

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Amatérský sport – kolečkové brusle

Autor: **Jiří ŠUCH**

Vedoucí práce: **Ing. Eva KRÓNEROVÁ, Ph.D.**

Akademický rok 2011/2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří ŠUCH**  
Osobní číslo: **S11B0449P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**  
Název tématu: **Amatérský sport - kolečkové brusle**  
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Zpracovat rešerši na téma in-line bruslení. Nové trendy v tomto sportu. Návrh vlastní design (konstrukci) in-line brusle a zpracovat MKP výpočty pro zatížení rámu brusle. Zhodnotit ekonomický a technický přínos vlastního návrhu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Zpracování rešerše o in-line bruslení a stávajícím stavu bruslí.
2. Návrh nového řešení bruslí a výběr vhodné varianty.
3. Analýza vlastností vybrané varianty.
4. Zhodnocení a závěr.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

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

**HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.** Příručka strojního inženýra: Obecné strojní části 2.  
**Praha: Computer Press, 2000**


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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Eva Krónerová, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Eva Krónerová, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2011**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**

  
Doc. Ing. Jirí Staněk, CSc.  
děkan



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

V Plzni dne 19. září 2011

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Such	Jméno Jiří	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	Stavba výrobních strojů a zařízení		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Krónerová, Ph.D.	Jméno Eva	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	Nehodící se škrtně- te
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Amatérský sport – kolečkové brusle		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	45	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	35	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce obsahuje nový konstrukční návrh kolečkové brusle. Navrhl jsem tři konstrukční varianty a jednu detailně rozpracoval. Tato varianta obsahuje vázání mezi botou a rámem kolečkové brusle. Nový rám kolečkové brusle jsem zkontroloval na zatížení v CAD programu metodou konečných prvků. Přínosem této práce je vyšší bezpečnost na kolečkových bruslích.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">In-line, brusle, ložisko, rám, bota, vázání, mechanismus, svar, brzda, metoda konečných prvků (MKP), síla</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Šuch	Name Jiří	
<b>FIELD OF STUDY</b>	Design of Manufacturing Machines and Equipment		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Krónerová, Ph.D.	Name Eva	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Amateur sports – roller skates		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2012
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	45	<b>TEXT PART</b>	35	<b>GRAPHICAL PART</b>	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	<p>This bachelor work contains a new construction concept of an inline skate. I have suggested three construction alternatives and one of them itemized. This one includes a special binding between the shoe and the skate frame. The new frame was tested in CAD application for load as usual with finite element method (FEM). The gains idea of this work is to improve the safety during inline skating.</p>
<b>KEY WORDS</b>	<p>In-line, roller skates, bearing, frame, shoe, binding, mechanism, weld, brake, finite element method (FEM), force</p>

## Přehled použitých zkratk a symbolů

RSROA	roller skating rink operators association
GPS	global positioning systém
Al	aluminium
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
PUR	polyuretan
RBE2, CBEAM, CQUAD4, CQUAD8	typy segmentů sítě
DOF1-6	směry a rotace pro osy $x$ , $y$ , $z$
HMH	Hubert, von Mises, Hencky
ABEC	annular bearing engineering committee

průměr geometrický	$d$	$[m]$
rychlost	$v$	$[m/s]$
dráha	$s$	$[m]$
čas	$t$	$[s]$
počet senzorů	$x$	$[-]$
počet signálů	$z$	$[-]$
hmotnost	$m$	$[kg]$
síla	$F, T, G$	$[N]$
napětí	$\sigma$	$[Pa]$
zrychlení	$a$	$[m/s^2]$
poloměr	$R$	$[m]$
součinitel tření	$f$	$[-]$
součinitel adheze	$f_0$	$[-]$
součinitel bezpečnosti	$S_f$	$[-]$
gravitační zrychlení	$g$	$[m/s^2]$
tlak	$P$	$[Pa]$
počet koleček	$p_k$	$[-]$
plocha	$S$	$[m^2]$
třecí úhel	$\varphi$	$[^\circ]$
utahovací moment	$M$	$[N*m]$
stoupání závitu	$p_h$	$[m]$
trvanlivost ložiska	$L_{hL}$	$[s]$
otáčky	$n$	$[ot./s]$

