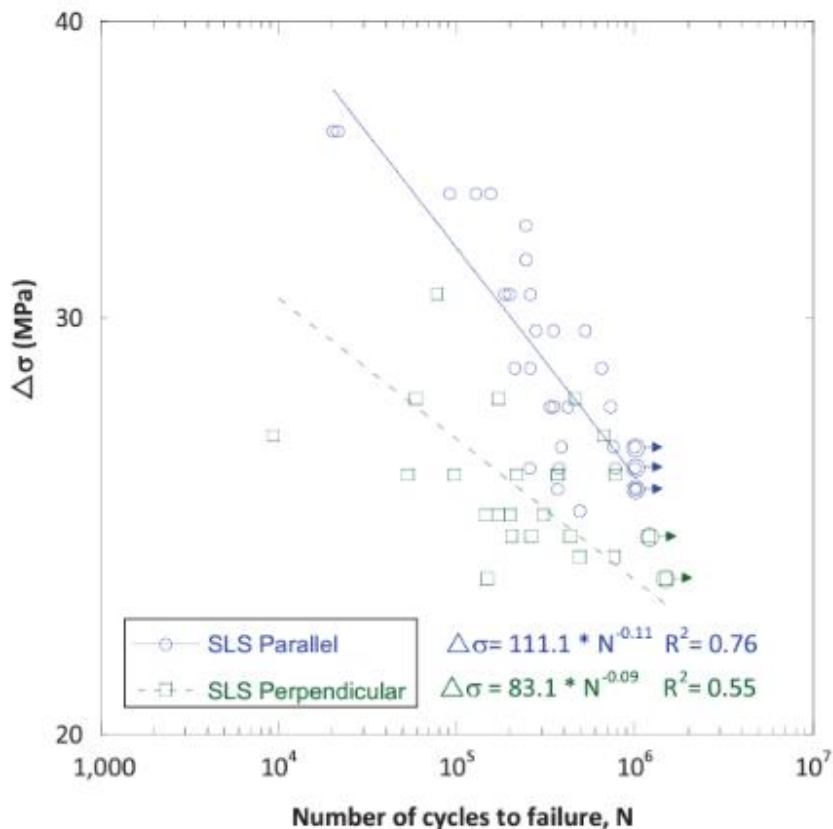
Tab. 1 Vybrané materiálové charakteristiky PA12 Industrial výrobce Sinerit [33]

Mechanická vlastnost	Hodnota	Testovací metoda
Mez pevnosti v tahu (X směr)	47.61 MPa	PN-EN ISO 527-1:2012
Mez pevnosti v tahu (Y směr)	48.66 MPa	PN-EN ISO 527-1:2012
Modul pružnosti v tahu (X směr)	2001 MPa	PN-EN ISO 527-1:2012
Modul pružnosti v tahu (Y směr)	1983 MPa	PN-EN ISO 527-1:2012
Mez pevnosti v ohybu (X směr)	62.31 MPa	PN-EN ISO 178:2019
Mez pevnosti v ohybu (Y směr)	57.55 MPa	PN-EN ISO 178:2019
Modul pružnosti v ohybu (X směr)	1791 MPa	PN-EN ISO 178:2019
Modul pružnosti v ohybu (Y směr)	1768 MPa	PN-EN ISO 178:2019
Rázová houževnatost (X směr)	15.23 kJ/m ²	PN-EN ISO 179-1:2010 (nevrubová)
Rázová houževnatost (Y směr)	22.92 kJ/m ²	PN-EN ISO 179-1:2010 (nevrubová)

Charakteristiky obsahují výsledky měření při zatěžování ve směru osy Y – rovnoběžně s tiskovými vrstvami a ve směru osy X – zatížení kolmo na vrstvy.

Vliv únavy materiálu

Dle Obr. 5-20 je zřejmé, že amplituda napětí, při které nedochází k únavovému porušení při 10^6 cyklů se pohybuje okolo 23 MPa pro zatížení kolmé na tiskové vrstvy součásti. U součástí zatěžovaných rovnoběžně s vrstvami součásti je to okolo 26 MPa. Zvolíme tedy mez únavy $\sigma_{Co} = 23 \text{ MPa}$. Součást bude navržena tak, aby nebylo dosaženo σ_{Co} .



Obr. 5-20 S-N diagram pro Nylon PA 12 (vzorky vyrobeny technologií SLS) [34]

5.3.2 Adaptér 2 optimalizovaný pro 3D tisk na FDM tiskárně

Při výběru materiálů pro adaptér optimalizovaný pro tisk na FDM 3D tiskárně byly zváženy tři materiály: PETG, ASA a CPE HG100. Tyto materiály byly vybrány zejména pro jejich dobré mechanické vlastnosti v porovnání s alternativami. Dalším důležitým faktorem je UV stabilita snadná tisknutelnost, což je důležitým parametrem pro tisk na FDM 3D tiskárnách určených pro hobby použití. Z důvodu náročné tisknutelnosti nepřipadal v úvahu například Polykarbonát (PC).

O finálním výběru materiálu pro adaptér bude rozhodnuto na základě výsledků zkoušek.

PETG

PETG (polyethylene terephthalate glycol) je materiál oblíbený díky svým dobrým mechanickým vlastnostem při zachování vlastností jednoduchosti tisku [35]. Vzhledem k jeho univerzálním vlastnostem a snadnému zpracování je PETG široce používán pro 3D tisk. Pro tisk bude použito materiálu výrobce Fillamentum.

Tab. 2 Základní mechanické vlastnosti materiálu PETG výrobce Fillamentum [36]

Vlastnost	Hodnota	Testovací metoda
Mez pevnosti v tahu	50 MPa	ASTM D638
Mez pevnosti v ohybu	71 MPa	ASTM D790
Modul pružnosti v ohybu	2150 MPa	ISO 178

ASA

ASA (acrylonitrile styrene acrylate) je filament, který je ideální pro výrobu prvních vzorků před sériovou výrobou, funkční prototypování a nástroje pro výrobu. Tento materiál je vysoce odolný vůči povětrnostním vlivům, má vysokou retenci fyzikálních vlastností a nízkou úroveň žloutnutí a výbornou rozměrovou stabilitu [37]. Pro tisk bude použito materiálu výrobce Fillamentum.

Tab. 3 Základní mechanické vlastnosti materiálu ASA Extrafill výrobce Fillamentum [38]

Vlastnost	Hodnota	Testovací metoda
Mez pevnosti v tahu	51,4 MPa	ASTM D638
Mez pevnosti v ohybu	62 MPa	ASTM D790
Modul pružnosti v ohybu	1970 MPa	ASTM D638

CPE HG100

CPE HG100 (co-polyester) je materiál, který vyniká svou pevností, houževnatostí a odolností vůči chemikáliím [39]. Pro tisk bude použito materiálu výrobce Fillamentum.

Tab. 4 Základní mechanické vlastnosti materiálu CPE HG100 výrobce Fillamentum [40]

Vlastnost	Hodnota	Testovací metoda
Mez pevnosti v tahu	47 MPa	ASTM D638
Mez pevnosti v ohybu	71 MPa	ASTM D790
Modul pružnosti v ohybu	1860 MPa	ASTM D790

5.4 Generativní design

Pro dosažení, co nevyšší tuhosti v poměru ku hmotnosti je zásadní, aby byl materiál součástí pouze na místech, kde je potřeba. Z tohoto důvodu bylo využito generativního designu. Návrh celé součásti proběhl v prostředí softwaru Fusion 360, a doplňku Design Extension, který umožňuje výše zmíněné modelování pomocí generativního designu.

Pracovní postup modelování pomocí generativního designu se zásadně liší od konvenčního modelování ve 3D softwaru. Namísto modelování součásti softwaru dáváte pouze omezení kde je a kde není možné generovat materiál. Vstupy pro zachování a omezení jsou ve formě objemových těles. Po dokončení generování je možné výstupy dále editovat.

