

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

**Konstrukční návrh nového typu spojky  
ráfkového profilu**

Design Concept of a New Type Bicycle Rim  
Coupling

Student:

Martin Sněhota

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Patrik Sniehotta, Ph.D.

## Zadání bakalářské práce

Student:	<b>Martin Sněhota</b>
Studijní program:	B2341 Strojírenství
Studijní obor:	2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace:	40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma:	<b>Konstrukční návrh nového typu spojky ráfkového profilu Design Concept of a New Type Bicycle Rim Coupling</b>
Jazyk vypracování:	čeština

### Zásady pro vypracování:

Cílem práce je navrhnout nový typ ráfkové spojky, kterou se spojuje zkrúžený profil ráfku. V současnosti existují dva typy spojení profilu ráfku. Oba způsoby mají své výhody a nevýhody. Cílem práce je navrhnout takovou spojku, která využije všechny výhody obou řešení a minimalizace jejich nevýhod. Práce je tvořena pro firmu Remerx s.r.o.

### Požadavky:

- ráfkový profil bez přídatných spojovacích komor
- eliminace zahlubování spojky
- rovnoměrné zalisování spojky
- plná automatizace celého procesu spojování
- zpětná kontrola správnosti spojení

### Cíle práce:

- analýza stávajících řešení
- návrh nového typu spojky
- pevnostní analýza spojky a ráfkového profilu při jejich spojení
- návrh koncepce spojovacího stroje, s maximálním využitím komponent stávajícího stroje

### Seznam doporučené odborné literatury:

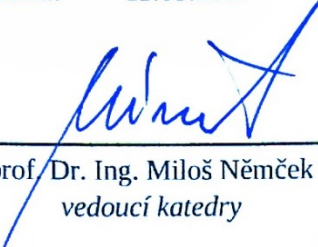
- BOLEK, Alfréd; Josef KOCHMAN. *Části strojů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990, 707 s. ISBN 80-03-00426-8.
- DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů*. Ostrava: Montanex, 2000, 225 s. ISBN 80-7225-018-3.
- KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické mechanismy*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 88 s. ISBN 80-248-0880-3.
- KŘÍŽ, Rudolf; Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. Vyd. 1. Praha: Scientia, 1994, 254 s. ISBN 80-85827-58-1.
- LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 5. upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011, 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4.
- MORAVEC, Vladimír; Jiří HAVLÍK. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 64 s. ISBN 80-248-0878-1.
- Firemní katalogy*

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Patrik Sniehotta, Ph.D.**

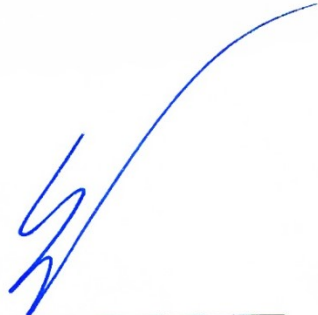
Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



---

prof. Dr. Ing. Miloš Němček  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 15.5.2017

  
.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užit tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užit toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 15.5.2017

.....

Podpis studenta

Martin Sněhota

Osada Míru 317

747 22 Dolní Benešov

## Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Patriku Sniehoffovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a rady při zpracování této práce. Mé poděkování patří též společnosti Remerx s.r.o. za poskytnutí cenných informací.

## **Anotace**

SNĚHOTA, M. *Konstrukční návrh nového typu spojky ráfkového profilu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2017, 31 s. Vedoucí práce: Sniehotta, P.

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem nového typu spojky ráfkového profilu. V úvodu je přiblížen výrobní proces cyklistického ráfku. Dále tato práce obsahuje analýzu stávajících řešení spojování ráfků, návrh nové ráfkové spojky a návrh modifikace spojovacího stroje. Práce je tvořena pro firmu Remerx s.r.o.

## **Annotation**

SNĚHOTA, M. *Design Concept of a New Type Bicycle Rim Coupling: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2017, 31 s. Thesis head: Sniehotta, P.

This bachelor thesis deals with the design of a new type of bicycle rim coupling. The introduction is about process of bicycle rim producing. Thesis includes analysis of current solutions for rim coupling, design of new type rim coupling and design of modifications of the coupling machine. This thesis is created for Remerx s.r.o.

# Obsah

1	Úvod.....	3
2	Rozdělení ráfků .....	4
3	Proces výroby ráfků .....	6
3.1	Výroba polotovaru .....	6
3.2	Výroba ráfku z polotovaru.....	7
3.3	Úprava povrchu.....	9
3.4	Obráběcí operace .....	10
3.5	Montáž výpletu .....	11
3.6	Testování ráfků .....	12
4	Metody spojování používané ve firmě Remerx .....	14
4.1	Spojování ráfků pomocí kolíků.....	14
4.2	Spojování pomocí tvarové spojky.....	15
5	Návrh nového řešení .....	16
5.1	Problematika současného stavu při montáži výpletu .....	16
5.2	Nový profil .....	17
5.3	Pevnostní analýza spojení .....	19
5.3.1	Výpočet přesahů uložení R6/g5 .....	19
5.3.2	Výpočet přesahů uložení K6/k5.....	20
5.4	Návrh koncepce spojovacího stroje .....	22
5.4.1	Úprava kleštin .....	23
5.4.2	Úprava vibračního zásobníku .....	24
5.5	Kontrola správnosti spojení .....	26
5.5.1	Ultrazvuk .....	27
5.5.2	Rentgen .....	27
6	Závěr .....	28
7	Literatura .....	29
8	Seznam příloh.....	31



## Seznam použitého značení, symbolů a zkratk

<b>zkratka</b>	<b>význam</b>	<b>jednotka</b>
DMR <sub>š</sub>	dolní mezní rozměr šířky otvoru ráfku	[mm]
DMR <sub>V</sub>	dolní mezní rozměr výšky otvoru ráfku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
EI <sub>K6</sub>	horní úchylka tolerančního pole K6	[mm]
Ei <sub>R6</sub>	horní úchylka tolerančního pole R6	[mm]
ES <sub>K6</sub>	dolní úchylka tolerančního pole K6	[mm]
ES <sub>R6</sub>	dolní úchylka tolerančního pole R6	[mm]
F	součinitel smykového tření	[N]
F <sub>max</sub>	maximální přídržná síla kleštin	[N]
F <sub>p</sub>	síla od předeprnutého paprsku	[N]
F <sub>t</sub>	třecí síla	[N]
HMR <sub>š</sub>	horní mezní rozměr šířky otvoru v ráfku	[mm]
HMR <sub>V</sub>	horní mezní rozměr výšky otvoru v ráfku	[mm]
JR <sub>š</sub>	jmenovitý rozměr šířky spojky a otvoru v ráfku	[mm]
JR <sub>V</sub>	jmenovitý rozměr výšky spojky a otvoru v ráfku	[mm]
Re	mez kluzu v tahu	[MPa]
Rm	mez pevnosti v tahu	[MPa]
S	obsah plochy dna ráfku	[mm <sup>2</sup> ]
S <sub>1</sub>	obsah nejmenší stykové plochy spojky a ráfku	[mm <sup>2</sup> ]

$d_{mr\dot{s}}$	dolní mezní rozměr šířky spojky	[mm]
$d_{mr\dot{v}}$	dolní mezní rozměr výšky spojky	[mm]
$e_{i_{g5}}$	horní úchylka tolerančního pole $g5$	[mm]
$e_{i_{k5}}$	horní úchylka tolerančního pole $k5$	[mm]
$e_{s_{g5}}$	dolní úchylka tolerančního pole $g5$	[mm]
$e_{s_{k5}}$	dolní úchylka tolerančního pole $k5$	[mm]
$f$	součinitel smykového tření	[-]
$d_{mr\dot{s}}$	horní mezní rozměr šířky spojky	[mm]
$d_{mr\dot{v}}$	horní mezní rozměr výšky spojky	[mm]
$k$	součinitel bezpečnosti	[-]
$p_{max}$	maximální přípustné otláčení spojky	[MPa]
$p_v$	tlak od výpletu	[MPa]
$S\dot{S}_{max}$	maximální přesah šířkového rozměru	[mm]
$S\dot{S}_{min}$	minimální přesah šířkového rozměru	[mm]
$S\dot{V}_{max}$	maximální přesah výškového rozměru	[mm]
$S\dot{V}_{min}$	minimální přesah výškového rozměru	[mm]
$\mu$	poissonovo číslo	[-]
$\rho$	hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]

# 1 Úvod

Ráfek je jednou z důležitých částí jízdních kol (vedle rámu a vidlice). Je to nosná část kola, která zajišťuje přenos energie vynaložené cyklistou a styk s terénem přes plášť. První ráfky se vyráběly ze dřeva. Dřevo bylo brzy nahrazeno kovovými materiály, zpočátku zejména ocelí. Ocelové ráfky ale byly velmi těžké. Současný trend je minimalizace hmotnosti ráfku, a proto se využívají materiály jako slitiny hliníku nebo uhlíková vlákna.

Důležitým atributem ráfku je jeho schopnost odolávat horizontálnímu a vertikálnímu zatížení. Vlastnosti a životnost ráfku ovlivňuje například: konstrukce profilu, kvalita materiálu, zpevnění otvorů nýty, povrchová úprava, správná volba ráfku podle použití a kvalita výpletu.

V současné době se využívá několik metod spojování ráfkových profilů. Hlavní rozdělení podle typu spojení je na ráfky svařované a spojené pomocí spojovacích elementů. Mezi nejčastější spojení pomocí elementů patří spojení pomocí tvarové spojky a pomocí kolíků. Obě tyto metody mají své výhody a nevýhody.

Cílem této práce je navrhnout takovou spojku, která využije výhod obou metod a současně minimalizuje jejich nevýhody. Dalším cílem této práce je navrhnout úpravy současně používaného stroje tak, aby se mohl využít při spojování pomocí nově navržené spojky. Práce je tvořena pro firmu Remerx s.r.o.

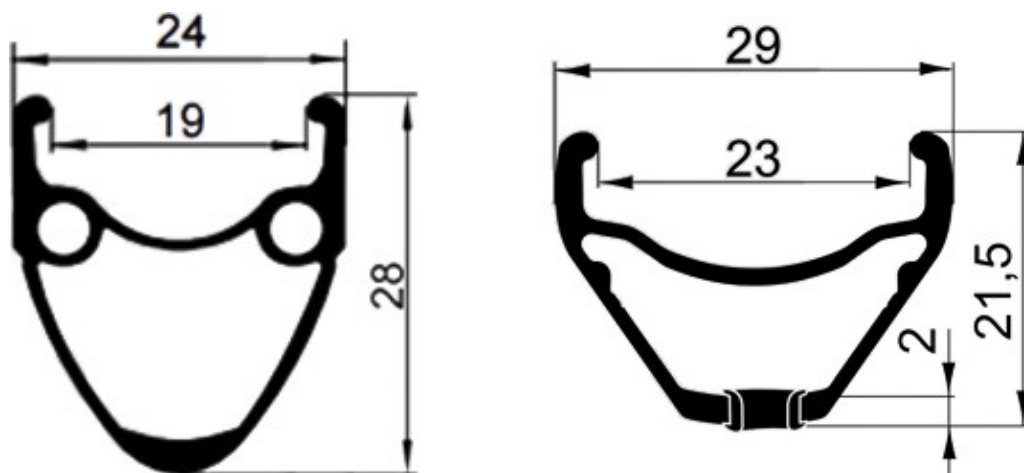
## 2 Rozdělení ráfků

Vedle rozdělení podle typu spojení lze ráfky rozdělit podle řady dalších kritérií. Například podle toho, jaká pneumatika bude na ráfku uložena – plášťová nebo galusková. V plášťových pneumatikách je obvykle duše, ale existují i varianty bez duše (např. TUBELESS). Plášťová pneumatika je zaháknutá o bočnici ráfku, zatímco galuska se na ráfek lepí speciální oboustrannou páskou nebo lepidlem.

Další možné rozdělení je podle typu používané brzdy. Ráfky se vyrábějí v provedeních pro ráfkovou (obr. 1 vlevo) nebo diskovou brzdou (obr. 1 vpravo). Pro vyrovnání brzdné plochy a lepší funkci ráfkové brzdy se povrch brzdných ploch soustruží. Brzdná plocha na ráfcích určených pro diskové brzdy nesmí být použita pro ráfkovou brzdou a bývá často přelakovaná nebo na ráfku není vůbec.



Obrázek 1 – Ráfková brzdá (vlevo) a disková brzdá (vpravo) [1] [2]



Obrázek 2 - Ráfek pro ráfkovou brzdou (vlevo) a ráfek pro diskovou brzdou (vpravo) [3]

Podle typu jízdního kola lze ráfky rozdělit na:

- Silniční, městské, trekkingové – průměry 28“



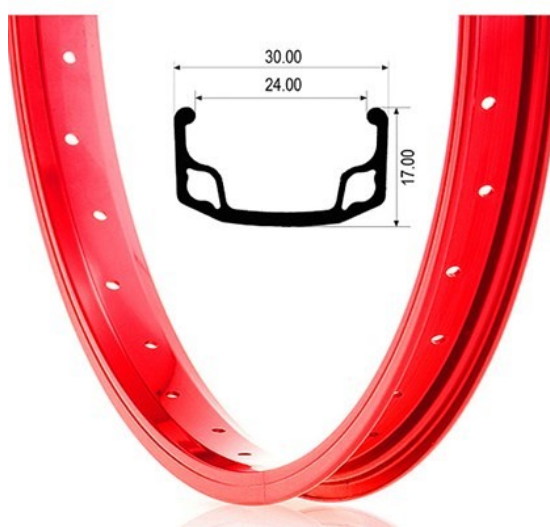
Obrázek 3 – Ráfek pro silniční kolo [4]

- Ráfky horských kol (MTB) – průměry 26“, 27,5“ a 29“



Obrázek 4 – Ráfek pro MTB kolo [5]

- Jiné (např. ráfky BMX, dětská) – průměry 12“ až 24“



Obrázek 5 – Ráfek pro BMX kolo [6]

### 3 Proces výroby ráfků

Výroba ráfku jízdního kola se skládá z několika na sebe navazujících operací. Tato kapitola se zabývá popisem těchto operací, od výroby polotovaru až po montáž náboje a výpletu.