## Obsah

1. Cíl práce .....	2
2. Rešerše o in-line bruslení a stávajícím stavu bruslí .....	3
2.1. Historie bruslí <sup>[1]</sup> .....	3
2.2. Současný stav brusle.....	4
2.2.1. Dělení in-line bruslí dle zaměření <sup>[2]</sup> .....	4
2.3. Nové trendy brusle.....	6
2.3.1. Měření rychlosti a ujeté vzdálenosti na kolečkových bruslích .....	6
2.3.2. Keramická ložiska .....	7
3. Návrh nového řešení bruslí a výběr vhodné varianty .....	8
3.1. Vlastní konstrukce in-line brusle .....	10
4. Analýza vlastností vybrané varianty .....	28
4.1. Výpočet rámu metodou konečných prvků .....	28
4.2. Výpočet síly potřebné k zastavení na určité dráze. ....	33
4.3. Rozložení sil působící na vázání. ....	35
4.4. Výpočet šroubů pro vázání. ....	37
4.5. Výpočet stávající výdrže ložisek. ....	39
5. Zhodnocení a závěr .....	42
6. Použitá literatura .....	43
6.1. Knižní publikace.....	43
6.2. Internetové odkazy .....	43
7. Použitý software.....	43
8. Seznam obrázků .....	44
9. Seznam tabulek .....	45



## **1. Cíl práce**

Toto téma bakalářské práce jsem si vybral, jelikož je in-line bruslení mým koníčkem. In-line bruslení se stává stále více populárním sportem. S touto stoupající popularitou vznikají nové in-line bruslicí okruhy, nová výcviková centra a roste prodej in-line bruslí. V této práci bych chtěl in-line brusli popsat a navrhnout její inovační prvky, které by především zpříjemnily její použití. Každý z nás, kdo si někdy in-line bruslení vyzkoušel, ví, že hlavním problémem bylo mimo jiné zejména zastavení. Tento a jiné problémy se budu snažit eliminovat konstrukční změnou celé in-line brusle.

## 2. Rešerše o in-line bruslení a stávajícím stavu bruslí

### 2.1. Historie bruslí <sup>[1]</sup>

Nejstarší dochované zprávy o kolečkových bruslích se datují po roce 1700. Zimní bruslení již v této době bylo populární. Snaha bruslit v letních obdobích přivedla neznámého vynálezce na myšlenku upevnění dřevěné konstrukce z trámků a obručí na svou letní obuv.

Další zprávy jsou o Johnu Josephu Merlinovi, narozenému v Belgii roku 1735. Byl to známý výrobce hudebních nástrojů a také vynálezce různých mechanických přístrojů. Jedním z nich byl i pár dřevěných bruslí určených k pohybu po malých kovových kolečkách. První kolečkové brusle byly napodobeninami ledních bruslí. Podobně jako nůž u ledních bruslí, také kolečka byly v jedné řadě, tedy „in-line“. Byly usazeny v dřevěné destičce, která se připevňovala k noze koženými pásky. Kolečka byla dřevěná, kovová nebo ze slonoviny.

Dalším vynálezcem byl Angličan Robert John Tyres, který v roce 1823 vymyslel předchůdce dnešních bruslí takzvané Rolitos. Tyto brusle se používaly v berlínské opeře.

Kolem roku 1840 bylo kolečkové bruslení populární v Německu. Například v Berlíně byl bar, ve kterém obsluhovala mladá děvčata na kolečkových bruslích.

V roce 1863 sestrojil Američan James Plimptom kolečkové brusle se dvěma kolečky vpředu a se dvěma vzadu. Dnes jim říkáme „quads“. Ve své době byly mnohem populárnější než „in-line“ pro větší stabilitu, bezpečnost i funkčnost. Byly to totiž první brusle, na kterých se dalo opravdu zatáčet nebo jezdit pozadu.