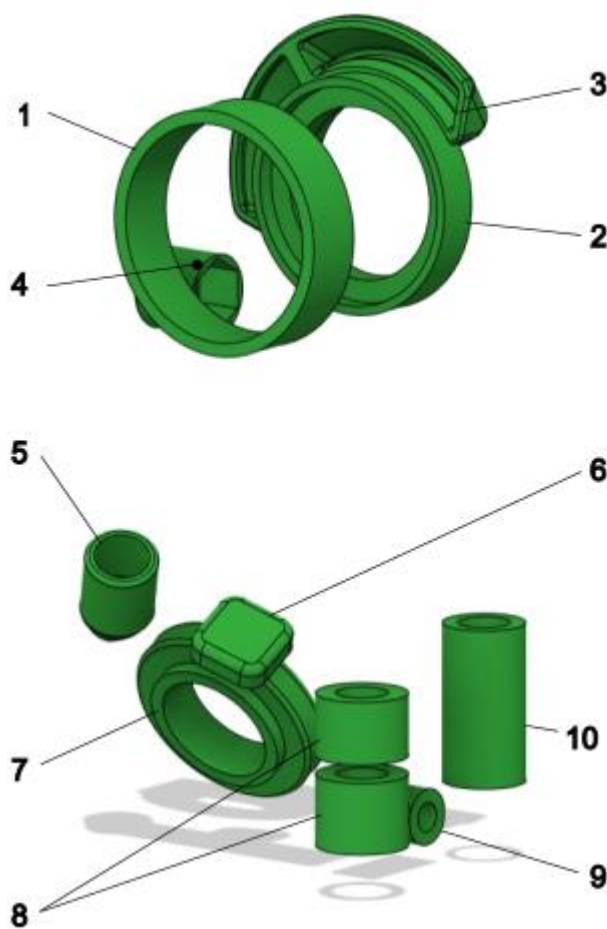
Vstupní hodnoty pro generativní design jsou

- Geometrie k zachování – objekty, které se software pokouší propojit optimálním množstvím materiálu
- Geometrie překážky – prostor, ve kterém software negeneruje materiál, může jít například o spolu zabírající součást
- Základní tvar – ze kterého software vychází a generuje jemu vzhledově podobné výsledky

5.4.1 Geometrie k zachování

Jedná se o objemová tělesa, která jsou nezbytná pro funkčnost součásti, například upínací body, opěrné plochy atp. V případě této práce se jedná o veškeré dříve zmiňované konstrukční uzly.

- 1 Upnutí k rámu (na vnější straně rámu) – Mezikruží s přesným rozměrem otvoru
- 2 Upnutí k rámu (na vnitřní straně rámu) – Mezikruží s přesným rozměrem otvoru a osazením
- 3 Chránič proti padání řetězu
- 4 Místo pro matici opěrného šroubu šestihranem a průchozí dírou pro šroub
- 5 Uchycení bowdenu
- 6 Uchycení krytu kladky
- 7 Díra pro závit pro šroub
- 8 Uchycení čepu vnějšího ramínka paralelogramu
- 9 Díry pro dorazové šrouby
- 10 Uchycení čepu vnitřního ramínka paralelogramu

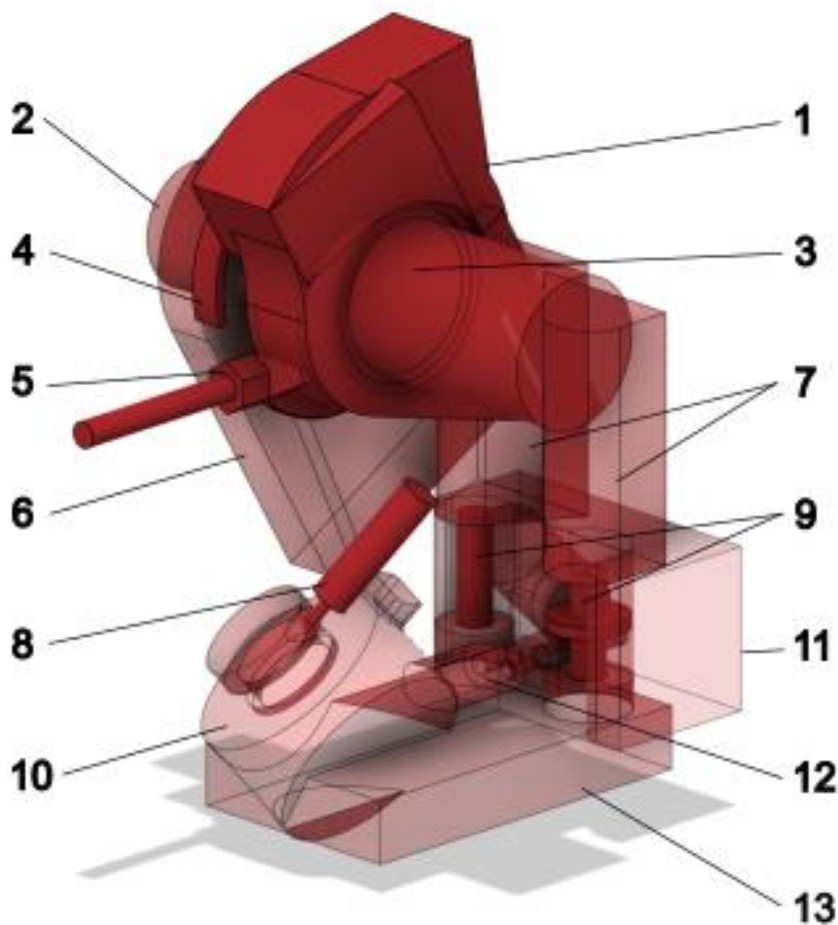


Obr. 5-21 Geometrie k zachování pro generativní design

5.4.2 Geometrie překážky

V tomto bodě je nutné vytvořit geometrii, kde bude softwaru zakázáno generovat materiál. Tímto nastavujeme prostorová omezení. Je možné vložit například i spoluzabírající součást.

1. Prostor pro rám – definováno dle [20]
2. Prostor pro osu a náboj zadního kola
3. Prostor pro upínací šroub
4. Prostor pro zachování vnějšího tvaru chrániče řetězu
5. Prostor pro stavěcí šroub náklonu a matici
6. Prostor vymezující tiskovou plochu
7. Prostor pro horní část ramínek paralelogramu
8. Prostor pro bowden a lanko
9. Prostor pro čepy
10. Prostor pro kladku a její kryt
11. Prostor definující ramínka paralelogramu a zbytek přehazovačky
12. Prostor pro dorazové šrouby
13. Prostor páku k ovládání ramínek paralelogramu a upnutí lanka



Obr. 5-22 Geometrie překážky pro generativní design

5.4.3 Návrh výchozího tvaru

Výchozí tvar je nepovinný parametr pro úspěšnou simulaci generativního designu. Výchozí tvar je vhodný například pro lepší zakomponování generované součásti do celku, aby součást nepůsobila esteticky nevhodně. Cílem návrhu výchozího tvaru bylo pávě sjednocení designu adaptéru a zbytku přehazovačky.

Během návrhu designu byly brány v potaz předchozí iterace návrhu, cílem bylo vyztužení kritických míst, které byly odhaleny testováním prototypů viz kapitola 0. V potaz byly také brány předchozí iterace generativního designu.

Výchozí tvar byl vytvořen pomocí funkce Automated Modeling, objekty organických tvarů spojením předdefinované geometrie. Vytvořený objekt je tvořen sítí bodů, kterou je možné editovat funkcí Freeform modeling.

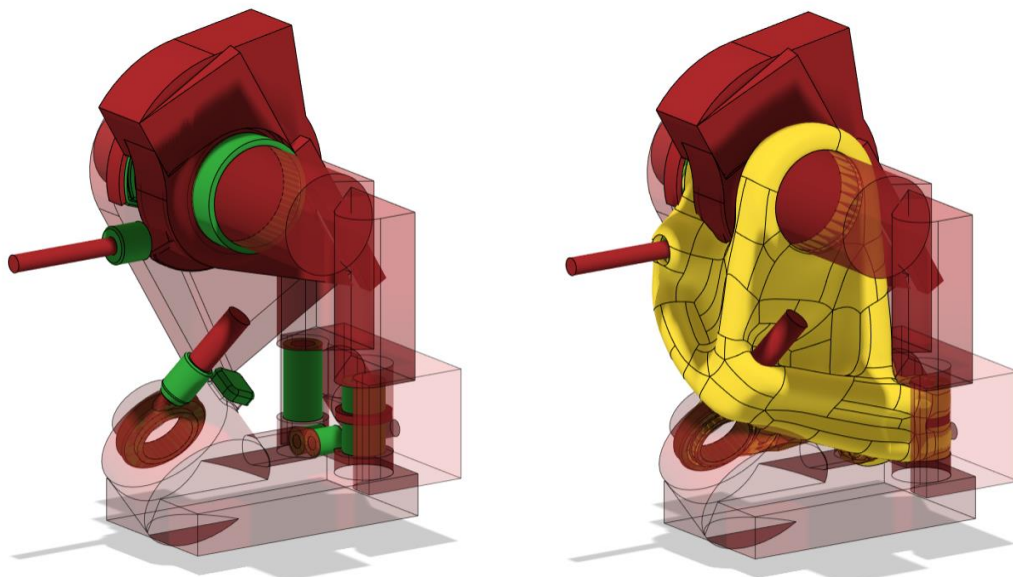
Model vychází z geometrie zachování viz kapitola 5.4.1. Výchozí geometrie je na Obr. 5-23 znázorněna červenou barvou. Následně byly přidány objekty, které napomáhají funkci Automated Modeling vygenerovat vhodné výstupy, tyto objekty jsou na Obr. 5-23 znázorněny žlutě. Výstupní tvar z funkce Automated modeling je na Obr. 5-23 znázorněn tyrkysovou barvou. Finální objekt je na Obr. 5-23 znázorněn zeleně.