#### 3.1 Výroba polotovaru

Počáteční fází při výrobě ráfků je zhotovení tyče potřebného profilu. Profily mohou být různé, např. jednostěnný, víceštěnný nebo uzpůsobený pro spojení pomocí kolíků a jiné.

Materiálem těchto tyčí jsou většinou slitiny hliníku. Existuje mnoho různých druhů slitin hliníku, příklady některých hliníkových slitin používaných při výrobě ráfků a jejich mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1.

Tyče se vyrábí metodou protlačování (extruze). Principem této metody je protlačení původního materiálu (ingotu) za působení vyšší teploty a tlaku přes protlačovací formu (matici), která dá výrobku konečný tvar. Tyto tyče obecně mohou být standardních profilů (L, U, T, atd.) nebo speciální dle konkrétních požadavků. Po protlačení se materiál ochladí nejčastěji vodou (tepelné zpracování T6). Nakonec se materiál nařeže na požadovanou délku, obvykle 6 m a zabalí.

Tabulka 1 - Slitiny hliníku a jejich mechanické vlastnosti [7]

Označení		Tepelné zpracování	Mez pevnosti Rm [MPa]	Mez kluzu Re [MPa]
ISO	EN			
AlMgSi	EN AW-6060	T6	170	140
AlMg0,7Si	EN AW-6063	T6	195	160
AlSiMg(A)	EN AW-6005A	T6	270	225
AlMg1SiCu	EN AW-6061	T6	260	240
AlSi1MgMn	EN AW-6082	T6	290	250



Obrázek 6 - Matrice [8]

### 3.2 Výroba ráfku z polotovaru

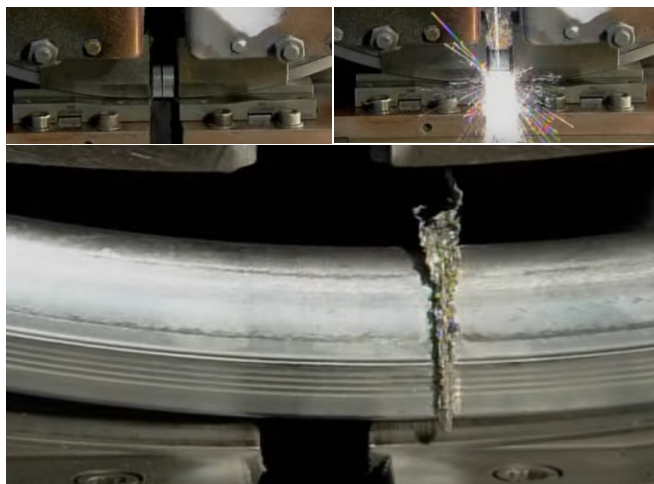
Následující kroky procesu výroby jsou již realizovány přímo ve firmě. Prvním z nich je zakružování. Strojem pro zakružování je zakružovačka. Tyč se nasune do zakružovačky a vznikne šroubovice. V další fázi se zakružená tyč (šroubovice) rozdělí jedním řezem na jednotlivé závity na kotoučové pile. Počet těchto jednotlivých závitů je závislý na průměru vyráběného ráfku a na délce tyče.



Obrázek 7 – Zakružování (vlevo) a řezání (vpravo) [9]

Dalším krokem je spojení ráfku. V naprosté většině případů jde o nerozebíratelné spojení. Obecně k tomu lze využít několik následujících technologií:

- **Svařování** – Jednou z používaných metod svařování ráfků je svařování elektrickým odporem (obr. 8). Nevýhodou je tepelně ovlivněná oblast spoje. Další metodou svařování ráfků je svařování tlakem za studena. Po svařování je nutné odstranit přebytečný materiál obrobením. Spojení svařováním se vyznačuje velmi vysokou pevností. Vyžaduje důkladnou přípravu svařovaných povrchů. Svařované ráfky jsou nákladnější na výrobu.



Obrázek 8 - Svařování ráfku el. odporem [10]

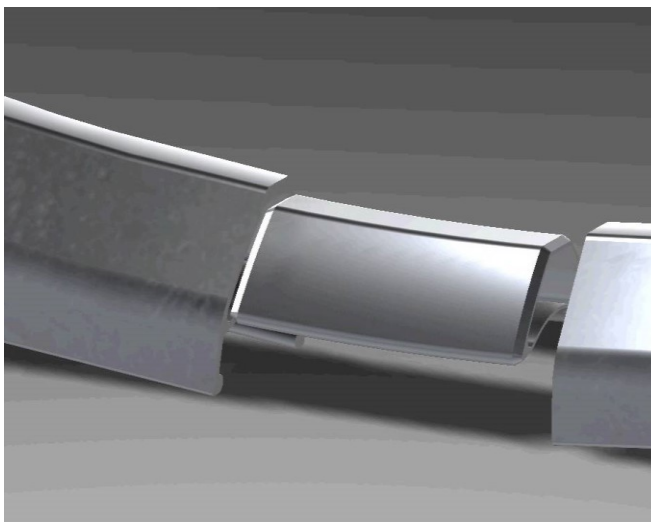
- **Kolíky** – jedná se o silový spoj. Principem tohoto spojení je nalisování zpravidla dvou kolíků, které jsou uloženy s přesahem, do dutin v profilu ráfku. Tato metoda je výhodná pro svou jednoduchost, nízké náklady a možnost automatizace procesu spojování. Nevýhodami mohou být zhoršená vyváženost ráfku, možnost nerovnoměrného zalisování kolíků do ráfku, nebezpečí poškození ráfků menších průměrů při zalisování rovného kolíku. Poslední nevýhodu lze odstranit použitím předem ohnutých kolíků. Spojení pomocí kolíků je zobrazeno na obr. 9.



Obrázek 9 - Spojení skolikováním [11]



- **Tvarová spojka a lepení** – Jedná se o kombinaci silového a materiálového spojení. Spojka zhotovená z hliníkové profilované tyče z části přiléhá k vnitřní stěně profilu ráfku a z části je ponechána mezera (komora) mezi spojkou a profilem ráfku. Tato komora slouží pro nanesení lepidla, které se zde dostane přes pomocné otvory v ráfku, které zároveň mohou sloužit jako indikátory opotřebení. Nevýhodou této metody je především zdoluhavá ruční montáž. Spojení pomocí tvarové spojky je zobrazeno na obr. 10.



*Obrázek 10 - Spojení ráfkovou spojkou [12]*

Všechny tyto způsoby jsou spolehlivé. Spojování ráfků svařováním je nákladnější, než spojování ráfků pomocí spojovacích elementů, které je i jednodušší. Společnost Remerx využívá metody spojení pomocí kolíků a pomocí tvarové spojky s následným lepením. Obě dvě metody a praktiky aplikované ve firmě Remerx jsou detailně popsány v kapitole 4.

### **3.3 Úprava povrchu**

Po spojení následuje úprava povrchu ráfku anodizováním (eloxováním). Jde o druh chemicko-tepelné úpravy povrchu pro výrobky z hliníku. Eloxovaný povrch získá odolnost proti korozi, odolnost proti opotřebení a atraktivní vzhled s možností zbarvení povrchu v široké škále barevných odstínů (kromě bílé). „Eloxování je příznivé životnímu prostředí, protože anodizační proces je posílením přirozené oxidace hliníku, takže neprodukuje těžké kovy ani jiné škodlivé a nebezpečné vedlejší produkty. Z technologického hlediska jde o povrchovou úpravu finančně méně náročnou.“ [13]

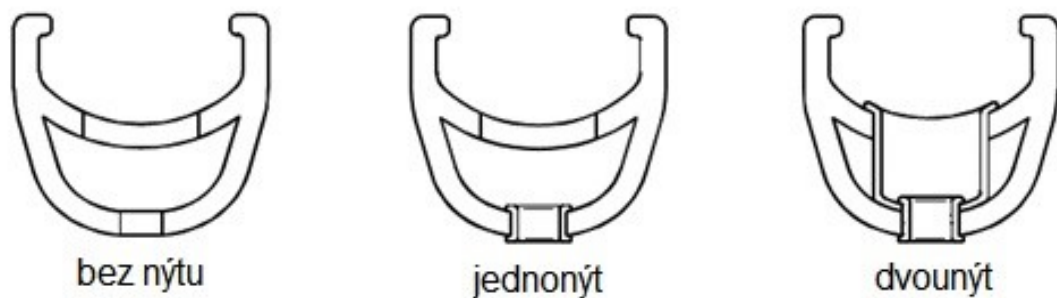


Obrázek 11 - Různé barevné varianty ráfků po eloxování [14]

### 3.4 Obráběcí operace

Na ráfcích, určených pro používání ráfkové brzdy, je nutné pro zajištění kvalitního brzdného účinku upravit povrch brzdných ploch soustružením. To může být provedeno před nebo po vrtání otvorů pro niply. Otvory pro niply mohou být vyrobeny několika metodami: vrtáním, děrováním, frézováním, prostřelováním, tepelným tvářením. [15]

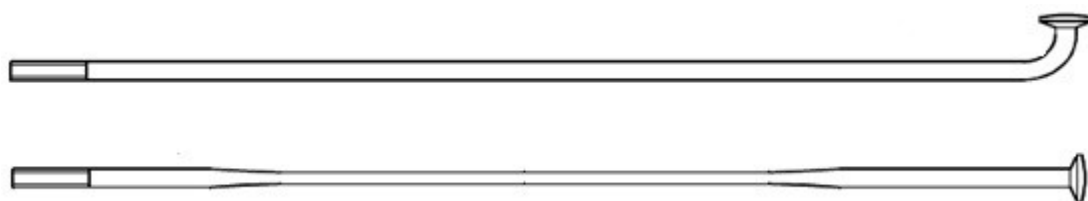
Otvory se dále mohou nýtovat, a to dvěma způsoby – tzv. jednonýt a dvounýt. To má za následek zpevnění a zvýšení odolnosti ráfku v oblastech otvorů pro niply. Poslední operací je montáž náboje a výpletu.



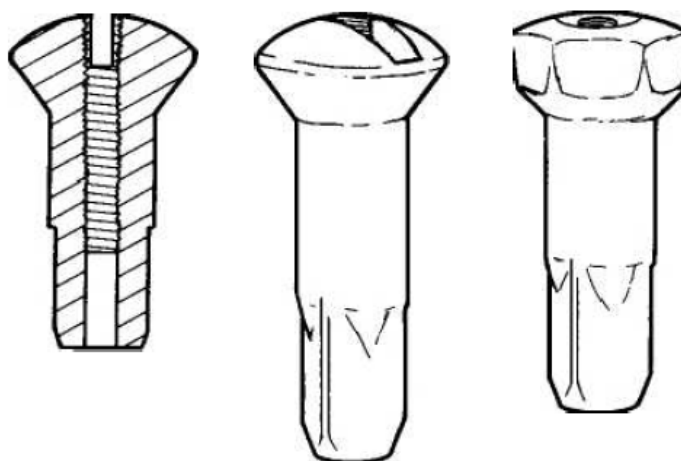
Obrázek 12 – Nýtování otvorů – bez nýtu, jednonýt a dvounýt [11]

### 3.5 Montáž výpletu

Výplet se skládá ze špic (paprsků), které mají na jednom konci závit a na druhém hlavičku. Konec s hlavičkou může být přímý nebo s ohybem a je uložen v náboji. Konec se závitem je zašroubován do niplu. Niply mohou mít šestihrannou nebo zaoblenou hlavu. Niply jsou obvykle vyrobeny z mosazi nebo hliníku a často se vyrábí v délkách 12 mm a 14 mm. Materiál paprsků je nejčastěji nerezová ocel, případně hliník. Vyrábí se zpravidla v tloušťkách 1,8 mm a 2 mm. Počet paprsků ve výpletu kola bývá od 20 do 40.



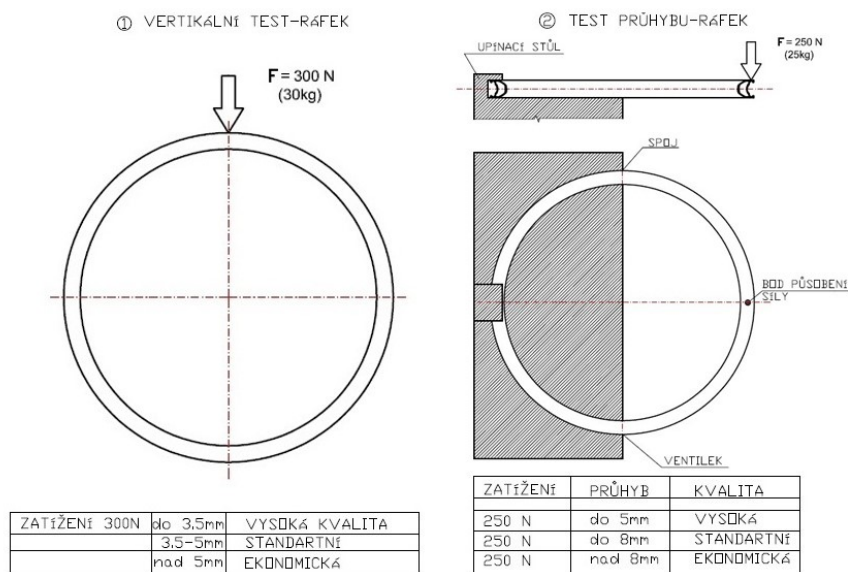
Obrázek 13 – Paprsky – s ohybem (nahore) a přímý zúžený (dole) [11]



Obrázek 14 – Niply – průřez (vlevo), se zaoblenou hlavou (uprostřed) a se šestihrannou hlavou (vpravo) [16]

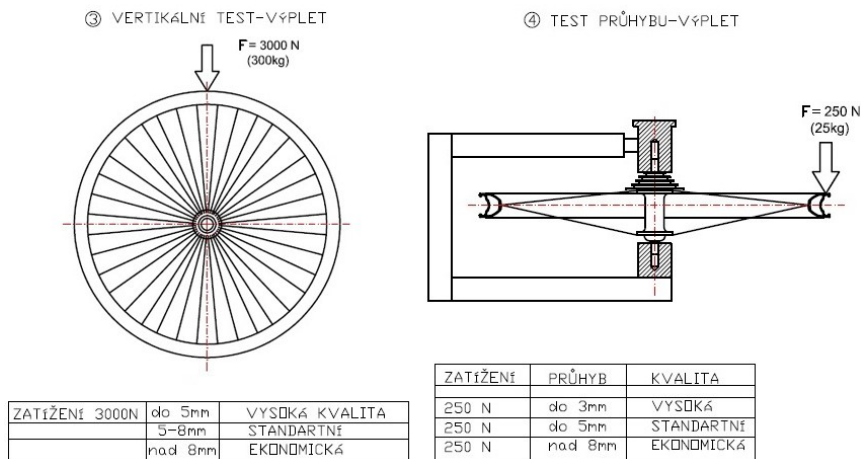
### 3.6 Testování ráfků

Ve firmě Remerx se provádí několik způsobů zkoušení. Testují se nejen hotová vypletená kola, ale i samotný spojený ráfek ještě před vypletením. U ráfků před vypletením se provádí zkoušky statické pevnosti při zatížení ve vertikálním a horizontálním směru a vyhodnocuje se průhyb. Podle velikosti průhybu se rozdělují do tří kategorií kvality: vysoká, standardní a ekonomická. Schémata zkoušek statické pevnosti ráfků jsou společně s hodnotami pro rozdělení do kategorií kvality na obr. 15.