Další výrazný rozvoj kolečkových bruslí byl především po vynalezení kuličkového ložiska v roce 1884. Na přelomu století se jízda na kolečkových bruslích stává stále populárnější zápravou. Během 20. let se začíná jízda na kolečkových bruslích rozdělovat do různých disciplín a zvyšuje se také počet soutěží. Během dalších let bylo otevřeno několik veřejných kluzišť a bruslařských ploch.

V roce 1937 skupina majitelů sálů pro jízdu na kolečkových bruslích vytvořila sdružení pro podporu jízdy na kolečkových bruslích a ustanovila obchodní směrnice pro bruslařské kluby. Vzniká asociace RSROA (Roller Skating Rink Operators Association).

Kolem roku 1960 zásobovala firma Chicago Skate Company trh in-line bruslemi. Tyto brusle byly podobné těm dnešním, ale byly méně stabilní, málo komfortní a měly nefunkční brzdu. V roce 1980 narazil Scotty Olsen v Minnesotě ve sportovním bazaru na pár jejích in-line bruslí a uvědomil si, že by to byl dobrý prostředek pro trénování ledních hokejistů mimo sezónu. Brusle začal vylepšovat zkrácením rámu, posunutím koleček k sobě pod brusli a zdokonalením patní brzdy. Po dvěstěletém vývoji začaly být in-line brusle životaschopné. Olsen rozjel malou výrobu, která postupně přerostla ve firmu Rollerblade. V roce 1984 firmu prodal a noví majitelé začali s celosvětovým prodejem.



Obr. 1 Historická brusle <sup>[1]</sup>

## 2.2. Současný stav brusle

Kolečkové brusle jsou druhem obuvi na kolečkách. Jejich hlavním cílem je uplatnění ve sportu. Nyní jejich tendence popularity stále více roste.

Stávající brusle má většinou konstrukci z hliníkového rámu, ve kterém jsou uložena čtyři pogumovaná kolečka různé tvrdosti dle použití. Každé z těchto koleček má dvě ložiska. Za posledním kolečkem na jedné z bruslí, zpravidla pravé, se nachází gumová brzda, jejíž účinnost při brzdění není z hlediska bezpečnosti optimální. Na in-line rámu je připevněna botička, která udržuje nohu v optimální poloze pomocí tkaniček v kombinaci s přezkami.

### 2.2.1. Dělení in-line bruslí dle zaměření <sup>[2]</sup>

- hokejové:

Tyto brusle vycházejí ze své lední varianty, kolečka jsou menší, často mají houpací rám „rockering“, který umožňuje rychlé změny směru.

- rychlobruslení:

Závodní brusle je typická svou nízkou botou vyráběnou z karbonu, která je tvarována přímo na nohu závodníka. Na botu je připevněn dlouhý rám. Tento rám je vyroben ze slitiny hliníku AL7075. Rám je možné vzhledem k botě posouvat horizontálně i vertikálně. Rámy se liší: délkou, výškou a druhem koleček. Nejpoužívanější rámy jsou pro 4 kolečka průměru 100 [mm]. Kolečka jsou vyráběna z několika vrstev urethanu, který má ideální jízdní vlastnosti. Dříve se používalo 5 koleček menšího průměru 80 – 84 [mm].



Obr. 2 Závodní brusle používaná pro rychlobruslení <sup>[3]</sup>

- freestyle:

Tyto brusle jsou typické krátkým rámem a menšími kolečky. Brusle se používá pro slalom a ježdění v městské zástavbě.

- agresivní:

Poznají se podle pevné skeletové boty a malých, tvrdých koleček. Jsou vhodné na skákání a provádění různých akrobatických triků na uměle vytvořených překážkách.