Obr. 5-23 Proces návrhu výchozího tvaru generativního designu

5.4.4 Analýza generativního designu

Po vytvoření veškeré potřebné vstupní geometrie byla provedena samotná analýza a generování optimalizované součásti. Do prostředí Generative Design softwaru Fusion 360 byla vytvořená geometrie vložena.



Obr. 5-24 Vstupní geometrie pro generativní design (vpravo vyobrazení s výchozím tělesem)

Nastavení materiálových charakteristik analýzy

Pro adaptér 1 byly materiálové charakteristiky nastaveny upravením Materiálu PA 12 Nylon (with Formabs Fuse 1), který je součástí knihovny aditivních materiálů Fusion. Materiál byl upraven o mechanické vlastnosti z technického listu výrobce Sinerit [33].

Pro adaptér 2 v době práce s touto analýzou ještě nebyl zvolen konkrétní materiál. O volbě materiálu bylo rozhodnuto po provedení statické zkoušky. Byl knihovny materiálu zvolen materiál Plastic, který měl lehce horší mechanické vlastnosti jako materiály zmiňované v kapitole 5.3.2 .

Silové zatížení působící na přípevněnou část přehazovačky

Silové zatížení vychází z kapitoly 5.1, kdy jsou uvedeny potřebné úvahy a výpočty k jejich určení. Silové zatížení působící na zbytek přehazovačky, který bude k adaptéru připevněn pomocí čepů bylo modelováno pomocí příkazů Remote Force a Remote Moment. „Tato funkce umožňuje přidat zatížení z bodu v prostoru, který se nenachází na generovaném modelu.“ [41] .

Tímto způsobem bylo simulováno silové zatížení na otvory, ve kterých budou umístěny čepy připojující ramínka paralelogramu. Působíště momentu od zkrutné pružiny bylo v prostoru voleno v místě, rotační vazby spojení ramínka přehazovačky se součástí P-knuckle (viz Obr. 2-2). Silové zatížení od setrvačných sil bylo uvažováno v těžišti připevněné části přehazovačky. Silové zatížení **působení ve směru osy náboje** bylo modelováno v nejvzdálenějším bodě rámu kola jak bylo popsáno v 5.1.4. **Toto zatížení je oproti ostatním dominantní**, výsledkem bude adaptér s vysokou tuhostí ve směru osy náboje, která pomáhá k přesnějšímu řazení. Pro pevnější a odolnější spojení byla přidána síla působící v ose otvoru pro montáž kladky o velikosti 40 N.

Nastavení cílů a limitů pro adaptér optimalizovaný pro nízkou hmotnost

Na volbu jsou možnosti minimalizace hmotnosti nebo maximalizace tuhosti. Byla zvolena možnost druhá, protože vychází z cíle práce. Následně byly stanoveny 2 hranice hmotností, pro které byly zvoleny součinitele bezpečnosti.

- 45 g (celková hmotnost adaptéru je odpovídající hmotnosti ekvivalencích dílů nejvyšší řady přehazovačky Sram XX1 Eagle.) Součinitel bezpečnosti 3,2 vůči MSP (mezní stav pružnosti)
- 60 g celková hmotnost adaptéru je odpovídající hmotnosti ekvivalencích dílů střední řady přehazovačky Sram GX Eagle.) Součinitel bezpečnosti 5 vůči MSP

Tyto dvě verze byly vyrobeny a následně zkoušeny, zda vyhoví požadavkům tuhosti.

Nastavení analýzy pro adaptér optimalizovaný pro výrobu na FDM tiskárně

V případě tohoto adaptéru byla zvolena možnost **minimalizace hmotnosti**, dále byla zvolena **bezpečnost 3 vůči MSP (mezní stav pružnosti)** nastaveného materiálu, který má horší mechanické vlastnosti než materiály, ze kterých se bude součást vyrábět. Tato možnost byla zvolena z důvodu návrhu pouze jednoho modelu, který bude následně vyroben z materiálů viz 5.3.2. Výtisky budou následně testovány a porovnány. **Orientační bezpečnosti** jednotlivých materiálu vůči MSP tyto hodnoty nepočítají s Anizotropií a nehomogenitou materiálů.

Tab. 5 Bezpečnost vůči MSP generativního designu FDM materiálů

materiál	Mez pevnosti v tahu [MPa]	Orientační bezpečnost vůči MSP
PETG	50	3,75
CPE HG100	47,5	3,56
ASA	51,4	3,855

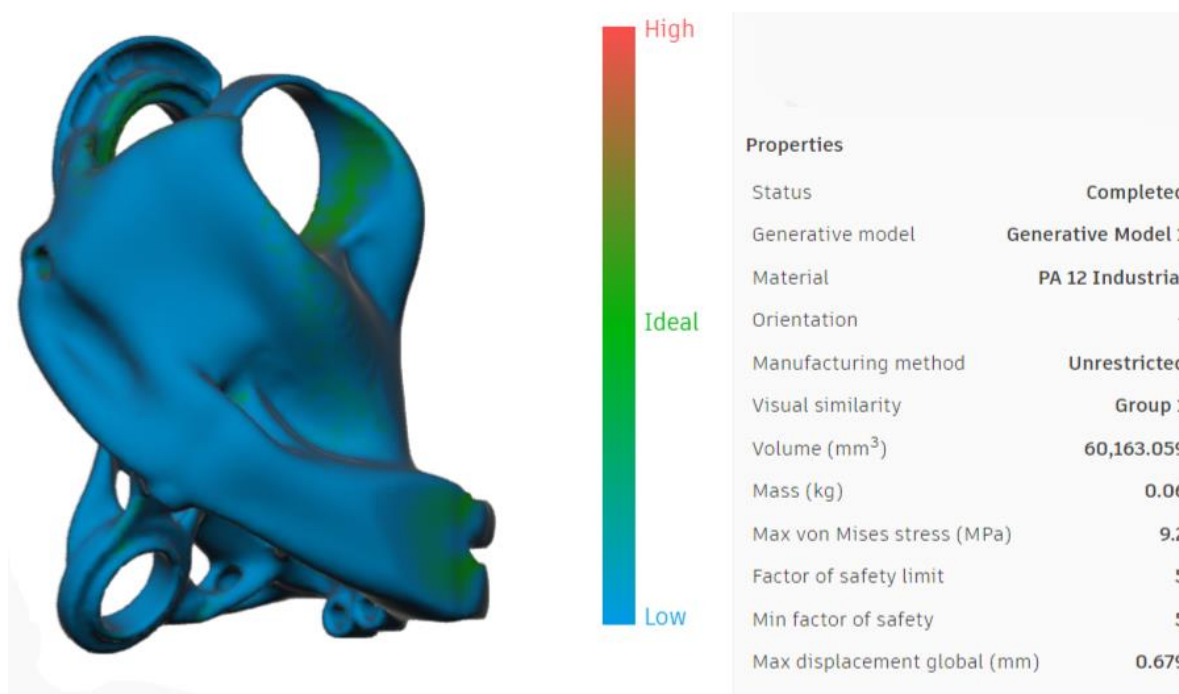
Pro analýzu modelu optimalizovaného pro **FDM byla** zvolena možnost „**Aditivní**“ která umožňuje nastavení **maximálního úhlu převisu vůči tiskové rovině** a minimální tloušťku součásti. Úhel převisu byl nastaven 50° a minimální tloušťka 8 mm.

Výsledky analýzy

Program následně vygeneroval výsledky, ze kterých byly po kontrole vytvořeny editovatelné soubory. Součástí každé analýzy jsou i vlastnosti vygenerovaného modelu, jako například maximální redukované napětí při zatížení, ze kterého analýza vychází. Pro modely vyrobené pomocí SLS tisku jsme tedy schopni určit orientační bezpečnost vůči meznímu stavu únavy (MSÚ).