Obrázek 15 - Schémata statických zkoušek ráfku před vypletením [17]

Vypletená kola se zkoušejí rovněž při zatížení ve vertikálním a horizontálním směru. Kolo je uchyceno za náboj v přípravku a na určitém místě ráfku působí síla, jejíž velikost je závislá na typu jízdního kola. Schémata statických zkoušek vypletených kol jsou znázorněny na obr. 16.



Obrázek 16 - Schémata statických zkoušek vypletených kol [17]

Vypletená kola se dále testují nárazovou zkouškou, kdy je kolo bez pláště uchyceno za náboj do testovacího přípravku, a následně se na něj spustí z výšky 300 mm ocelové závaží s gumovou podložkou o tloušťce 20 mm. Místo dopadu závaží na kolo je 90° od ventilku. Po testu se na kole nesmí objevit: „viditelné trhliny a delaminace, změna v bočním profilu nebo v bocích vybíhající přes 1 mm a změna v radiálním (paprskovitém) profilu nebo paprskovitě vybíhající přes 1 mm.“ [18]



Obrázek 17 – Nárazová zkouška [18]

Další ze zkoušek vypletených kol je únavová zkouška. Při únavovém testu je kolo již opatřeno duší a pláštěm. Kolo je roztočeno rychlostí 25 km/h pod zátěží 650 N (65 kg) a soustavně naráží na překážku o výšce 10 mm. Počet nárazů v testu je 750 000. „Po testu se nesmí na žádné části kola vyskytnout žádné nalomení, uvolnění nebo viditelné trhliny, nesmí dojít ke ztrátě tlaku vzduchu v plášti způsobené poškozením pláště nebo duše kola a nepoškozený plášť musí zůstat na ráfku.“ [18]



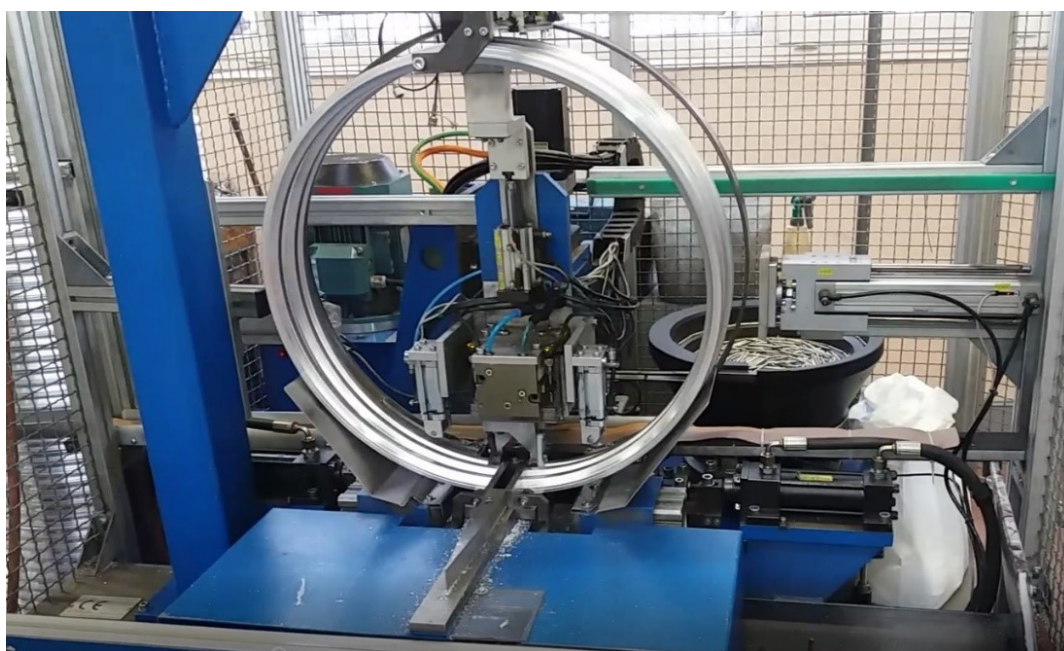
Obrázek 18 - Únavová zkouška a detail překážky [18]

## 4 Metody spojování používané ve firmě Remerx

Jak již bylo zmíněno, ve firmě Remerx se využívá spojování dvěma metodami, a to pomocí kolíků, a pomocí tvarové spojky s následným lepením. Spojení skolíkováním je plně automatizováno, zatímco spojení spojkou se provádí ručně. Tato kapitola se zabývá detailním popisem obou procesů spojování ráfků používaných ve firmě Remerx.

### 4.1 Spojování ráfků pomocí kolíků

První z metod používaných ve firmě Remerx pro spojování ráfků je spojení pomocí kolíků. Tato metoda využívá dvou kolíků nalisovaných do dutin vytvořených v profilu ráfku. Kolíky mají sražené hrany, pro lepší nasazení do ráfku. Tato metoda je automatizována - firma Remerx využívá spojovací stroj dodaný firmou CERA (obr. 19). Obsluha nasune sadu nařezaných zakružených profilů na klínový přípravek, upevněný na pracovním stole stroje. Mezitím unašeč odebírá kolíky ze zásobníku kolíků. Ten je vybaven vibračním dávkovačem, který automaticky doplňuje kolíky. Postupně jsou jednotlivé ráfky pomocí pneumatických a hydraulických podávacích mechanismů uvolněny z klínového přípravku a vloženy do obruče, kde dochází k roztažení. Roztažený ráfek je nasazen na kolíky uložené v unašeči a dochází k zalisování kolíků. Poté podávací zařízení odebírá spojený ráfek a tento proces se opakuje, dokud nejsou odebrány a spojeny všechny ráfky z klínového přípravku.



Obrázek 19 - Stroj pro spojování ráfků CERA

## 4.2 Spojování pomocí tvarové spojky

Druhým způsobem aplikovaným ve firmě Remerx je spojení ráfku pomocí tvarové spojky s případným zalepením. Proces výroby tvarové spojky je obdobný jako proces výroby ráfku před spojením. Vyrábí se rovněž zakružováním profilovaných hliníkových tyčí a následným nařezáním. Montáž tohoto spojení se provádí jednotlivě, proto je poměrně zdlouhavá.

Montážník ručně roztáhne nařezanou zakruženou tyč a nasadí do jednoho konce spojky, a uloží do obruče. Tuto obruč zachycuje obr. 20. V obruči probíhá spojení profilu. Pracovník pomocí páky ovládá stlačování obruče a současně musí přidržovat spojku, aby zalisování proběhlo rovnoměrně do obou konců. Pro toto přidržování je ve spojce zhotoven důlek. Po zalisování se nanáší lepidlo skrze pomocné otvory v ráfku a nechá se vytvrdnout v peci za vyšších teplot. Tento způsob je oproti předchozímu velice zdlouhavý. Výhodou oproti spojování pomocí kolíků je ekologičnost – spojky jsou vyrobeny stejně jako ráfek z hliníku, tudíž se při likvidaci nemusí rozebírat, aby se roztřídily rozdílné materiály, jako je tomu u použití ocelových kolíků.



Obrázek 20 - Spojovací obruč

## 5 Návrh nového řešení

Protože se profilů ráfku vyrábí široká škála, principy nově navrženého řešení jsou vysvětleny na jednom konkrétním typu profilu ráfku, který byl vybrán firmou Remerx. Jedná se o ráfek s vnějším průměrem 634 mm +/- 0,5 mm. Princip nového řešení lze po modifikaci aplikovat i na jiné profily podobného typu. Profil tohoto ráfku je zobrazen na obr. 23.

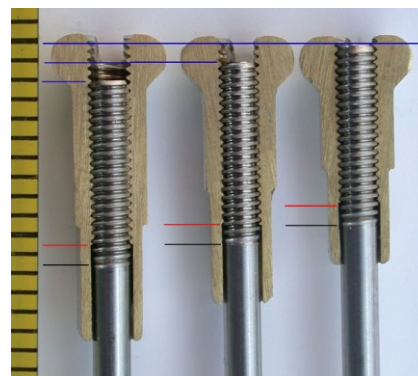
Tato kapitola pojednává o nepříznivém stavu současného řešení při montáži výpletu, návrhu nového řešení a porovnání se současným. Dále se zabývá zjednodušeným návrhem úprav stroje, který se bude používat pro spojování nově navrženou spojku. Poslední částí této kapitoly je návrh řešení kontroly rovnoměrnosti zalisování spojky.

### 5.1 Problematika současného stavu při montáži výpletu

Aby byla realizovatelná montáž výpletu, na vnějším i vnitřním hřbetu ráfku musí být zhotoveny otvory pro niply – v tomto případě mají otvory ve vnějším hřbetu průměr 9 mm a ve vnitřním průměr 4,6 mm (případně 5,6 mm, pokud se otvor bude nýtovat). Nipl je prostrčen přes otvor ve vnějším hřbetu a hlava se opírá o vnitřní hřbet ráfku. Do niplu se poté zašroubuje konec špice se závitem.

Mimo komplikací při postupu spojování ráfku pomocí tvarové spojky, který je popsán v kapitole 4.2, dochází k dalším komplikacím také při montáži výpletu. Ty se vyskytují v oblasti, kde je uložena spojka a zároveň nipl. V takovém případě je nutné provrtání vnějšího i vnitřního hřbetu spojky otvory 9/4,6 mm, stejně jako ráfek, a následné zahloubení vnitřní stěny spojky za účelem vhodného dosednutí hlavy niplu.

Skutečnost, že hlava niplu v místě spojky nemůže dosednout na vnitřní stěnu ráfku, ale opírá se o stěnu spojky, způsobuje, že z ráfku k náboji vyčnívá kratší část dřívku niplu. Špice je tedy do niplu v oblasti spojky zašroubována na méně závitů, než ostatní špice mimo oblast spojky (obr. 21). Řešením tohoto problému může být zahloubení stěny spojky. To je ovšem operace navíc, což je při požadované automatizaci procesu spojování značně nevyhovující.



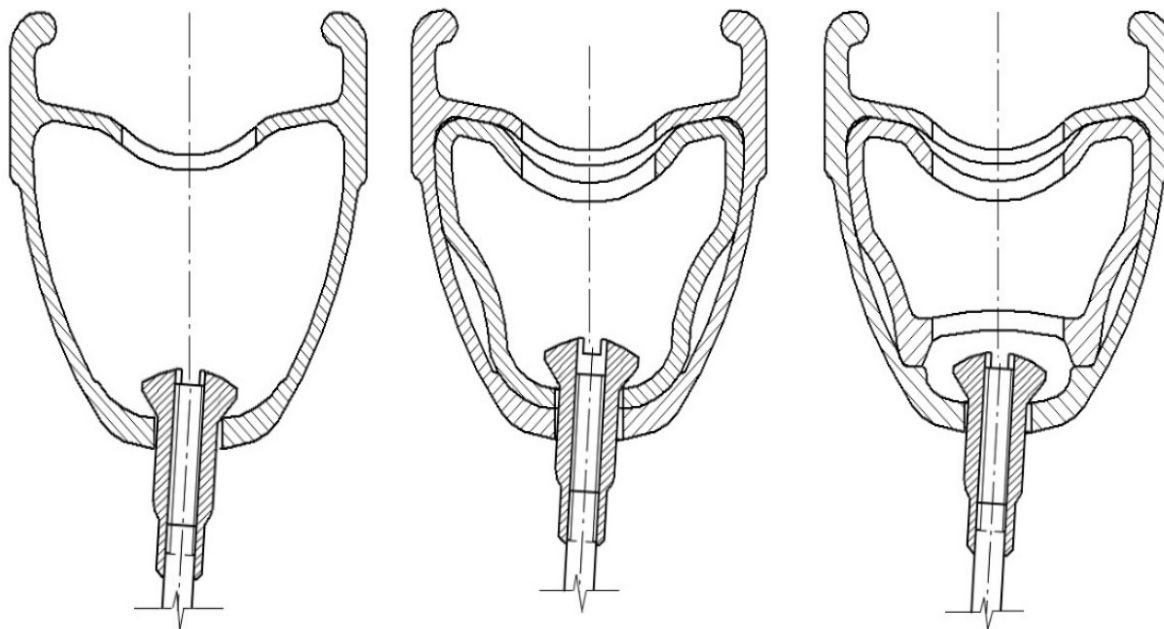
Obrázek 21 - Rozdíly v zašroubování paprsků - nevhodný (vlevo) optimální (vpravo) [19]



Nýtování se provádí za účelem zvýšení odolnosti otvorů pro niply. Při nýtování otvorů je rovněž nutností provrtání obou hřbetů spojky, v tomto případě mají otvory průměry 9/5,6 mm. Spojka je přinýtována k vnitřnímu hřbetu ráfku. Nipl je prostrčen nýtovaným otvorem a našroubován na špici.