- speciální:

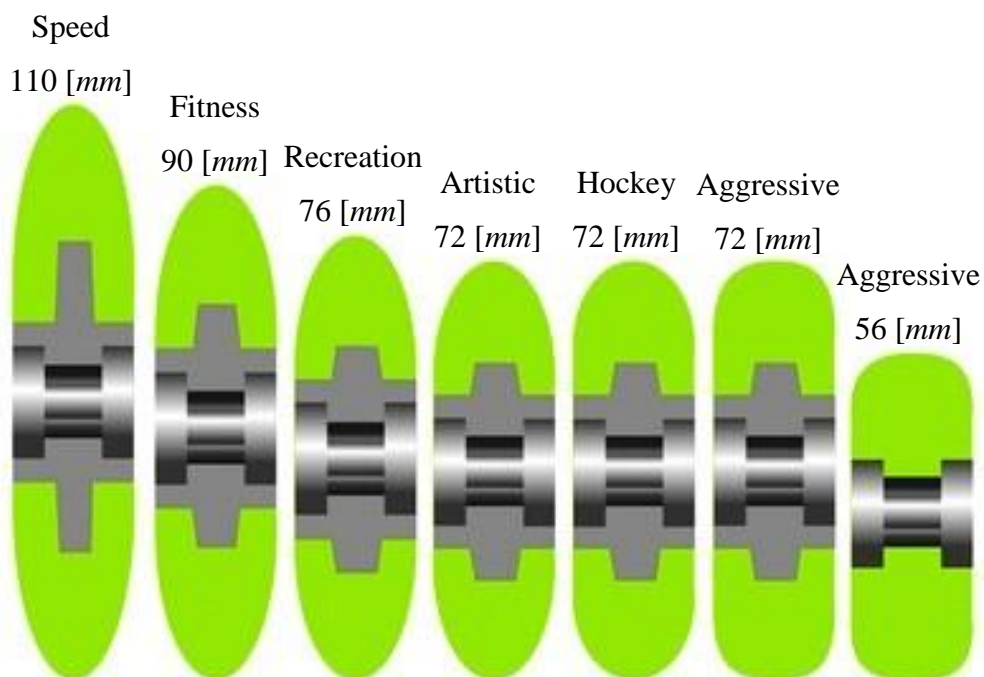
Do této kategorie se řadí ostatní brusle pro méně rozšířené disciplíny jako je sjezd, alpine slalom a další. Brusle na in-line slalom mají delší rám, který je osazen pěti kolečkami o průměru 80 - 84 [mm], bota je vyšší, podobná botám na sjezd, má několik přezek pro maximální pevnost a sevření nohy.

- fitness a rekreační:

Jedná se o pohodlné brusle na kondiční jízdu. Někteří výrobci již používají velká kolečka i v této kategorii, což je výhodné pro překonávání drobných nerovností. Brusle je vybavena patní brzdou. Cena této brusle se pohybuje nejčastěji v rozmezí 2 000 – 4 000 [Kč].



Obr. 3 Brusle pro fitness jízdu [3]



Obr. 4 Různé typy koleček dle zaměření in-line bruslení [4]

## 2.3. Nové trendy brusle

### 2.3.1. Měření rychlosti a ujeté vzdálenosti na kolečkových bruslích

Měření rychlosti na kolečkových bruslích je možné zajistit několika způsoby. Mezi nejpoužívanější typy měření patří:

- Měření počtu otočení kolečka

Tento systém funguje analogicky jako u tachometru na jízdní kolo. Pomocí senzoru a elektronického obvodu je zaznamenán počet otočení kolečka  $n$  za určitou dobu. Pokud máme definovaný průměr kolečka, můžeme rychlost zjistit ze vztahu:  $v = \frac{s}{t} [m/s]$ , kde  $s$  je ujetá dráha za určitou dobu  $t$ . Dráhu  $s$ , lze vypočítat:  $s = \pi * d * n [m]$ . Pokud rotační součást má více symetricky rozmístěných senzorů  $x$ , dráhu spočteme:  $s = \pi * d * \frac{z}{x} [m]$ , kde  $z$  je součet zaznamenaných signálů.