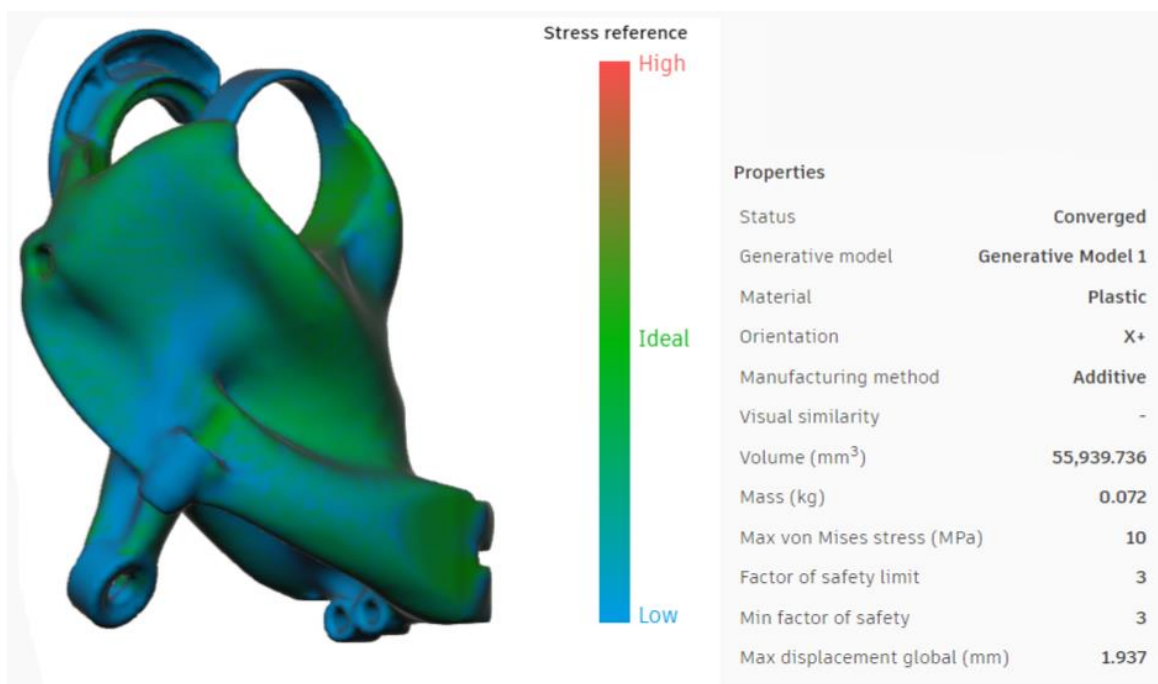
Model	Maximální redukované napětí [MPa]	Orientační bezpečnost vůči MSÚ
SLS 45g	11,548	1,992
SLS 60g	9,2	2,5
FDM	10	-

Tab. 6 Orientační bezpečnost vůči únavě



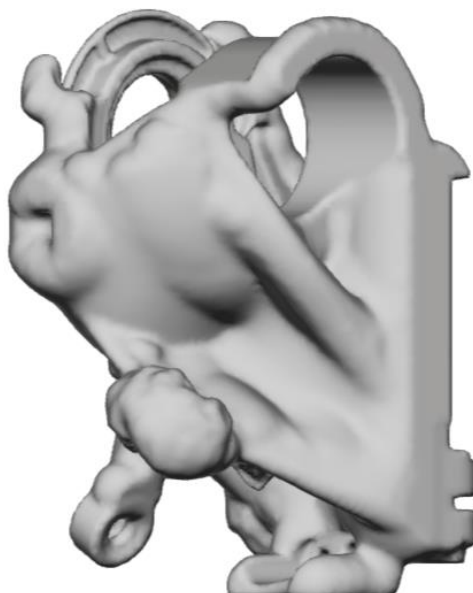
Obr. 5-25 Generovaný model adaptéru optimalizovaného pro minimální hmotnost

Výstupem analýzy adaptéru optimalizovaného pro minimální hmotnost bylo 13 iterací. Pro finální model byla použita poslední.



Obr. 5-26 Generovaný model adaptéru optimalizovaného pro FDM tisk

Výstupem analýzy adaptéru optimalizovaného FDM tisk bylo 31 iterací. Byla použita iterace číslo 15. Výstupní modely následujících iterací nebyly vhodné z estetických důvodů viz Obr. 5-27.



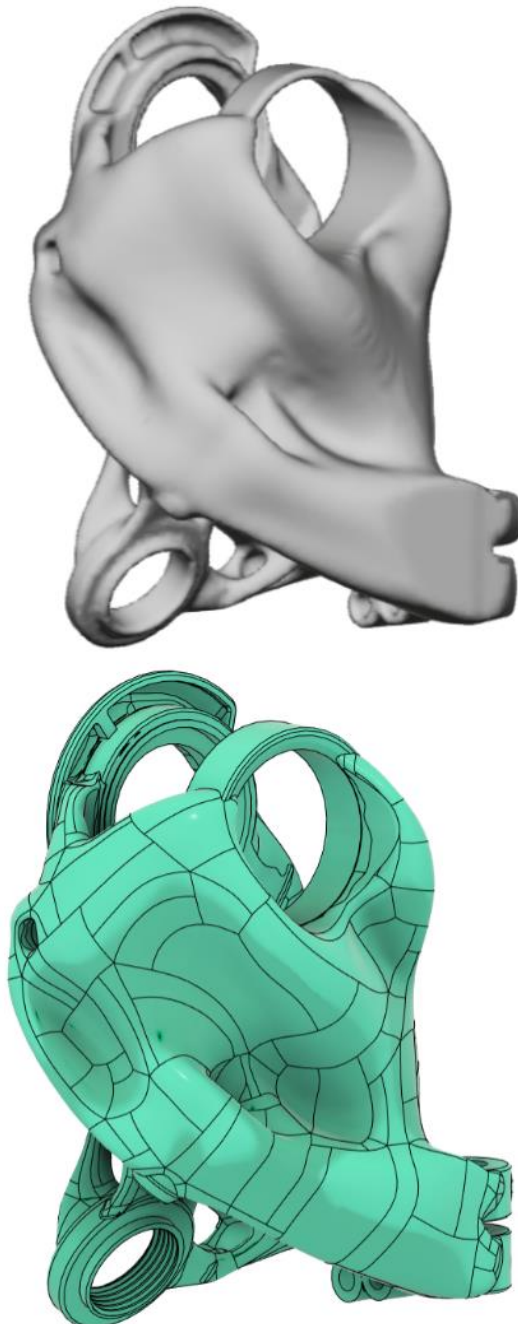
Obr. 5-27 Iterace 31 analýzy adaptéru optimalizovaného pro FDM tisk

Úprava výstupních modelů z analýzy

Výsledné modely byly následně upraveny do finální podoby určené pro tisk.

Úpravy se týkaly

- Vytvoření závitů sloužícího k připevnění kladky
- Vyztužení okolo upínacího otvoru
- Úprava a zahlazení tvaru modelu
- Doplnění části modelu směřující k náboji kola o prvky umožňující snazší montáž zadního kola



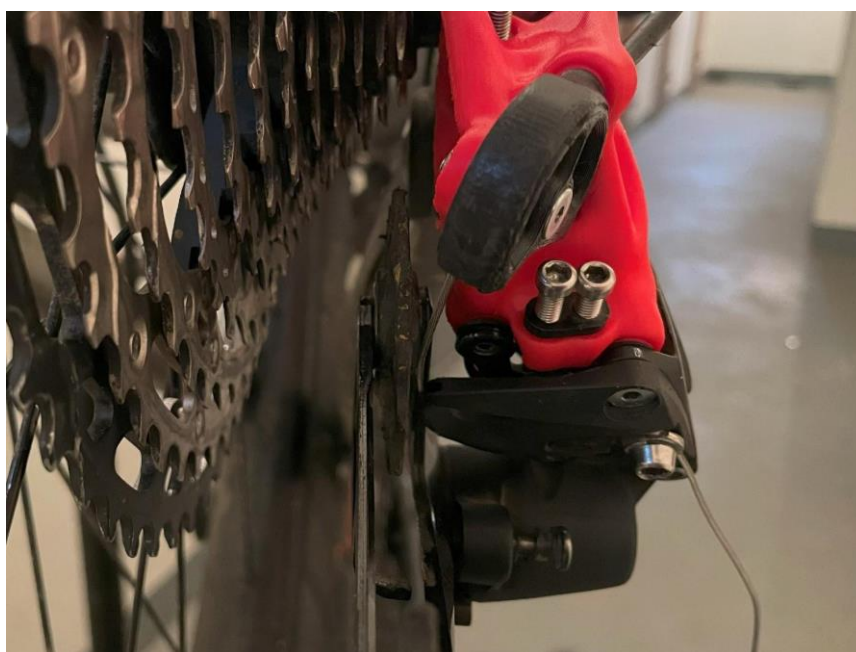
Obr. 5-28 Model adaptéru pro tisk na SLS před a po úpravě po vygenerování

5.5 Prototypování

Během iteračního procesu návrhu adaptéru bylo vytvářeno několik prototypů, které byly následně testovány. Prototypy měly za úkol ověřit funkčnost provedených změn týkajících se optimalizace geometrie, mechanických vlastností nebo ověření funkčnosti spojů jednotlivých součástí. Prototypy byly vyráběny pomocí 3D tisku.