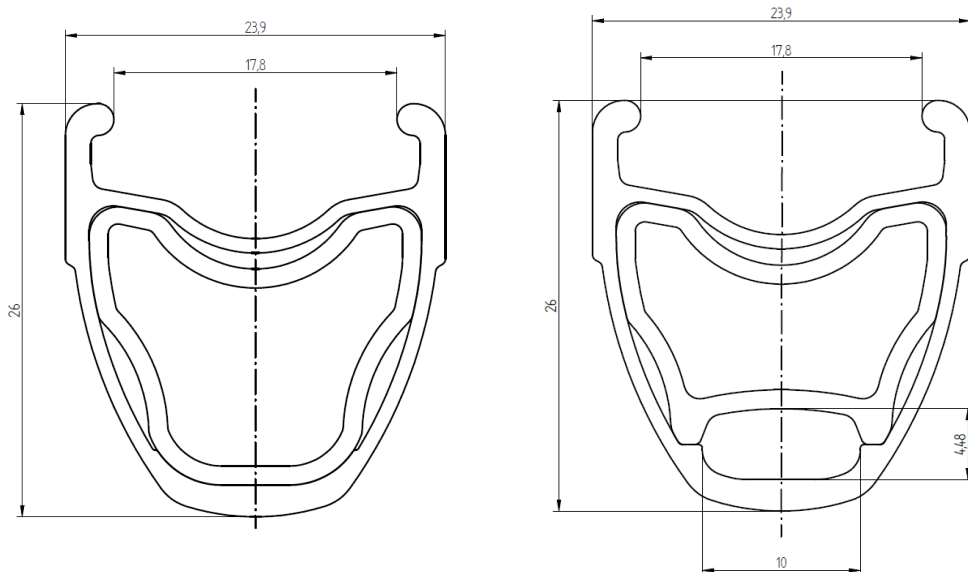
## 5.2 Nový profil

Nové řešení se odlišuje od současného úpravou profilu spojky i ráfku. Nový profil spojky má vyklenutý hřbet – mezi spojkou a hřbetem ráfku vznikne komora. Vnitřní i vnější hřbet spojky bude, stejně jako vnější hřbet ráfku, provrtán vrtákem o průměru 9 mm. Nipl tedy projde spojkou, a hlava niplu tedy dosedne až na vnitřní hřbet ráfku, jak je tomu u ostatních niplů mimo oblast spojky. Mezera mezi vnitřními hřbety spojky a ráfku je dostatečně velká, aby se do ní vešla hlava niplu, a to i v případě, že se budou otvory pro niply nýtovat. Problematika zahlubování spojky tím tedy odpadá. Spojka má seříznuté konce, aby se při spojování na ní snadněji nasouvaly konce ráfku. Nová spojka je vyrobena stejně jako ta stávající, z hliníkových slitin. Hmotnost nové spojky je stejná jako hmotnost současné verze, a to 14 g.

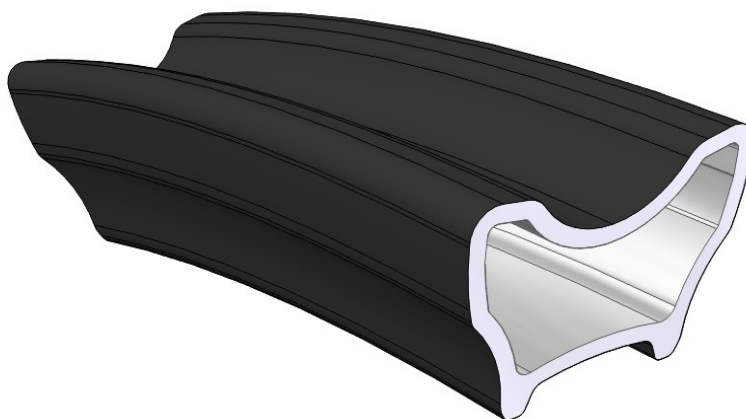


Obrázek 22 - Nipl v ráfku - mimo oblast spojky (vlevo), v oblasti stávající spojky (uprostřed) a v oblasti nové spojky (vpravo)

Změna profilu spojky vyžaduje i úpravu profilu ráfku. Upravený profil má navíc oproti tomu současnému vytvarované výstupky, které tvoří kontaktní plochy se spojkou. Tyto kontaktní plochy předcházejí přílišnému tlaku na boční stěny ráfku, které jsou užší, než jeho hřbet. Vnější profil ráfku je zachován. Současná verze ráfku o vnějším průměru 634 mm před zhotovením otvorů pro niply má hmotnost 551 g. Ráfek s upraveným profilem má hmotnost vyšší, a to 561 g. Hmotnost tedy procentuálně naroste o 1,81 %. Hmotnosti byly vypočteny v softwaru Solid Edge ST9. Výkresy profilů spojky, ráfku a uložení jsou přiloženy v přílohách A - C.



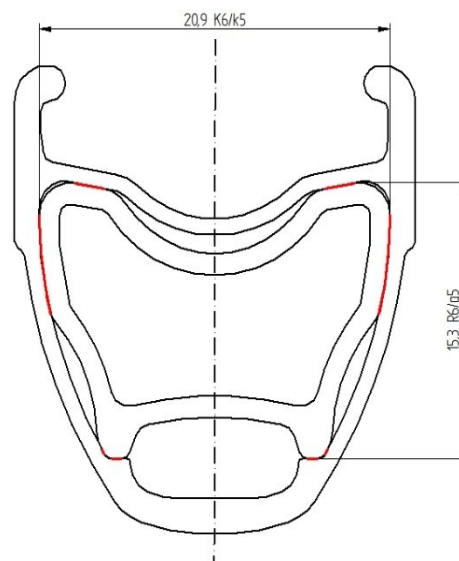
Obrázek 23 - Porovnání profilů – stávající (vlevo) a nový (vpravo)



Obrázek 24 - Nová spojka

### 5.3 Pevnostní analýza spojení

Spojka je v profilu ráfku uložena s přesahem. Hodnoty úchylek tolerančních polí stanovuje norma ČSN EN ISO 286-2. Hodnoty jsou odstupňovány pro každé toleranční pole podle rozsahu rozměrů. Velikosti výšky a šířky spojky spadají do různých rozsahů rozměrů, proto jsou pro lepší a podobnější hodnoty přesahů zvoleny dvě různá uložení. Pro výškový rozměr bylo zvoleno uložení R6/g5 a pro šířkový K6/k5. Uložení R6/g5 bylo vybráno, protože teoreticky přesná vzdálenost stykových ploch je 15,28 mm, a uložení 15,3 R6/g5 se nejvíce blíží hodnotě 15,28 mm. Uložení K6/k5 bylo vybráno pro poměrně nízkou hodnotu přesahu, aby na spojce nevznikala příliš vysoká napětí.



Obrázek 25 - Uložení spojky – červenou barvou jsou zvýrazněny stykové plochy

#### 5.3.1 Výpočet přesahů uložení R6/g5

Jmenovitý rozměr  $JR_V = 15,3$  mm

Hodnoty úchylek tolerančního pole R6 pro rozsah rozměrů 10-18 mm [18]:

horní úchylka  $ES_{R6} = -0,020$  mm

dolní úchylka  $EI_{R6} = -0,031$  mm

Výpočet horního mezního rozměru (HMR) a dolního mezního rozměru (DMR) výšky dutiny pro spojku v profilu ráfku:

$$HMR_V = JR_V + ES_{R6} = 15,3 + (-0,02) = 15,28 \text{ mm} \quad (1)$$

$$DMR_V = JR_V + EI_{R6} = 15,3 + (-0,031) = 15,269 \text{ mm} \quad (2)$$

Hodnoty úchylek tolerančního pole g5 pro rozsah rozměrů 10-18 mm [18]:

horní úchylka  $es_{g5} = -0,006$  mm

dolní úchylka  $ei_{g5} = -0,014$  mm

Výpočet HMR a DMR výšky spojky:

$$hmr_V = JR_V + es_{g5} = 15,3 + (-0,006) = 15,294 \text{ mm} \quad (3)$$

$$dmr_V = JR_V + ei_{g5} = 15,3 + (-0,014) = 15,286 \text{ mm} \quad (4)$$

Minimální přesah nastane v případě, kdy výška dutiny bude mít hodnotu  $HMR_V$  a spojka bude mít hodnotu  $dmr_V$ . Maximální přesah nastane, když výška dutiny bude nejmenší, tedy bude mít hodnotu  $DMR_V$  a výška spojky bude mít hodnotu  $hmr_V$ . Výpočet minimálního a maximálního přesahu:

$$s_{Vmin} = |HMR_V - dmr_V| = |15,28 - 15,286| = 0,006 \text{ mm} \quad (5)$$

$$s_{Vmax} = |DMR_V - hmr_V| = |15,269 - 15,294| = 0,025 \text{ mm} \quad (6)$$

### 5.3.2 Výpočet přesahů uložení K6/k5

Jmenovitý rozměr  $JR_\xi = 20,9 \text{ mm}$

Hodnoty úchylek tolerančního pole K6 pro rozsah rozměrů 18-30 mm [18]:

horní úchylka  $ES_{K6} = + 0,002 \text{ mm}$

dolní úchylka  $EI_{K6} = - 0,011 \text{ mm}$

Výpočet HMR a DMR šířky dutiny pro spojku v profilu ráfku:

$$HMR_\xi = JR_\xi + ES_{K6} = 20,9 + 0,002 = 20,902 \text{ mm} \quad (7)$$

$$DMR_\xi = JR_\xi + EI_{K6} = 20,9 + (-0,011) = 20,889 \text{ mm} \quad (8)$$

Hodnoty úchylek tolerančního pole k5 pro rozsah rozměrů 18-30 mm [18]:

horní úchylka  $es_{k5} = + 0,011 \text{ mm}$

dolní úchylka  $ei_{k5} = + 0,002 \text{ mm}$

Výpočet HMR a DMR výšky spojky:

$$hmr_\xi = JR_\xi + es_{k5} = 20,9 + 0,011 = 20,911 \text{ mm} \quad (9)$$

$$dmr_\xi = JR_\xi + ei_{k5} = 20,9 + 0,002 = 20,902 \text{ mm} \quad (10)$$

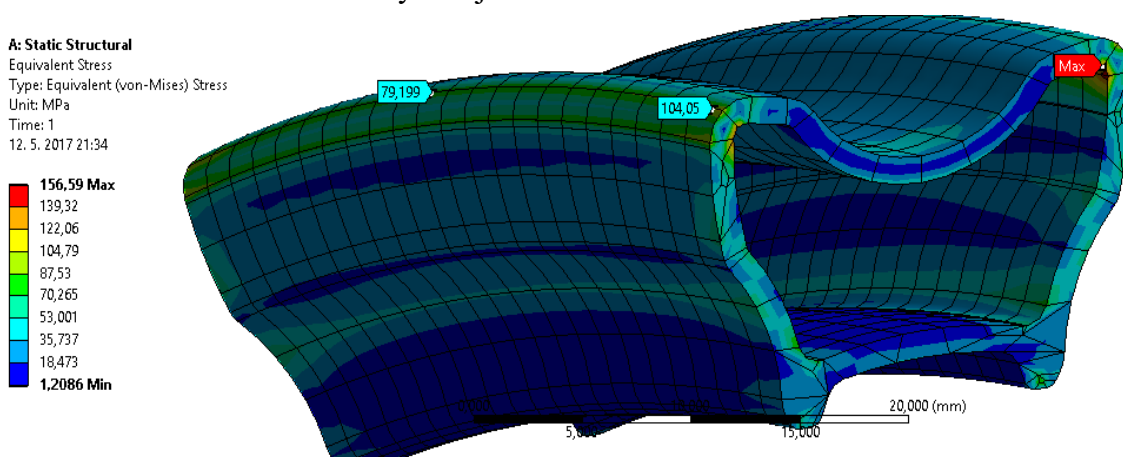
Výpočet minimálního a maximálního přesahu:

$$s_{\xi min} = |HMR_\xi - dmr_\xi| = |20,902 - 20,902| = 0 \text{ mm} \quad (11)$$

$$s_{\xi max} = |DMR_\xi - hmr_\xi| = |20,889 - 20,911| = 0,022 \text{ mm} \quad (12)$$

Minimální hodnota přesahu uložení K6/k5 je 0 mm. Teoreticky se nejedná o uložení s přesahem, ale dle normálního rozdělení pravděpodobnosti je situace, kdy nastane nulový přesah, krajně nepravděpodobná. V případě, že by k této situaci došlo, je zde díky druhému uložení stále stoprocentní jistota, že spojka bude uložena v ráfku s přesahem.

Na nově navrženém spoji byla pro zjištění tlaku vzniklého uložení s přesahem provedena MKP analýza. Bylo zjištěno, že spojka dosahuje po zalisování maximálního napětí 157 MPa. Napětí spojky je zachyceno na obr. 26. V případě použití hliníkové slitiny EN AW-6082 T6, která má mez kluzu  $R_e = 250$  MPa a mez pevnosti  $R_m = 290$  MPa je hodnota maximálního tlaku vyhovující.