Toto měření má několik nevýhod. Do brusle musíme koupit speciální kolečko se senzorem (Obr. 5), které má většinou odlišné vlastnosti od ostatních koleček. Dále je velikost kolečka velmi malá vzhledem k jeho poměrně velkému úbytku během bruslení. Tímto se postupně zpřesňuje měření aktuální rychlosti a ujeté vzdálenosti. Toto lze samozřejmě řešit kalibrací tachometru podle aktuálního průměru kolečka. Měření je ale také nepřesné díky technice bruslení. Při jízdě se totiž bruslař musí odrazit a to udělá natočením brusle do písmene V. Měření je tedy z pohledu bruslaře částečně zkresleno.

Výhodou tohoto systému je jeho nižší cena oproti získávání a následnému zobrazování přepočítaných dat z GPS systému.



Obr. 5 Speciální kolečko měřící rychlost in-line brusle se zobrazením na hodinkách [5]

- Měření pomocí GPS systému

Zkratka GPS znamená Global Positioning System (globální polohový systém). Tento systém dokáže určovat polohu s přesností do 10 [m]. Pokud si bruslař pořídí sportovní hodinky, které umí využít GPS systému, může bruslař zaznamenávat jak aktuální rychlost, ujetou vzdálenost, tak i například trasu, kde bruslil. Nevýhodou je pak vyšší pořizovací cena a dostupnost signálu GPS, který nenajdeme hlavně v uzavřených místnostech. Výhodou je široká možnost využití i pro jiné sporty jako je například lyžování, cyklistika atd.

### 2.3.2. Keramická ložiska

Na vývoji kolečkových bruslí mají jeden z největších podílů ložiska. S vývojem keramického ložiska se jízda stala rychlejší a pohodlnější. Toto ložisko má kuličku vyrobenou z keramiky a obal vyrobený z nerezové oceli nebo titanu. Klec ložiska je vyrobena z bílého polyamidu. Tato kombinace vytváří mnohem menší stupeň tření přibližně o 49 % než tomu je u standardních ložisek, které mají vyrobenou kuličku i obal z oceli. Nespornou výhodou je, že ložisko nepodléhá korozi. Keramika jako taková má také vysoký stupeň odolnosti. Samotné ložisko tedy nemusí mít žádný obal, který zabraňuje vniknutí nečistot a vody do ložiska, a který zvyšuje tření mezi pohyblivou a stacionární částí ložiska. V případě vniknutí nečistot je možné ložiska propláchnout vodou a dále používat. Nevýhodou těchto ložisek je jejich vysoká cena (8 400 [Kč]), která je skoro shodná s pořizovací cenou kolečkové brusle na rychlobruslení. Proto ložiska budou vyhledávána hlavně ze strany profesionálního použití do rychlobruslařského typu kolečkové brusle, kde je nejdůležitějším faktorem rychlost bruslaře.



Obr. 6 Keramické ložisko powerslide cronitect <sup>[6]</sup>

### 3. Návrh nového řešení bruslí a výběr vhodné varianty

V této bakalářské práci se zabývám zdokonalením konstrukce kolečkové brusle, hlavně z hlediska problému s jejím zpomalením (zastavením).

Tento problém byl zachycen již v historii, kdy v roce 1760 John Joseph Merlin najel na svých kolečkových bruslích s hudebním nástrojem v ruce do velkého zrcadla, které se roztříštilo. Tuto příhodu okomentoval výrokem „Rozjet se nikdy nebyl problém, ale zastavit ano“.<sup>[1]</sup> Přes neustálé zdokonalování kolečkové brusle hlavně z hlediska designu a pohodlí botičky je tento důležitý faktor stále ještě zanedbáván. Dále je v dnešní době kvalita stávajících ložisek na velmi vysoké úrovni, proto se i z kopce rozjede brusle mnohem rychleji, než tomu bývalo dříve.