5.5.1 Optimalizace geometrie

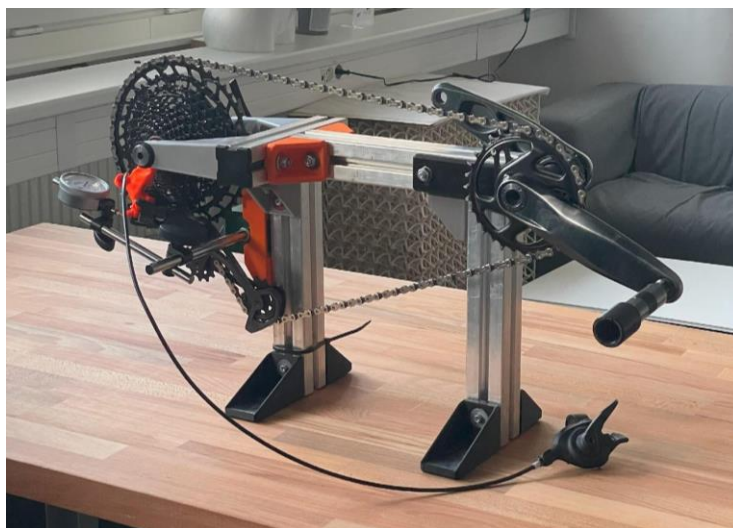
Pro optimální funkci přehazovačky je klíčová správná geometrie. Přehazovačka musí být schopna pohybu ve směru osy náboje tak, aby pokryla veškeré rychlostní stupně a zároveň měla dostatečný přesah na obou stranách kazety. Tento přesah je nezbytný pro kompenzaci rozdílů ve šířce a poloze kazety, které se mohou mezi výrobci lišit. Adaptér musí být navržen tak, aby se jednotlivé části přehazovačky vzájemně nekolidovaly, což je další důležitý faktor zajišťující funkčnost celého systému. Příklad nevhodné geometrie viz. Obr. 5-29 Kde je patrná kolize napínacího lanka a ramínka přehazovačky



Obr. 5-29 Nevhodná geometrie omezující funkčnost

Návrh zařízení na ověření funkčnosti

Pro usnadnění montáže a zefektivnění testování geometrie byl zhotoven model části zadní stavby rámu horského kola. Tento model je vyroben z extrudovaných hliníkových profilů, 3D tištěných součástí a funkčních komponent z jízdního kola. Model byl sestaven tak, aby přesně odpovídal standardu pro montáž UDH patky [8]. Výroba tohoto modelu umožnila přehlednější pozorování chování prototypů během provozu a snazší měření.



Obr. 5-30 Zařízení na ověření funkčnosti přehazovačky

5.5.2 Testování prototypů na horském kole

Během návrhu bylo vyrobeno několik prototypů určených pro testování přímo na horském kole. Některé prototypy byly navrhovány s nižším množstvím výplně za účelem oslabení prototypu a podpoření vzniku poškození pro nalezení kritických míst. Poškozená místa byla následně analyzována a vyztužena.



Obr. 5-31 Zničené prototypy

5.6 Testování finálních dílů

5.6.1 Testování tuhosti adaptéru

Pro správnou funkčnost přehazovačky je nutné navedení řetězu do správné polohy ve směru osy náboje a tuto polohu během provozu spolehlivě zachovat. Aby nedošlo během provozu k vychýlení z pozice, je nutná dostatečná tuhost spojení mezi rámem a přehazovačkou, respektive dostatečná tuhost navrhovaného adaptéru. Pro zjištění, zda má adaptér dostatečnou tuhost, bylo nutné provést měření.

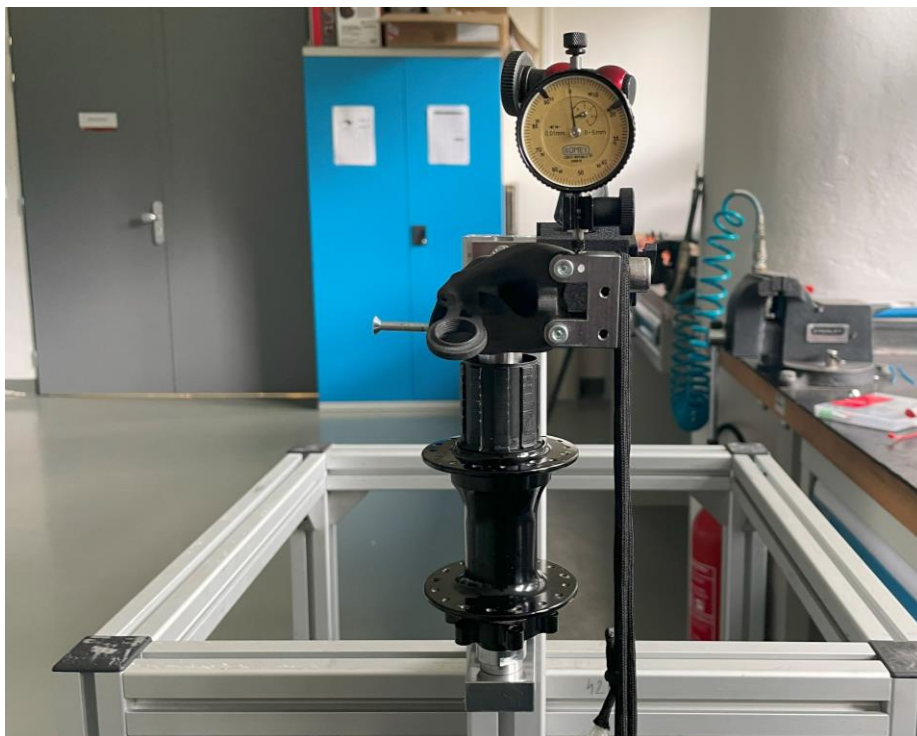
5.6.2 Konstrukce testovacího zařízení

Základní konstrukce testovacího byla tvořena z extrudovaných profilů z hliníkové slitiny. Z důvodu co nejuvěrohodnějších výsledků odpovídajícím skutečné tuhosti bylo nutné, aby byl adaptér upnutý stejným způsobem jako je upnutý k rámu kola. K základní konstrukci tedy byly připevněny upínací body simulující zadní stavbu rámu kola. Adaptér byl k testovacímu zařízení připevněn společně s nábojem zadního kola pomocí osy, stejně jako je tomu při montáži k rámu jízdního kola. Aby nedošlo ke zkreslení výsledků díky nedostatečně tuhému upnutí testovaného adaptéru k testovacímu zařízení, byly díly simulující vidlici zadní stavby rámu kola tvořeny ocelovými obrobky viz Obr. 5-32 Součásti testovacího zařízení Obr. 5-32 vlevo. Modelová zadní stavba byla zkonstruována tak, aby vyhovovala standartu UDH [20]. K modelové zadní stavbě byl upnut testovaný adaptér, nebo UDH patka. K adaptéru, nebo patce byl následně připevněn díl simulující ramínka paralelogramu viz Obr. 5-32 vpravo.



Obr. 5-32 Součásti testovacího zařízení

Na dílu simulující ramínka paralelogramu byl zavěšen provaz s nádobou, do které byly postupně vkládány závaží od 1 do 15 kg. Během zatěžování byl měřen posuv bodu na horní ploše součásti simulující ramínka paralelogramu pomocí úchylkoměru. Měřený bod byl na součásti naznačený pomocí rýsovací jehly, poloha měřeného bodu byla pro všechna testování v rámci tolerance ± 1 mm pro všechna měření.



Obr. 5-33 Zařízení na testování tuhosti adaptéru

5.6.3 Průběh měření

Cílem měření bylo nalezení vhodného materiálu pro výrobu adaptéru technologií FDM a nalezení vhodného modelu pro výrobu adaptéru technologií SLS.

Pro každý adaptér bylo provedeno 15 měření s narůstajícím zatížením F [N] a byla zaznamenána hodnota posuvu z [mm]. Následně byla pro každé měření byla vypočtena tuhost adaptéru ve směru působení síly.