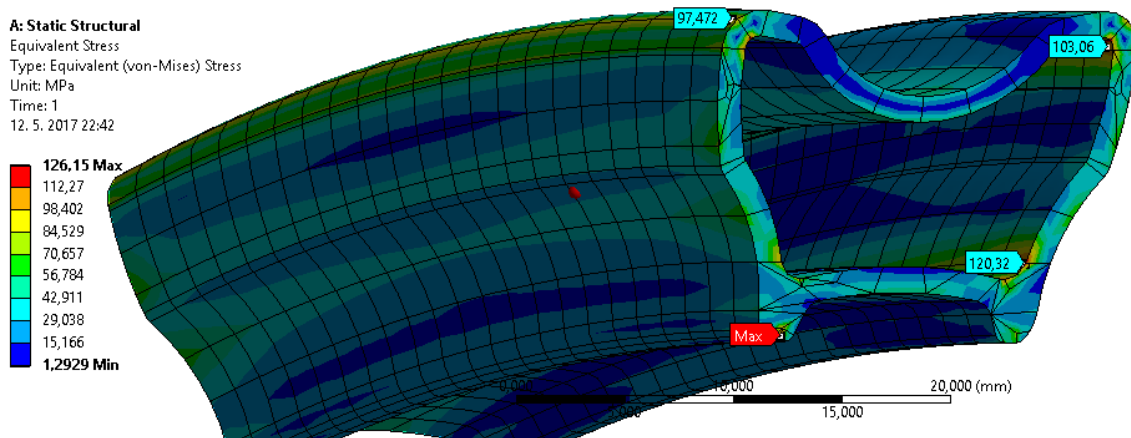


Obrázek 26 - Napětí spojky

Dále byla MKP analýzou zjištěna změna napětí, při uvážení vlivu výpletu a nahuštění pneumatiky na 2,5 barů. Výplet tvoří 36 paprsků, které jsou předepnuty na  $F_p = 1000$  N. Tato síla je vztažena na plochu dna ráfku, která má obsah  $S = 7890$  mm<sup>2</sup>. Hodnota obsahu byla stanovena v softwaru Solid Edge ST9.

$$p_v = \frac{36 \cdot F_p}{S} = \frac{36 \cdot 1000}{7890} = 4,563 \text{ MPa} \quad (13)$$

Bylo zjištěno, že předpětí výpletu a nahuštění pneumatiky má vliv na hodnotu napětí spojky. Hodnoty nejvyššího napětí poklesly ze 157 MPa na 126 MPa. Napětí spojky s uvážení vlivu předepnutého výpletu a nahuštění pneumatiky na 2,5 barů zobrazuje obr. 27. Detailní popis postupu MKP analýzy je uveden v příloze D.



Obrázek 27 - Napětí spojky se zahrnutím vlivu výpletu

## 5.4 Návrh koncepce spojovacího stroje

Stávající stroj používaný ve firmě Remerx je využíván pro spojování pomocí kolíků. Popis stroje a jeho činnosti je popsán v kapitole 4.1. Nový stroj, který bude využíván ke spojování pomocí tvarových spojek, dodá, stejně jako stávající stroj na spojování kolíky, firma CERA. Principem se od toho současného příliš neliší. Obsluha opět nasune sadu zakružených nařezaných tyčí na trnový přípravek stroje, který ráfky potřebně roztáhne. Podávací ústrojí mezitím odebere za pomocí kleštin tvarovou spojku z vibračního zásobníku a ustaví ji do požadované polohy. Tyto kleštiny mají tloušťku 8 mm a jsou tvarované podle profilu spojky. Obruč odebrá roztažený ráfek, a nasazuje oba jeho konce na spojku. Poté dochází k přitlačení obou konců ráfku k sobě. Ty se zastaví asi 10 mm od sebe, kleštiny se povolí a oba konce se dorazí k sobě. Spojený ráfek je poté odebrán a celý cyklus se opakuje. Spojení realizované tímto spojovacím strojem značně omezuje míru nerovnoměrnosti zalisování spojky do profilu. Odchylka může dosáhnout maximální hodnoty 10 mm, což lze považovat za akceptovatelnou hodnotu.



Obrázek 28 - Spojovací stroj (zdroj: CERA)

### 5.4.1 Úprava kleštin

Aby byl tento stroj použitelný pro nově navrženou spojku, vyžaduje jisté úpravy. Jednou z nich je úprava kleštin, které se musí vytvarovat podle profilu nové spojky. Upravený profil horní a spodní kleštiny kopíruje horní a spodní část profilu spojky. Tloušťka kleštin zůstane stejná, tj. 8 mm. Náčrt modifikovaného profilu a 3D pohled těchto kleštin je znázorněn na obr. 29. Přídržná síla kleštin je omezena možnou deformací spojky.

Podmínka přípustného otláčení spojky kleštinami:

$$p_{max} = \frac{\frac{F_{max}}{2}}{S_1} \leq \frac{Re}{k} \quad (14)$$

$p_{max}$  – maximální tlak vyvolaný přídržnou silou kleštin [MPa]

$F_{max}$  – maximální přídržná síla [N]

$S_1$  – obsah stykové plochy [mm<sup>2</sup>]

$Re$  – mez kluzu [MPa], hliníková slitina EN AW 6082 T6 má  $Re = 250$  MPa

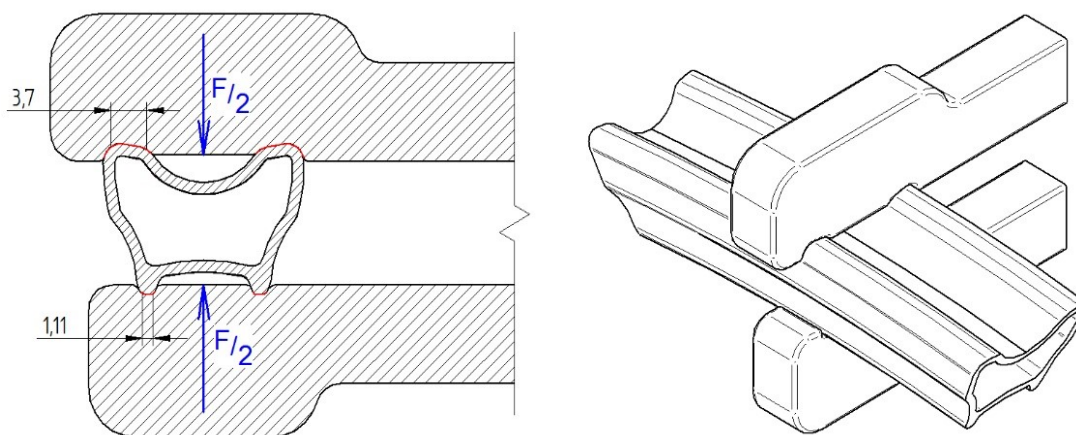
$k$  – bezpečnost [-], zvolena bezpečnost  $k = 2$ .

Vyjádření maximální síly:

$$F_{max} \leq \frac{2 \cdot Re \cdot S_1}{k} = \frac{2 \cdot 250 \cdot 17,76}{2} = 4440 \text{ N} \quad (15)$$

Výpočet obsahu dvou menších (spodních) stykových ploch:

$$S_1 = 2 \cdot 1,11 \cdot 8 = 17,76 \text{ mm} \quad (16)$$



Obrázek 29 - Návrh modifikace kleštin – stykové plochy jsou zvýrazněny červeně

Spojovací síla stroje je omezená velikostí třecí síly od přídržné síly kleštin. Velikost třecí síly se vypočte:

$$F_t = f \cdot F_{max} = 0,61 \cdot 4400 = 2708,4 \text{ N} \quad (17)$$

f – součinitel smykového tření [-], souč. smykového tření pro hliník-ocel je  $f = 0,61$  [21]

Maximální dovolená síla stroje použitelná pro zalisování spojky je 2708 N.

#### 5.4.2 Úprava vibračního zásobníku

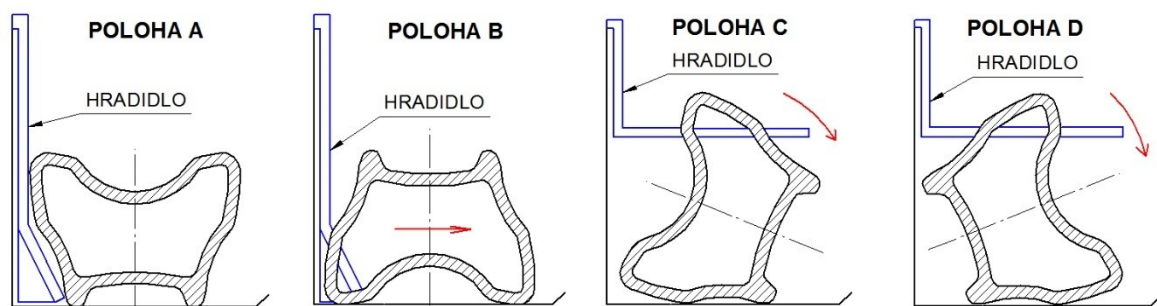
Další nutnou modifikací spojovacího stroje je úprava vibračního zásobníku. Vibrační zásobník je zařízení, které zajišťuje přesné dodávání a orientaci jednotlivých součástek v jednotné poloze. „Vibrační zásobník sestává z nádoby s válcovým, kuželovým nebo stupňovitým tvarem, která je pomocí centrálního šroubu připevněna k pohonu, toto šroubové upnutí umožňuje natáčení nádoby o  $360^\circ$  oproti pohonu. Pohon vibračního zásobníku je tvořen dvěma deskami, základovou a nosnou, soustavou pružných elementů a elektromagnetickým budičem. Celá soustava je pružně uložena a rezonančně naladěna.“ [22]



Obrázek 30 - Vibrační zásobník spojovacího stroje (zdroj: CERA Engineering)

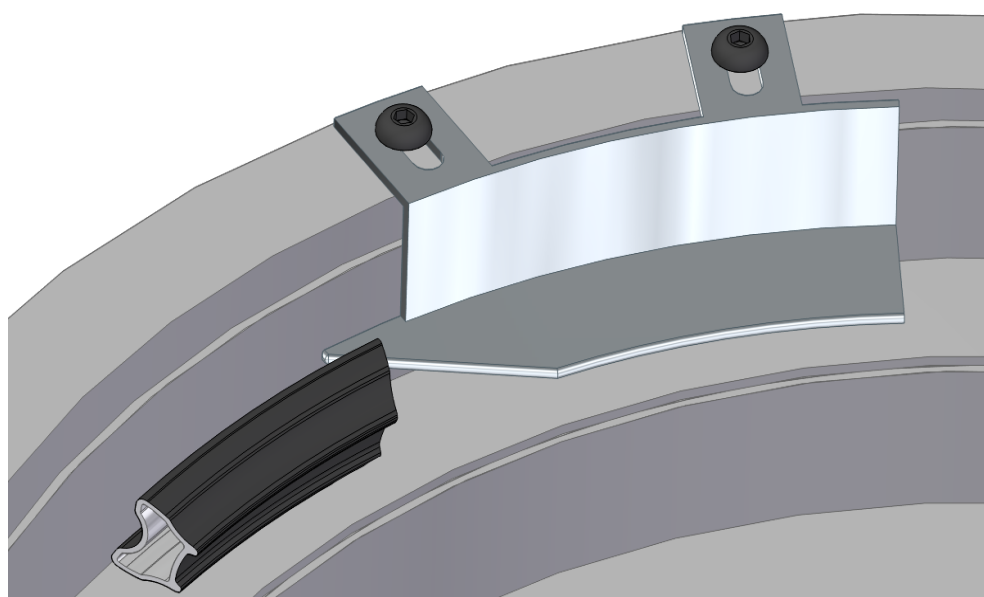


Podávací pás, který v tomto případě opisuje trajektorii kuželové spirály, odebírá spojky z nádoby. Je nutností, aby spojka byla dodána ze zásobníku ke kleštinám ve správné poloze. Obecně mohou nastat čtyři polohy spojky, ve kterých se spojka dostane ze zásobovací nádoby na podávací pás. Tyto polohy byly označeny A-D a jsou zobrazeny na obr. 31.



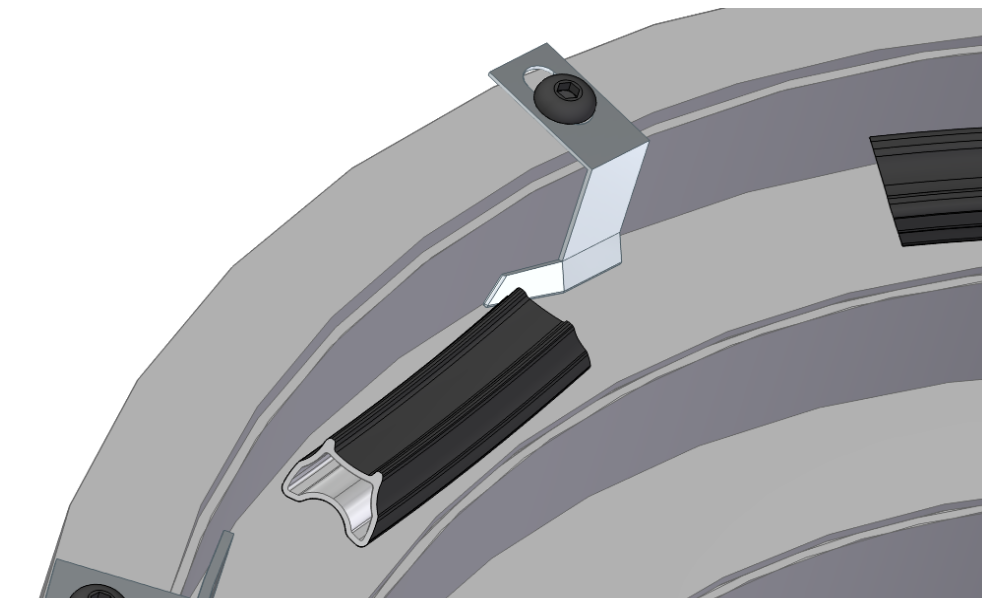
Obrázek 31 - Možné polohy spojky a naznačení směru pohybu spojky při kontaktu s hradidly

Vzhledem ke vzájemnému umístění spojky vůči ráfku při spojování na stroji je požadavkem, aby se spojka dostala ke kleštinám v poloze A. Toho lze docílit vybavením vibračního zásobníku hradícími prvky. V tomto případě byly navrženy dva hradící prvky, které eliminují či přeměňují nežádoucí polohy. Jeden z nich eliminuje polohu D a zároveň umožňuje dostat spojku z polohy C do polohy A. Nachází-li se spojka v poloze D, spojka po kontaktu s hradidlem odpadá z pásu zpět do nádoby zásobníku. Pokud spojka dorazí k hradidlu v poloze C, hradidlo ji převrátí do polohy A. Pokud spojka dorazí k hradidlu v poloze A nebo B, hradidlo je nastaveno v takové výšce, aby umožnilo bezkontaktní průchod spojky pod hradidlem. 3D náhled tohoto prvku je zobrazen na obr. 32.



Obrázek 32 - Hradící prvek 1

První hradidlo zajišťuje, že spojka se k druhému hradidlu může dostat pouze v poloze A či B. Druhé hradidlo tedy eliminuje nežádoucí polohu B. Spojka v poloze B je hradidlem vytlačena z podávacího pásu a spadá zpět do nádoby. Spojka má užší spodní část, takže v poloze A projde kolem druhého hradidla bez kontaktu, případně bude správně usměrněna. Spojka ke kleštinám může dorazit pouze v požadované poloze A. 3D náhled druhého hradidla je na obr. 33.