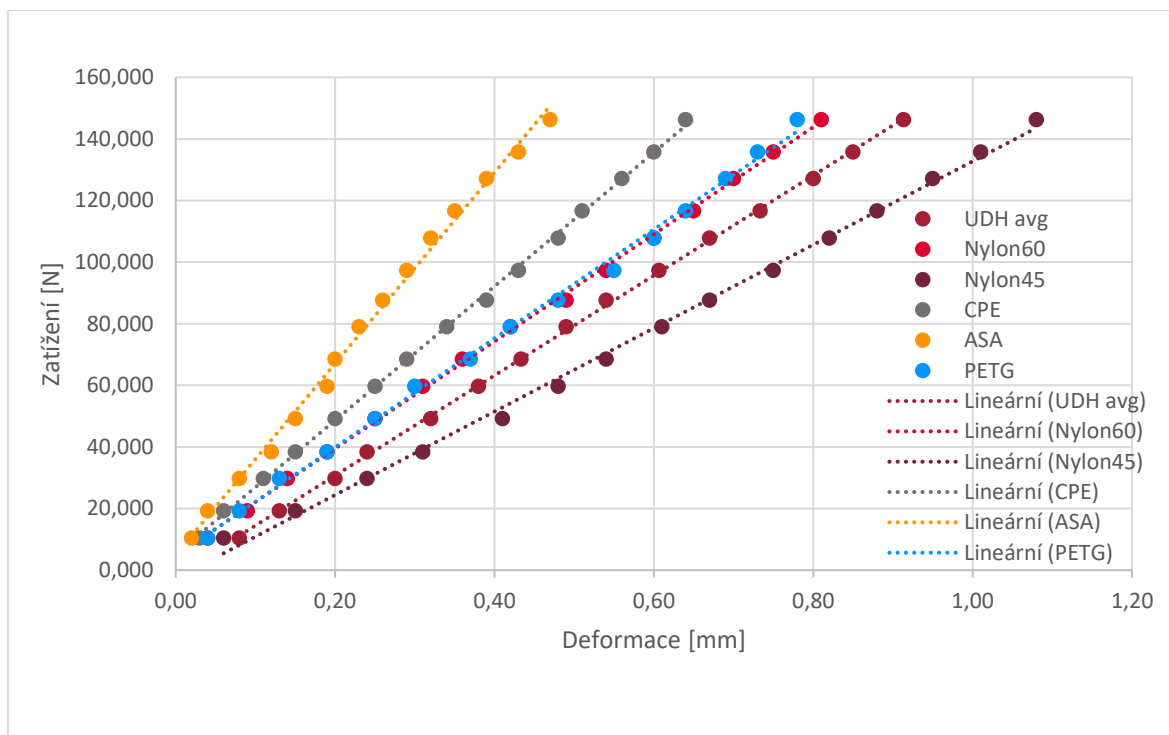
$$K = \frac{F}{z} [N/mm]$$

Z vypočtených tuhostí každého měření byla vypočtena průměrná hodnota K_{avg} , která sloužila pro srovnání jednotlivých adaptérů.

U UDH patky byl proveden test 15 měření třikrát pro stanovení průměrné odchylky

$\Delta d = 2,5$ % pomocí funkce „PRŮMODCHYLKA“ v softwaru MS Excel.

Naměřené hodnoty jsou součástí Přílohy 1.



Obr. 5-34 Závislost zatížení na deformaci testovaných adaptérů

Tab. 7 Výsledné hodnoty měření statického zatížení

Označení	Popis	Průměrná tuhost K_{avg} [N/mm]	Tuhost oproti UDH patce
UDH	UDH patka spojená s B-knuckle	156,043	-
Nylon60	Adaptér vyrobený technologií SLS s hmotností 60g	194,76	+24,81 %
Nylon45	Adaptér vyrobený technologií SLS s hmotností 45g	131,94	-15,45 %
CPE	Adaptér vyrobený technologií FDM z materiálu Fillamentum CPE	249,25	+59,72 %
ASA	Adaptér vyrobený technologií FDM z materiálu Fillamentum ASA	354,96	+127,47 %
PETG	Adaptér vyrobený technologií FDM z materiálu Fillamentum PETG	198,90	+27,47 %

5.6.4 Zhodnocení měření

Z předchozí kapitoly vyplývá, veškeré adaptéry vyrobené technologií FDM vykazaly vyšší tuhost oproti UDH patce. Za zmínku stojí adaptér vyrobený z materiálu ASA výrobce Fillamentum, který měl oproti UDH patce nárůst tuhosti o 127,5 %.

Adaptér Vyráběný technologií SLS navržený s hmotností 60 g dosáhl o 24,8 % vyšší tuhosti oproti UDH patce. Oproti tomu adaptér s hmotností 45 g dosáhl o 15,4 % nižší tuhosti, proto je pro tuto aplikaci nevhodný. Hodnoty měření jsou součástí Přílohy 1.

5.6.5 Ověření funkčnosti a odolnosti vůči působení setrvačných sil při dopadu

Pro správnou funkčnost adaptéru je nutné, aby odolal silovému působení dynamických sil během jízdy v terénu. Z tohoto důvodu byl realizován experiment, který vychází z dynamické simulace z diplomové práce Ing. Martina Jelínka [23].

Cyklista o hmotnosti 85kg dopadne při jízdě na celoodpruženém kole z výšky 1 m při jízdě rychlostí 30 km/h. Během testu je adaptér přimontovaný na kole ve funkčním stavu. Výsledkem tohoto experimentu bylo zhodnocení zda je adaptér plně funkční a vydrží náraz při dopadu.

Testovány byl adaptér vyrobený technologií SLS o hmotnosti 65 g, dále byly testovány adaptéry vyráběné technologií FDM z materiálu ASA a PETG. Veškeré adaptéry test úspěšně obstály.

6 DISKUZE

Cílem práce byly vytvoření adaptéru, který umožní připojení mechanicky ovládaných přehazovaček přímo k rámu jízdního kola a bude vyráběn pomocí 3D tisku. Toto řešení upevnění přehazovačky přináší výhody v podobě vyšší tuhosti spojení přehazovačky a rámu jízdního kola, což přispívá ke zlepšení kvality a přesnosti řazení. V práci byly popsány dvě řešení adaptéru.

Adaptér 2 byl optimalizován pro výrobu na domácí 3D tiskárně využívající technologie FDM. Adaptér vyrobený technologií FDM z materiálu ASA výrobce Fillamentum vykázal při testování nárůst tuhosti o 127,5 % při úspoře hmotnosti 2,3 % v porovnání s dílem B-knuckle přehazovačky vyšší střední třídy Sram GX Eagle upevněného pomocí UDH patky. Z tohoto výsledku vyplývá, že materiál Fillamentum ASA tisknutý technologií FDM by mohl být vhodnější i pro návrh komerčního řešení adaptéru. Nejprve by ale bylo nutné ověřit únavové charakteristiky tohoto materiálu při použití v této aplikaci.

Adaptér 1, který byl optimalizovaný na minimální hmotnost, byl navržen jako produkt určený pro prodej veřejnosti. Tento adaptér byl navržen pro 3D tisk technologií SLS. Při použití materiálu PA12 Industrial pro tiskárnu Lisa X od výrobce Sinerit vykázal adaptér o 22,8 % vyšší tuhost a o 2,85 % nižší hmotnost oproti upevnění pomocí patky. Tento výsledek v porovnání s materiálem ASA není zásadní, což naznačuje, že PA12 nemusí být ideální volbou pro aplikace vyžadující vysokou tuhost při zachování co nejnižší hmotnosti.

Slabinou těchto konstrukčních řešení by mohly být nepřesnosti v určení zatížení působících na přehazovačku v důsledku zjednodušení. Tyto nepřesnosti by mohly být zdrojem problémů při dlouhodobém provozu adaptéru. Přesná analýza ani dlouhodobé testování však bohužel nebyly možné vzhledem k rozsahu bakalářské práce.

Problém dlouhodobého testování těchto adaptérů by určitě bylo vhodné do budoucna prozkoumat, aby se ověřila jejich spolehlivost a odolnost v reálných podmínkách. Důkladné dlouhodobé testování by mohlo přinést cenné poznatky o výdrži materiálů a konstrukčních řešení v náročných podmínkách terénní jízdy.

7 ZÁVĚR

Cílem této práce byl návrh, konstrukční řešení, výroba a testování adaptéru, který bude vyráběn pomocí 3D tisku a umožní připevnění mechanicky ovládané přehazovačky přímo k rámu horského kola.

Motivací k návrhu adaptéru bylo poskytnutí alternativního řešení pro nahrazení patky, která se běžně používá k upevnění přehazovačky k rámu, avšak je ze své podstaty náchylná k poškození a má omezenou tuhost, což může vést k nepřesnostem v řazení. Přímá montáž přehazovačky k rámu kola by umožnila vytvoření pevnějšího a odolnějšího spojení. Další výhodou tohoto řešení je možnost výroby náhradních dílů použitím 3D tiskárny.

V konstrukční části práce byly zpracovány dva návrhy adaptéru. První adaptér byl optimalizován pro výrobu pomocí 3D tisku technologií SLS a byl navržen jako prodejní produkt. Druhý adaptér byl optimalizován pro výrobu pomocí technologie FDM a byl určen k výrobě na domácích 3D tiskárnách. Oba adaptéry byly navrženy s využitím generativního designu tak, aby odolaly zatížení při jízdě v terénu při zachování minimální hmotnosti. Konstrukční část zahrnuje i zjednodušenou analýzu zatížení.

Navržené adaptéry byly vyrobeny a testovány statickou zkouškou, při které byla měřena deformace po zatížení silou působící ve směru osy náboje zadního kola. Pro nalezení optimálního materiálu pro tisk technologií FDM bylo testováno několik adaptérů vyrobených z různých materiálů. Adaptér vyrobený technologií SLS z materiálu PA12 Industrial pro tiskárnu Lisa X od výrobce Sinerit vykázal o 22,8 % vyšší tuhost a o 2,85 % nižší hmotnost než přehazovačka vyšší střední třídy Sram GX Eagle upevněná pomocí patky UDH. Nejvhodnějším materiálem pro technologii FDM byl zvolen materiál ASA výrobce Fillamentum. Adaptér vyrobený z tohoto materiálu byl v porovnání se standardně upevněnou přehazovačkou o 127,5 % tužší ve směru působení síly a o 2,3 % lehčí.

Další studium této problematiky by mělo zahrnovat dlouhodobé testování životnosti adaptérů, což nebylo součástí této práce. Orientační výpočet bezpečnosti vůči meznímu stavu únavy byl proveden pouze pro adaptér vyrobený technologií SLS.

S ohledem na zadání bakalářské práce lze prohlásit všechny cíle za splněné.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] JANS. Bicycle Drivetrains Explained. *Blog.jans.com* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://blog.jans.com/bicycle-drivetrains-explained/>
- [2] *Who invented the derailleur?* [online]. [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: [who_invented_the_derailleur.html](https://www.who_invented_the_derailleur.html)
- [3] *SRAM* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.sram.com/en>
- [4] Replaceable derailleur hangers and the problems they can pose. *Learn the ins and outs of replaceable rear derailleur hangers in this short article by Rodriguez Bicycle company in Seattle USA* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.rodbikes.com/articles/derailleur-hangers/replaceable-derailleur-hangers.html>
- [5] NOVOVIĆ, Relja. Rear derailleurs explained. *BikeGremlin* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://bike.bikegremlin.com/230/rear-derailleur/>
- [6] *Kola Trek (CZ)* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: https://www.trekbikes.com/cz/cs_CZ/
- [7] Discover The Benefits Of Universal Derailleur Hanger (UDH) For Your Bike - A Comprehensive Guide. *ICAN Cycling* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://icancycling.com/en-sg/blogs/articles/udh-guide>
- [8] *SRAM UDH (Universal Derailleur Hanger): USER MANUAL* [Online PDF]. 2019. 2019. Dostupné také z: <https://www.sram.com/en/service/manuals--documents/user-manuals?filters=&showRecent=false&page=1>
- [9] RALF-HAUSER. Development Story: SRAM's New Eagle Transmission. *Pinkbike* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.pinkbike.com/news/developing-srams-2023-eagle-transmission-drivetrain.html>
- [10] ERICOLSEN. Throwback Thursday: A Brief History of Direct Mount Derailleurs. *Pinkbike* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.pinkbike.com/news/a-brief-history-of-direct-mount-derailleurs.html>

- [11] HÁJÍČEK, Štěpán. Chystá Shimano svou vlastní „Direct-mount“ přehazovačku? *BikeAndRide.cz | Magazín o kolech - testy kol, reportáže, zábava... Take your Bike And Ride* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.bikeandride.cz/2023/03/chysta-shimano-svou-vlastni-direct-mount-prehazovacku/>
- [12] MIKEKAZIMER. Spotted: Prototype SRAM Direct Mount Drivetrain - Les Gets XC World Champs 2022. *Pinkbike* [online]. 2022 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.pinkbike.com/news/spotted-srams-new-mtb-drivetrain-les-gets-xc-world-champs-2022.html>
- [13] ERICOLSEN. Ratio Technology Tease Direct Mount Derailleur Conversion. *Pinkbike* [online]. 2022 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.pinkbike.com/news/ratio-tease-direct-mount-derailleur-conversion.html>
- [14] SHIMANO INC. *Shimano.com* [online]. 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.shimano.com/en/>
- [15] Derailleur Hangers Demystified. *Red Clover Components* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <http://www.redclovercomponents.com/2/post/2014/04/1.html>
- [16] *BikeRadar* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.bikeradar.com/>
- [17] Effect of filling percentage and raster style on tensile behavior of FDM produced PLA parts at different build orientation. *Materials Today: Proceedings*. 2022, **2022**(63), 433-439. ISSN ISSN 2214-7853.
- [18] *EOS GmbH* [online]. 2024 [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://www.eos.info/en-us/about-us>
- [19] *Bike-discount.de* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.bike-discount.de/en/bike/bike-parts/mountain-bike-parts/rear-derailleurs/12-speed/>
- [20] *UDH&FULL_MOUNT_RD_FRAME_SPEC_REV_H* [Online PDF]. 2022. 2022. Dostupné také z: <https://www.universald derailleurhanger.com/>
- [21] *2024 SRAM SPARE PARTS CATALOG* [Online PDF]. 2.2024. 2024. Dostupné také z: <https://www.sram.com/en/service/manuals--documents/spare-parts-catalogs?filters=brand|SRAM&showRecent=true&page=1>

- [22] TERHO. SRAM X01 Eagle Type 3.0 12-speed Rear Derailleur. *GrabCAD* [online]. 2020 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/sram-x01-eagle-type-3-0-12-speed-rear-derailleur-1>
- [23] JELÍNEK, Martin. *Návrh rámu horského kola a jeho deformačně napěťová analýza pomocí MKP*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2008, 87 stran, 2 strany obrazových příloh. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [24] HIBBELER. *Engineering mechanics: Dynamics*. 12. New Jersey: Prentice Hall, 2010. ISBN 978-0-13-607791-6.
- [25] FANATIK. *It took a 1,342 mph fastball to break SRAM Transmission* [online]. 2023, 21. 3. 2023 [cit. 2024-05-04]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=i3QzPxdN1e4>
- [26] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Baseball (ball). In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. [cit. 2024-05-23]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Baseball_\(ball\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Baseball_(ball))
- [27] Sram Gx Eagle Type 3 12 Speed Rear Derailleur (9090-112). *EBay* [online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/196244583339>
- [28] ERNST, Steve. Why hangers made from aircraft-grade aluminum are better than hangers made from recycled aluminum. *DerailleurHanger.com* [online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://derailleurhanger.com/why-hangers-made-from-aircraft-grade-aluminum-are-better-than-hangers-made-from-recycled-aluminum/>
- [29] REBORNPLAS. *Nylon PA6, PA66 Application of Bicycle* [online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.rebornplas.com/en/application/bicycle.html>
- [30] LEPIDLATMELY.CZ. Loctite 243 - 50 ml zajišťovač šroubů SP. *Lepidlatmely.cz* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.lepidlatmely.cz/loctite-243-50-ml-zajistovac-sroubu-sp/>
- [31] Hinge pins / collar / stainless steel, steel / annular groove / incl. circlip. *MISUMI* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110300095750/>

- [32] The Ultimate 3D Printing Match Up: Laser Sintering vs. Fused Deposition Modeling. *Stratasys Direct* [online]. 2019, 5.2.2019 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/en/stratasysdirect/resources/articles/selective-laser-sintering-vs-fused-deposition-modeling/>
- [33] *PA12 Industrial: Material's Technical Data Sheet for Lisa X* [Online PDF]. Sinerit.
- [34] SALAZAR, Alicia, Alberto Jesús Cano ARAGON a Jesús RODRÍGUEZ. Fatigue life assessment of polyamide 12 processed by selective laser sintering. Damage modelling according to fracture mechanics. *Rapid Prototyping Journal*. 2022, **28**(5), 814-822. ISSN 1355-2546.
- [35] *Properties Table* [online]. [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/properties-table/>
- [36] *PETG - Datasheet* [Online PDF]. Fillamentum Manufacturing Czech.
- [37] MATERIALPRO3D.CZ. ASA. *Materialpro3d.cz* [online]. [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/asa/>
- [38] *ASA Extrafill - Datasheet* [Online PDF]. Fillamentum Manufacturing Czech.
- [39] FILLAMENTUM. Fillamentum.com. *Fillamentum* [online]. 2024 [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://fillamentum.com/>
- [40] *CPE HG100 - Datasheet* [Online PDF]. Fillamentum Manufacturing Czech.
- [41] *Autodesk* [online]. [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