Obrázek 33 - Hradící prvek 2

## 5.5 Kontrola správnosti spojení

Při spojování ráfku s použitím nové spojky a nového spojovacího stroje, kdy je spojka uchycena v kleštinách o tloušťce 8 mm, se výrazně omezí možnost nesouměrného zalisování spojky do konců ráfku. Kleštiny se při spojování zastavují 10 mm od sebe, odchylka rovnoměrnosti tedy bude maximálně 10 mm. To znamená, že při délce spojky např. 60 mm bude vždy jistotou, že alespoň jeden konec spojky bude zalisován minimálně na 25 mm a druhý na 35 mm. Firma Remerx považuje tuto odchylku za vyhovující a kontrola správnosti spojení tedy není nutná.

V případě, že by kontrola spojení byla vyžadována, lze k tomu využít některou z nedestruktivních metod kontroly vnitřních vad materiálu, které se mohou využít i například pro měření tloušťky stěn. Nejpoužívanější metody jsou kontrola ultrazvukem a rentgenovým prozářením.

### 5.5.1 Ultrazvuk

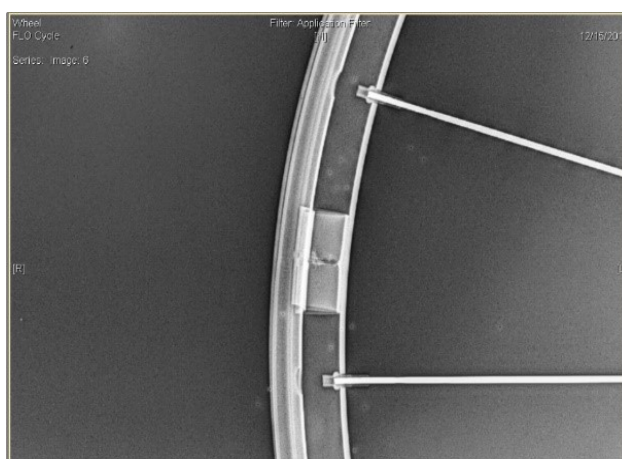
Kontrola ultrazvukem patří mezi základní metody nedestruktivního zkoušení. Ultrazvuk je v podstatě mechanické kmitání částic v prostředí s frekvencí nad 20 000 Hz. Principem ultrazvukové zkoušky je proniknutí ultrazvukových vln do materiálu a odrazení těchto vln od rozhraní dvou nehomogenních prostředí. Kontrola ultrazvukem má poměrně širokou škálu využití v oblasti nedestruktivní kontroly, jako například zjišťování vad ve zkoušeném materiálu anebo výrobku, měření vzdálenosti vad, měření tloušťek, měření útlumu, měření rychlosti šíření ultrazvuku v prostředí. [23]



Obrázek 34 - Zkouška ultrazvukem [24]

### 5.5.2 Rentgen

Princip metody je průchod rentgenového záření zkoušenou součástí. Záření se při průchodu zeslabuje. V místě, kde se nachází nehomogenita, se paprsek oslabí méně. Za součástí je umístěn film, na který dopadají paprsky záření. Pokud paprsek projde nehomogenním prostředím, na filmu se toto místo zobrazí tmavěji. Když se princip aplikuje na spoj ráfku, tak v oblasti, kde se nachází spojka, se paprsek oslabí více, než v oblasti bez spojky. Oblast, kde se nachází spojka se tedy na film promítne světleji, než oblast, kde spojka není. Příklad zobrazení spojky v ráfku po RTG prozáření zobrazuje obr. 35.



Obrázek 35 - Zobrazení spojky po RTG prozáření [25]

## 6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo konstrukční navržení nového typu spojky ráfkového profilu. Požadavky na nové řešení: ráfkový profil bez přídavných komor, eliminace zahlubování spojky, rovnoměrné zalisování spojky, plná automatizace celého procesu a zpětná kontrola správnosti spojení.

Nového řešení bylo dosaženo úpravou profilu současně používané spojky. Součástí nového řešení bylo přizpůsobení profilu stávajícího ráfku, aby bylo realizovatelné spojení pomocí nové spojky. Pro uložení spojky do profilu ráfku bylo navrženo uložení s přesahem. Byla vybrána dvě uložení s přesahem, a to R6/g5 a K6/k5, následně byly spočteny hodnoty přesahů a nově navržený spoj byl podroben MKP analýze. Bylo zjištěno, že spojka vyrobená z hliníkové slitiny EN AW 6028 T6 dosahuje vlivem zalisování maximálního napětí 157 MPa. Daná hliníková slitina má mez kluzu  $Re = 250$  MPa, hodnotu maximálního napětí lze tedy považovat za vyhovující.

Cílem bylo rovněž navržení modifikací spojovacího stroje tak, aby mohl být využit pro spojování zakružených, nařezaných ráfků pomocí nově navržené spojky. Stroj vyžadoval úpravu kleštin. Tvar kleštin byl upraven tak, aby částečně kopíroval vnější tvar spojky, a tím byla zajištěna fixace v požadované poloze při nasouvání konců ráfků na spojku. Další úpravou spojovacího stroje bylo doplnění vibračního zásobníku dvěma hradíci prvky, které eliminují možnost, že se spojka dostane ze zásobníku ke kleštinám v nežádoucí poloze.

Posledním cílem bylo navržení kontroly správnosti spojení z hlediska rovnoměrnosti zalisování spojky do obou konců spojovaného ráfku. S použitím nového spojovacího stroje s upravenými kleštinami však pravděpodobnost větší nerovnoměrnosti zalisování rapidně klesá. Maximální hodnota odchylky rovnoměrnosti je 10 mm. Firma Remerx hodnotu maximální odchylky akceptuje. Kontrola správnosti tedy není nutná, ale pro případ požadavku kontroly byly uvedeny možnosti, jak lze ověřit správnost spojení.

## 7 Literatura

1. Bike parts specialist. *PAUL LANGE – OSTRAVA, s.r.o.* [online]. PAUL LANGE – OSTRAVA, s.r.o., ©2016. [cit. 28.2.2017]. Dostupné z: <http://www.paul-lange.cz/shimano-brzda-xt-br-t780>
2. Disková brzda AVID BB7 MTB Graphite. *Cyklo Žitný.* [online]. CYKLO ŽITNÝ s.r.o., ©2017. [cit. 28.2.2017]. Dostupné z: <http://www.cyklozitny.cz/diskova-brzda-avid-bb7-mtb-graphite-cps-v-baleni-160mm-g2cs-kotoucsrouby-kotouce-cps-s>
3. Katalog Remerx 2017. *Ráfky a zapletená kola Remerx.* [online]. Remerx s.r.o., [cit. 28.2.2017]. Dostupné z: [http://www.remerx.cz/data/files/katalog\\_remerx\\_2017\\_cz-2\\_13.pdf](http://www.remerx.cz/data/files/katalog_remerx_2017_cz-2_13.pdf)
4. Remerx silniční TAURUS – Ráfky. *Ráfky a zapletená kola Remerx.* [online]. Remerx s.r.o., [cit. 13.5.2017]. Dostupné z: <http://www.remerx.cz/taurus-5014>
5. Remerx MTB disková brzda FASTDISC – Ráfky. *Ráfky a zapletená kola Remerx.* [online]. Remerx s.r.o., [cit. 13.5.2017]. Dostupné z: <http://www.remerx.cz/fastdisc-rmx-7330>
6. Ráfek BMX – BEFLY – jednostěnný – 36 děr – červená. *DOOKIE.cz – Freestyle BMX, Downhill, Freeride, Street, Flatland, Enduro, MX, Snowboard, Moto.* [online]. Dookie s.r.o., ©2016. [cit. 13.5.2017]. Dostupné z: <http://www.dookie.cz/rafek-bmx-befly-jednostenny-36der-cervena/d-118949-c-1303/>
7. Mechanické vlastnosti hliníku a jeho slitin. *ANS – Technic.* [online]. ANS Praha a.s., ©2012. [cit. 1.3.2017]. Dostupné z: [http://www.ans-technic.cz/?page\\_id=198](http://www.ans-technic.cz/?page_id=198)
8. Extrusions Die Manufacturer for Aluminium. *Elite extrusion die.* [online]. Elite extrusions die. [cit. 1.3.2017]. Dostupné z: [http://www.elitedie.eu/ngg\\_tag/extrusion-die/](http://www.elitedie.eu/ngg_tag/extrusion-die/)
9. O firmě Remerx – fotogalerie výroby. *Ráfky a zapletená kola Remerx.* [online]. Remerx s.r.o., [cit. 1.3.2017]. Dostupné z: <http://www.remerx.cz/fotogalerie-vyroby>
10. How It's Made: Aluminium Bike Wheels: *Youtube.* [online]. 4.12.2011. [cit. 1.3.2017]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=xYUOLGEPw9Q>
11. MUSSON, Roger. *The Professional Guide to Wheel Building.* 5. vydání, 2011, 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4.
12. Sleeved Joint Connection: *Youtube.* [online]. 17.12.2015. [cit. 1.3.2017]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=kHr2ppclsWw>

13. Eloxovna. *Ráfky a zapletená kola Remerx*. [online]. Remerx s.r.o., [cit 1.3.2017].  
Dostupné z: <http://www.remerx.cz/eloxovna>
14. DARTMOOR 2 Fortress 26“ ráfik. *House of Bike.sk*. [online]. Premium Supplies s.r.o., [cit. 1.3.2017]. Dostupné z:  
<http://www.houseofbike.sk/26/4261-dartmoor-2-fortress-26.html#>
15. PLUNDRÁK, David. *Analýza příčin vzniku trhlin v ráfcích kol: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 68s.  
Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Rudolf Foret, CSc.
16. BRANDT, Jobst. *The Bicycle Wheel*. 3. vydání, 1993, 150 s. ISBN 978-0960723669.
17. Zapletená kola Remerx 2009. *Rebel Bike*. [online]. RebelBike.com, 2017.  
[cit. 8.4.2017]. Dostupné z:  
[http://www.rebelbike.com/download/remerx\\_zapletena\\_kola\\_zkousky.pdf](http://www.rebelbike.com/download/remerx_zapletena_kola_zkousky.pdf)
18. Testování zapletených kol ve společnosti Remerx s.r.o. *Ráfky a zapletená kola Remerx*. [online]. Remerx s.r.o., [cit 3.4.2017]. Dostupné z:  
<http://remerx.cz/testovani-zapletenych-ve-spolecnosti-remerx-s-r-o>
19. Measurements for Bicycle Spoke. *Sheldon Brown – Bicycle Technical Information*. [online]. Sheldon Brown, 2017. [cit. 8.4.2017]. Dostupné z:  
<https://www.sheldonbrown.com/spoke-length.html>
20. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 5. vydání Úvaly: ALBRA, 2011, 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4.
21. SOUČINITEL TŘENÍ. *Portál pro strojní konstruktéry*. [online]. E-konstrukter, 2013. [cit. 7.5.2017]. Dostupné z:  
<http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>
22. Vibrační kruhové zásobníky. *Vibrační technika Libor Kříž*. [online]. LIBOR KŘÍŽ – vibrační technika, 2011. [cit. 8.4.2017]. Dostupné z:  
<http://liborkriz.eu/cz/produkt/vibracni-kruhove-zasobniky.html>
23. Metoda kontroly ultrazvukem. *CONTROLTEST spol. s.r.o. – nedestruktivní defektoskopie DFT*. [online]. CONTROLTEST spol. s.r.o., 2009. [cit. 8.4.2017].  
Dostupné z: <http://www.controltest.cz/metody-ndt/kontroly-ultrazvukem.php>
24. Ultrazvukové zkoušky výkovků a hutních materiálů. *Kovárna TRIANGOLO spol. s.r.o. – Hulín*. [online]. TRIANGOLO spol. s.r.o., 2009. [cit 11.5.2017]. Dostupné z:  
<http://www.triangolo.cz/vyrobní-možnosti/ultrazvukove-zkousky-vykovku.html>
25. FLO Cycling - Digital Radiography and Cycling Wheel Inspections. *FLO Cycling*. [online]. FLO Cycling, [cit. 8.4.2017]. Dostupné z:  
<http://flocycling.blogspot.cz/2011/12/flo-cycling-digital-radiography-and.html>

## **8 Seznam příloh**

Příloha A – Výkres uložení nové spojky	BP-SNE0024-00
Příloha B – Výkres nové spojky	BP-SNE0024-01
Příloha C – Výkres nového ráfku	BP-SNE0024-02
Příloha D – MKP analýza spojky	

## Příloha D – MKP analýza

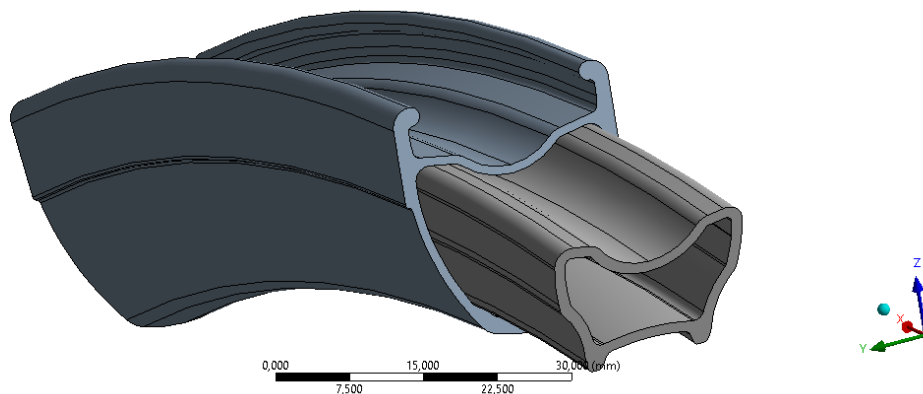
MKP analýza byla provedena v softwaru ANSYS Workbench 17.2. Cílem analýzy bylo zjištění napětí na spojce a ráfku, vyvolané uložení spojky s přesahem. Dále byla zjištěna změna napětí vlivem tahu od výpletu a nahuštění pneumatiky na 2,5 barů. Nejprve byl zvolen druh analýzy – *Static structural*. Poté byly nastaveny materiálové parametry hliníkové slitiny EN AW 6082 T6, která je použita jak pro ráfek, tak pro spojku. Parametry důležité pro výpočet jsou zaznamenány v tabulce 1.

Tabulka 1 - Parametry důležité pro výpočet

Označení	Hustota	Modul pružnosti	Poissonovo číslo	Teplota okolí
	$\rho$	v tahu E	$\mu$	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[-]	[°C]
EN AW 6082 T6	2770	70 000	0,33	22

Geometrický model lisovaného spoje zachycuje pouze část ráfku, kde se nachází spoj. Model zahrnuje oba konce ráfku, na obr. 1 je však pro názornost zobrazen jen jeden.

Geometry  
8. 5. 2017 14:45



Obrázek 1 - Geometrický model

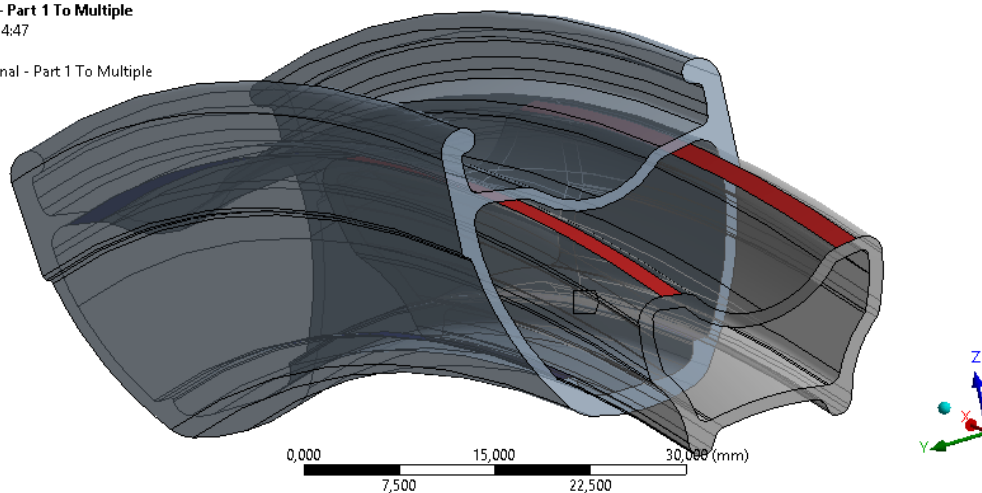
Poté byly nastaveny kontakty spojky s ráfkem. Spojka je v ráfku uložena s přesahem, přičemž byla využita dvě různá uložení – R6/g5 a K6/k5. Pro obě uložení byl vybrán kontakt *frictional*, který simuluje tření stykových ploch. Obě uložení mají různou velikost maximálního přesahu – u uložení R6/g5 je velikost přesahu 0,025 mm a u uložení K6/k5 je velikost maximálního přesahu 0,022 mm. Tyto hodnoty tedy byly použity jako velikost přesahů. Koeficient smykového tření mezi dvěma hliníkovými součástmi dle [21] pohybuje v rozmezí  $f = 1,05 \div 1,35$ . Ve skutečnosti má spojka i ráfek velmi hladký povrch a povrch spojky je navíc eloxovaný, hodnota součinitele bude tedy pravděpodobně menší,



než jsou hodnoty uvedené v literatuře. Vzhledem k tomu, že akademická verze použitého softwaru neumožňuje překročení hodnoty  $f = 0,2$ , byla použita tato hodnota koeficientu. Tato skutečnost způsobuje zmenšení přesnosti celé analýzy.

Frictional - Part 1 To Multiple  
8. 5. 2017 14:47

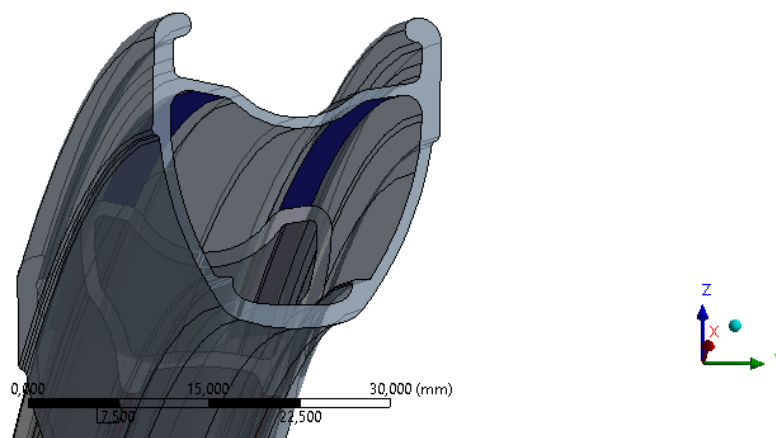
Frictional - Part 1 To Multiple



Obrázek 2 – Horní kontakt - spojka - uložení R6/g5 shora (červená plocha – styková plocha spojky)

Frictional - Part 1 To Multiple  
12. 5. 2017 19:13

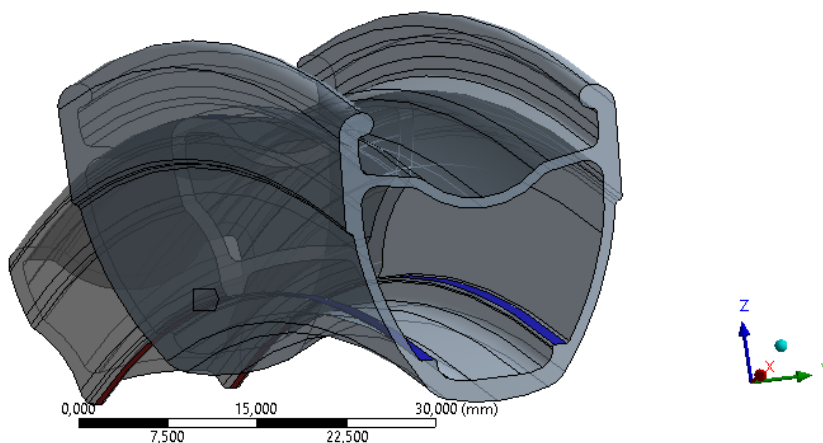
Frictional - Part 1 To Multiple



Obrázek 3 - Horní kontakt - ráfek - uložení R6/g5 (modrá plocha – styková plocha ráfku)

Frictional - Part 1 To Multiple  
12. 5. 2017 19:03

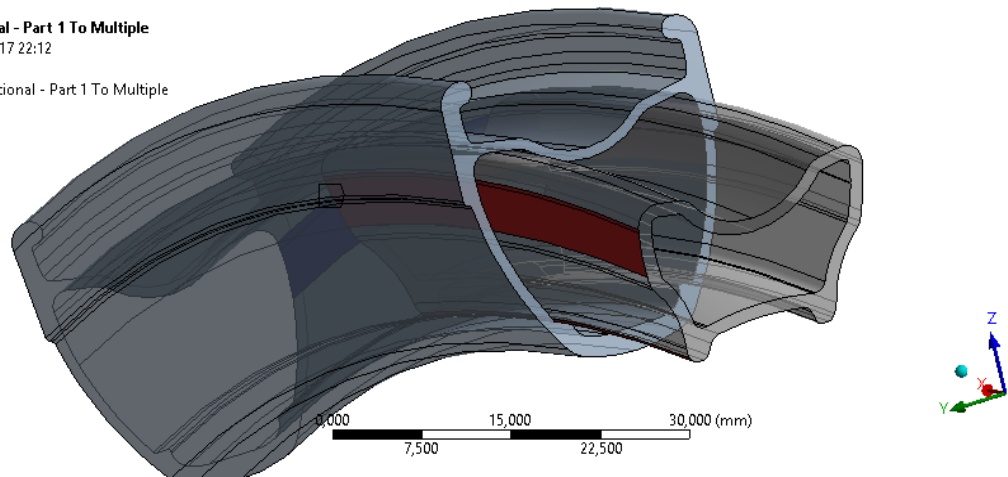
Frictional - Part 1 To Multiple



Obrázek 4 - Spodní kontakt - uložení R6/g5 (červená plocha – styková plocha spojky, modrá plocha – styková plocha ráfku)

Frictional - Part 1 To Multiple  
12. 5. 2017 22:12

Frictional - Part 1 To Multiple

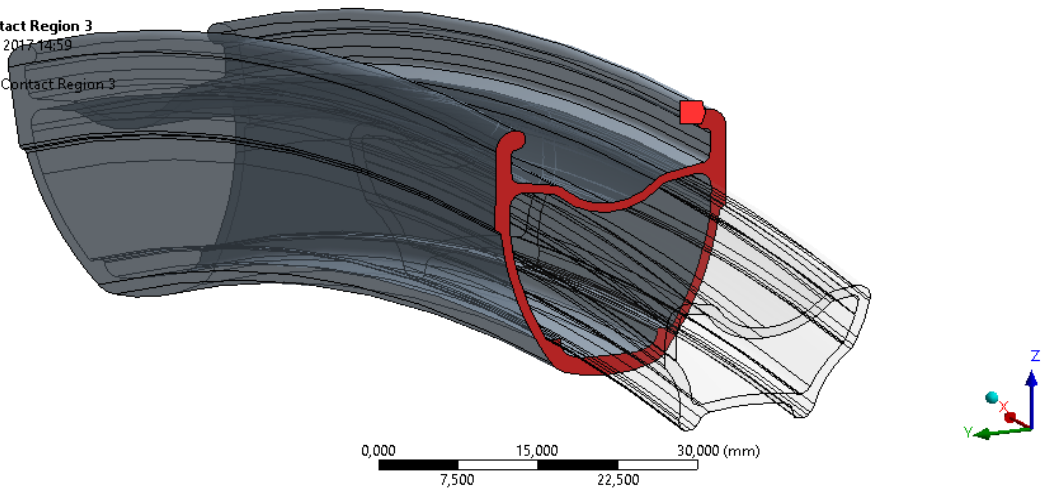


Obrázek 5 - Kontakt - uložení K6/k5 (červená plocha)

Ke kontaktu dochází také mezi oběma konci ráfku. Typ tohoto kontaktu byl vybrán *bonded*, který simuluje lepený spoj. Zde vzniká další nárůst nepřesnosti – ve skutečnosti dochází při přitlačení obou konců ráfku k sobě ke svaření za studena.

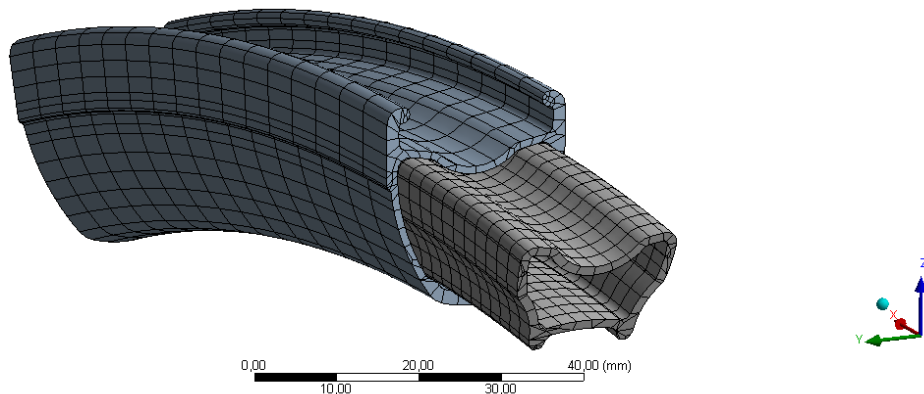
Contact Region 3  
8. 5. 2017 14:59

Contact Region 3



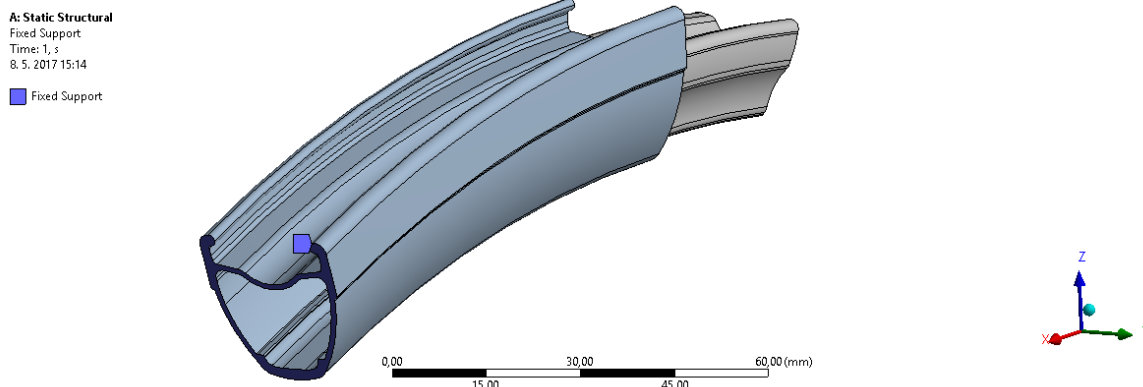
Obrázek 6 - Kontakt konců ráfků (červená plocha)

Dalším krokem bylo nastavení sítě. Pro spojku byla použita automaticky vygenerovaná síť, zjemněná na velikost elementu 3 mm. Na ráfek byla použita síť *Sweep Method*. Síť má celkem 28980 uzlů a 4992 elementů. Vysítovaný model zachycuje obr. 7.