F	síla
F_x, F_y	složky síly v osách
Mk	kroučící moment
p	hybnost
t	čas
v	rychlost
v_y	složky rychlosti v osách
σ_{Co}	mez únavy
d	vnitřní průměr
D	vnější průměr
b	šířka
L	délka ramene
m	hmotnost
g	tíhové zrychlení
h	výška
K	tuhost
K_{avg}	průměrná tuhost
Δd	průměrná odchylka
z	posuv v ose z
UDH	Universal Derailleur Hanger
MKP	Metoda Konečných prvků
FDM	Fused Deposition Modeling
SLS	Selective Laser Sintering

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 Schéma pohonného ústrojí jízdního kola upraveno dle [1]	15
Obr. 2-2 Konstrukce přehazovačky horského kola	16
Obr. 2-3 Sram XX1 Eagle AXS. Moderní high end 12rychlostní systém s elektronickým ovládáním a standartním uchycením k rámu [3]	18
Obr. 2-4 Držák přehazovačky jako součást rámu [5]	19
Obr. 2-5 Výběr patek přehazovaček výrobce TREK [6]	20
Obr. 2-6 Montážní schéma patky přehazovačky Sram UDH [8]	20
Obr. 2-7 Patka Sram UDH [7]	21
Obr. 2-8 Přehazovačka Shimano Saint 2003 [11].....	21
Obr. 2-9 Přehazovačka Shimano Deore XT vybavená systémem Shadow [10].....	22
Obr. 2-10 Přehazovačky Sram Eagle Transmission zleva X0, XX, XX SL, GX upraveno z [3]	23
Obr. 2-11 Prototyp adaptéru pro montáž standardní přehazovačky bez použití patky [13] 23	
Obr. 2-12 Uchycení přehazovačky pomocí hákového držáku [5; 14; 15]	24
Obr. 2-13 Proces FDM 3D tisku upraveno dle [17]	26
Obr. 4-1 Přehazovačky SRAM Eagle a) SX, b) NX, c) GX, d) X01, e) XX1 upraveno dle [3]	29
Obr. 4-2 Definovaný prostor pro upevnění přehazovačky k rámu [20]	31
Obr. 4-3 Koncepční řešení 1 uchycení přehazovačky	32
Obr. 4-4 Koncepční řešení 2 uchycení přehazovačky	33
Obr. 4-5 Koncepční řešení 3 uchycení přehazovačky	34
Obr. 4-6 Koncept použití stávající kladky pro vedení lanka upraveno z modelu [22]	35
Obr. 4-7 Koncept použití vlastní kladky s ložiskem pro vedení lanka	36
Obr. 4-8 Koncept vedení lanka bez použití kladky	36
Obr. 5-1 3D model UDH patky a prostor vymezující volný prostor vytvořeno pomocí modelu z [20].....	38
Obr. 5-2 Nalezení úhlu sklonu paralelogramu vůči ose náboje	39
Obr. 5-3 Měření předepnutí ocelového lanka.....	40
Obr. 5-4 Měření napětí od zkrutné pružiny	41

Obr. 5-5 Graf složek reakčních momentů ve středu kola při dopadu [23]	43
Obr. 5-6 Hmotnost přehazovačky Sram NX Eagle (bez nahrazovaného dílu B-knuckle) .	43
Obr. 5-7 Část řetězu nesena přehazovačkou upraveno dle [3].....	44
Obr. 5-8 Místo s vysokou pravděpodobností kolize upraveno dle [27]	46
Obr. 5-9 Silové působení v simulaci na nasít'ované UDH patku	48
Obr. 5-10 Zjemnění sítě v místě koncentrátoru napětí	48
Obr. 5-11 Analýza UDH patky, vykreslení napětí.....	49
Obr. 5-12 Analýza UDH patky, vykreslení hodnoty bezpečnosti	49
Obr. 5-13 Konstrukční řešení uchycení adaptéru přehazovačky	50
Obr. 5-14 Přichycení ovládacího lanka	51
Obr. 5-15 Konstrukční řešení kladky pro Adaptér 1	52
Obr. 5-16 Konstrukční řešení kladky pro Adaptér 2	53
Obr. 5-17 Pohled na otvor o průměru 4 mm vytisknutý s výškou vrstvy 0,2 mm	54
Obr. 5-18 Konstrukční řešení připojení paralelogramu přehazovačky	55
Obr. 5-19 Konstrukční řešení dorazů paralelogramu	55
Obr. 5-20 S-N diagram pro Nylon PA 12 (vzorky vyrobeny technologií SLS) [34]	57
Obr. 5-21 Geometrie k zachování pro generativní design	60
Obr. 5-22 Geometrie překážky pro generativní design.....	61
Obr. 5-23 Proces návrhu výchozího tvaru generativního design	62
Obr. 5-24 Vstupní geometrie pro generativní design (vpravo vyobrazení s výchozím tělesem)	63
Obr. 5-25 Generovaný model adaptéru optimalizovaného pro minimální hmotnost	65
Obr. 5-26 Generovaný model adaptéru optimalizovaného pro FDM tisk	66
Obr. 5-27 Iterace 31 analýzy adaptéru optimalizovaného pro FDM tisk	66
Obr. 5-28 Model adaptéru pro tisk na SLS před a po úpravě po vygenerování	67
Obr. 5-29 Nevhodná geometrie omezující funkčnost.....	68
Obr. 5-30 Zařízení na ověření funkčnosti přehazovačky	69
Obr. 5-31 Zničené prototypy	69
Obr. 5-32 Součásti testovacího zařízení	70
Obr. 5-33 Zařízení na testování tuhosti adaptéru.....	71

Obr. 5-34 Závislost zatížení na deformaci testovaných adaptérů..... 72

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vybrané materiálové charakteristiky PA12 Industrial výrobce Sinerit [33].....	56
Tab. 2 Základní mechanické vlastnosti materiálu PETG výrobce Fillamentum [36]	58
Tab. 3 Základní mechanické vlastnosti materiálu ASA Extrafill výrobce Fillamentum [38]	58
Tab. 4 Základní mechanické vlastnosti materiálu CPE HG100 výrobce Fillamentum [40]	58
Tab. 5 Bezpečnost vůči MSP generativního designu FDM materiálů	64
Tab. 6 Orientační bezpečnost vůči únavě	65
Tab. 7 Výsledné hodnoty měření statického zatížení	72

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Naměřené hodnoty během testování

Příloha 2 – Obrázek finálního výrobku adaptéru vyrobeného 3D tiskem technologií FDM z materiálu ASA výrobce Fillamentum

Příloha 3 – Obrázek finálního výrobku adaptéru vyrobeného 3D tiskem technologií FDM z materiálu PETG výrobce Fillamentum

Příloha 4 – Obrázek finálního výrobku adaptéru vyrobeného 3D tiskem technologií SLS z materiálu PA12 Industrial pro tiskárnu Lisa X od výrobce Sinerit

Příloha 5 – 3D modely adaptérů

Hmotnost závaží [kg]	zatížení [N]	Deformace [mm]										
		UDH1	UDH2	UDH3	UDH avg	Nylon60	Nylon45	CPE	ASA	PETG		
1,070	10,497	0,08	0,08	0,08	0,08	0,04	0,06	0,03	0,02	0,04		
1,966	19,286	0,13	0,13	0,13	0,13	0,09	0,15	0,06	0,04	0,08		
3,036	29,783	0,20	0,20	0,20	0,20	0,14	0,24	0,11	0,08	0,13		
3,913	38,387	0,24	0,24	0,24	0,24	0,19	0,31	0,15	0,12	0,19		
5,020	49,246	0,32	0,32	0,32	0,32	0,25	0,41	0,20	0,15	0,25		
6,090	59,743	0,39	0,37	0,38	0,38	0,31	0,48	0,25	0,19	0,30		
6,986	68,533	0,45	0,42	0,43	0,43	0,36	0,54	0,29	0,20	0,37		
8,056	79,029	0,51	0,48	0,48	0,49	0,42	0,61	0,34	0,23	0,42		
8,933	87,633	0,56	0,53	0,53	0,54	0,49	0,67	0,39	0,26	0,48		
9,926	97,374	0,62	0,60	0,60	0,61	0,54	0,75	0,43	0,29	0,55		
10,996	107,871	0,70	0,65	0,66	0,67	0,60	0,82	0,48	0,32	0,60		
11,892	116,661	0,77	0,70	0,73	0,73	0,65	0,88	0,51	0,35	0,64		
12,962	127,157	0,82	0,78	0,80	0,80	0,70	0,95	0,56	0,39	0,69		
13,839	135,761	0,88	0,83	0,84	0,85	0,75	1,01	0,60	0,43	0,73		
14,909	146,257	0,94	0,89	0,91	0,91	0,81	1,08	0,64	0,47	0,78		
Půměrná tuhost [N/mm]		152,46	158,85	157,05	156,04	194,76	132,06	249,23	354,96	198,91		
Nárůst tuhosti oproti UDH patce		-	-	-	-	24,81%	-15,37%	59,72%	127,47%	27,47%		