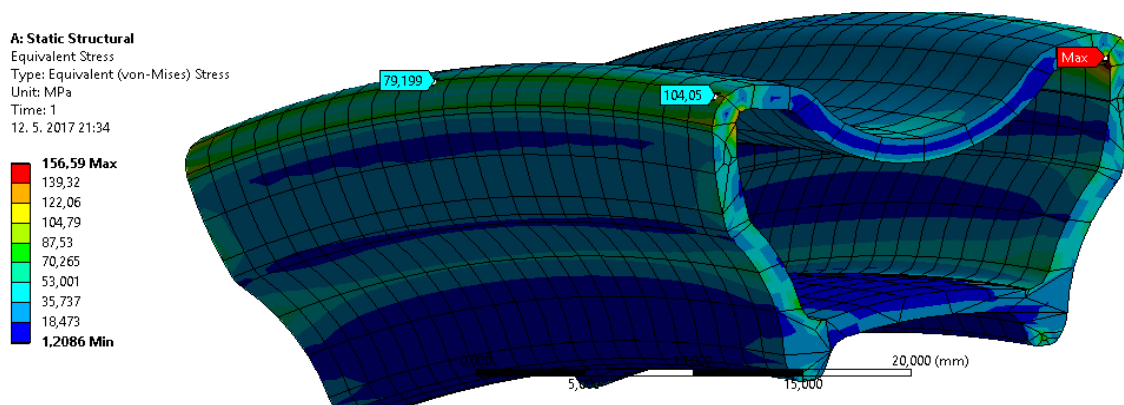
Obrázek 7 - Síť modelu

Dále byly nastaveny okrajové podmínky. K zafixování polohy části ráfku byla použita vazba *fixed support*. Ta byla umístěna na konce obou částí ráfků. Uchycení je zobrazeno na obr. 8.

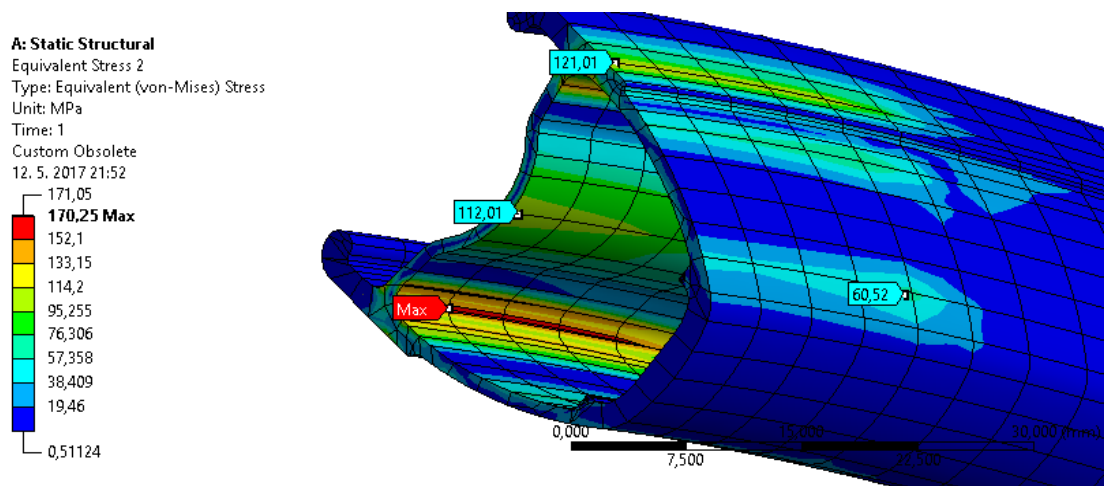


Obrázek 8 - Vazba *fixed support* (modrá plocha)

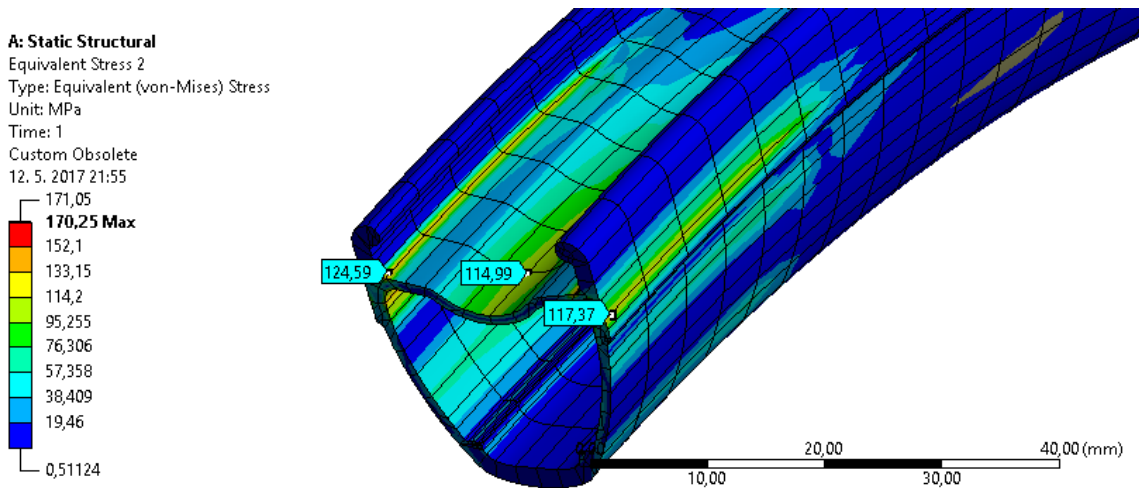
Výsledkem analýzy bylo zjistit, jaké vznikne na spojce napětí v důsledku jejího uložení s přesahem. K tomu byla využita metoda řešení *Equivalent Stress*. Bylo zjištěno, že spojka dosahuje maximálního napětí 157 MPa (obr. 9). Napětí v ráfku pak dosáhlo maximální hodnoty 171 MPa (obr. 10 a 11).



Obrázek 8 - Napětí spojky

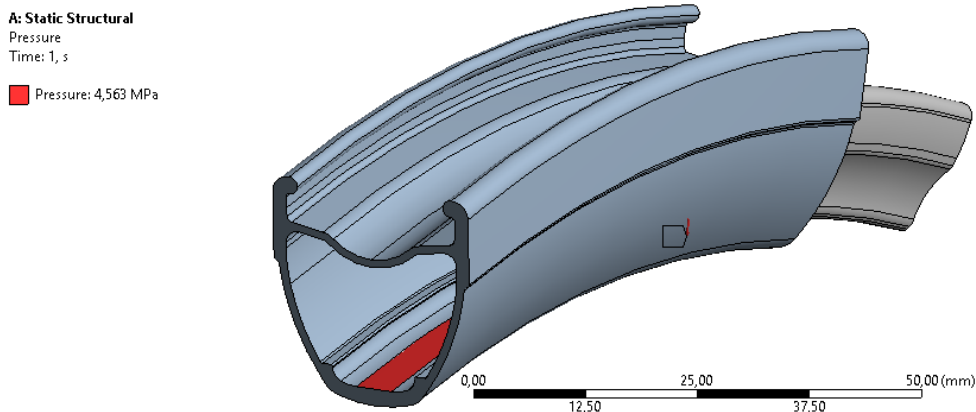


Obrázek 9 - Napětí ráfku – pohled 1

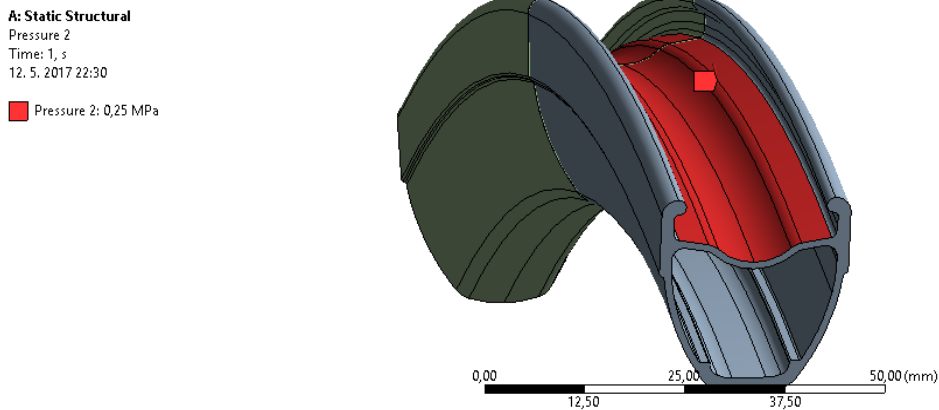


Obrázek 10 - Napětí ráfku – pohled 2

Dále byla zjištěna změna napětí na spojce vlivem předpětí z výpletu a nahuštění pneumatiky na 2,5 barů (0,25 MPa). Síla z paprsků výpletu byla nahrazena tlakem (*Pressure*)  $p_v = 4,563$  MPa, vypočteným v rovnici 13. Působíště tlaku výpletu je patrné z obr. 11, plochy ráfku, na které působí tlak z duše zobrazuje obr. 12.

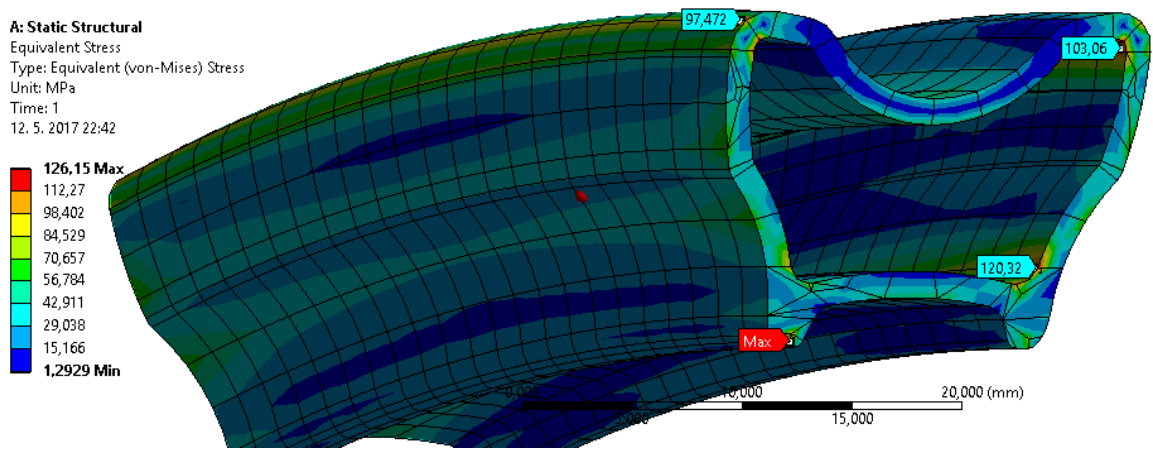


Obrázek 11 - Působíště tlaku výpletu (červená plocha)

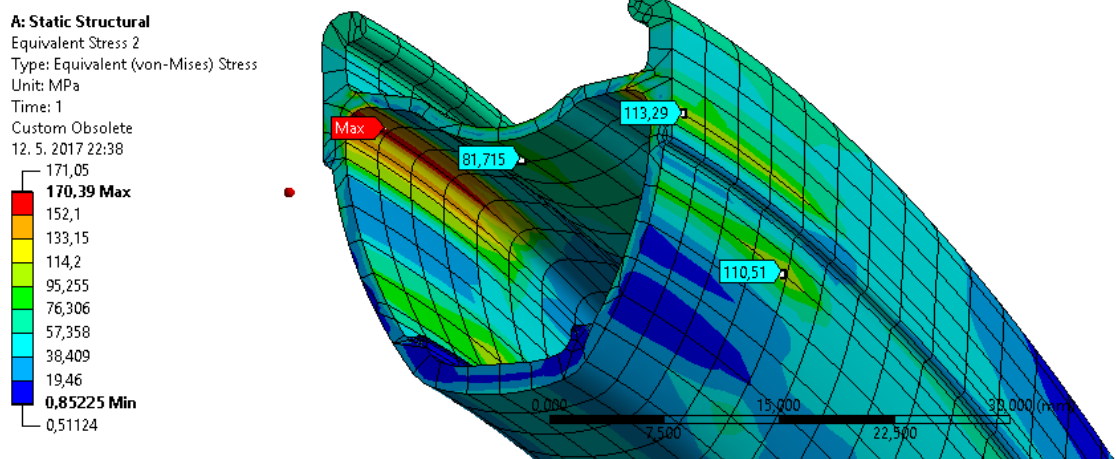


Obrázek 12 - Plochy ráfku, na které působí tlak z nahuštění duše (červená plocha)

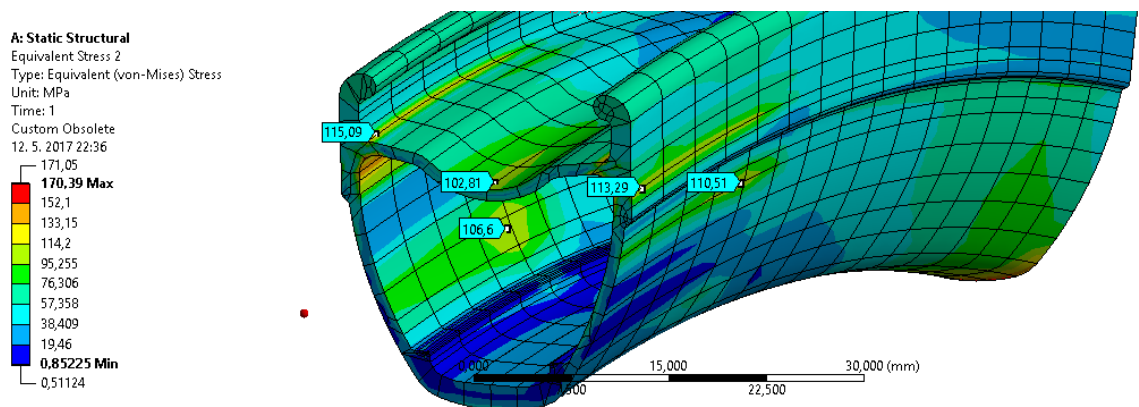
Maximální napětí na spojce vlivem tahu výpletu a tlaku nahuštění pneumatiky na 2,5 barů kleslo, a to z 157 MPa na 126 MPa (obr. 13). Nevyšší hodnoty napětí ráfku zůstaly stejné – 171 MPa (obr. 14 a 15).



Obrázek 13 - Napětí spojky s vlivem tlaku výpletu a tlaku nahuštění pneumatiky na 2,5 barů



Obrázek 14 - Napětí ráfku - s vlivem tahu výpletu a tlaku nahuštění pneumatiky na 2,5 barů -pohled 1



Obrázek 15 - Napětí ráfku - s vlivem tahu výpletu a tlaku nahuštění pneumatiky na 2,5 barů – pohled 2