Zastavení s použitím stávající patní brzdy ztrácí bruslař kontakt se třemi prvními kolečky, což má za následek ztrátu rovnováhy a téměř znemožňuje ovládnutí směru. Navíc účinnost brzd při nedostatečném zatížení je velice malá. Proto většinou bruslaři tuto brzdu nevyužívají a učí se jiným způsobům účinnějšího zabrzdění. Každý z těchto těžkých způsobů má však za následek velké opotřebení ideálního tvaru koleček vlivem tření a za krátký čas je nutná jejich výměna, která není levnou záležitostí. Většinou tyto účinnější metody zastavování zvládají pouze profesionálové, kteří se in-line bruslení věnují každodenně.

Představa nového funkčního řešení, které by umožňovalo bezpečné zpomalení (zastavení), jak na rovině, tak i z kopce musí splňovat: dosavadní chod brusle a co nejméně omezit sportovce při jejím používání. Bruslař dosahuje rychlosti po rovině cca.: 18 [km/h]. Z kopce až 45 [km/h]. S použitím gumové brzdy se z rychlosti 20 [km/h] zastaví průměrně po 14,5 [m]. V případě jízdy z kopce tato vzdálenost neúměrně roste. Všeobecně je jízda na in-line bruslích z kopce velmi nebezpečná jak pro začátečníky tak středně pokročilé. Dnes lze bezpečně používat in-line brusle většinou jen na speciálně vyráběných okruzích, na které je třeba se nejprve dopravit. Samotná jízda na okruhu není tak příjemná, jako je tomu například na cyklostezkách vedených u řek, kde můžeme spatřit různé krásy přírody, a nejezdíme tak stále jedno a to samé kolečko dokola. Právě tyto cesty by šlo bezpečně využívat, pokud by brusle měla možnost zpomalení případně úplného zastavení. Musíme také brát ohled na to, že bruslař potřebuje zpomalit při jakékoli menší nerovnosti, kterou spatří. Kolečka, která mají obvykle průměr 80 [mm] se totiž mají tendenci o malou nerovnost „zasekávat“, což vede ke ztrátě rovnováhy bruslaře.

Při hledání nového řešení, jak splnit výše uvedená fakta, jsem vymyslel tři základní možnosti jak in-line brusle zastavit. Tyto jednotlivé varianty jsem postupně vyvíjel, aby byly co neúčinnější, nejlevnější na výrobu a pokud možno snadné pro údržbu. Varianty jsou určeny především pro začátečníky a středně pokročilé jezdce, kteří využívají in-line bruslení příležitostně.

#### První návrh:

První návrh jak in-line brusle zpomalit (zastavit) je v samotném brzdění všech koleček pomocí kotoučového systému. Tento systém bych si představoval ovládat na dálku pomocí dálkového ovladače, který by měl uživatel připevněn na opasku. Tím by uživatel nebyl omezen při samotném bruslení, jako kdybychom použili například vedení lanka bowdenem podél nohy. Brzda by mohla být jak hydraulická tak mechanická. Na jednotlivé písty by dále navazoval mechanismus, který by byl dálkově ovládnut pomocí malého motůrku.

Tento návrh brzdění by obnášel jistou změnu v postoji bruslaře při samotném brzdění do úplného zastavení. Změnou by bylo předsunutí jedné nohy před druhou, aby se eliminovala možnost přepadnutí uživatele. S tímto souvisí také plynulost systému, který by z počátku brzdění neměl dopustit silného sevření koleček. Pokud by uživatel jel z kopce, mohl by takový systém použít pro udržení bezpečné rychlosti lehkým přibrzdováním, u kterého si myslím, že by nebyla potřebná výše zmíněná změna postoje a neovlivnilo se tak případné ovládání in-line brusle.

#### Druhý návrh:

Ve druhém návrhu jsem pojal konstrukci z praktického hlediska použití. Na rám in-line brusle bych připevnil vázání, které by umožnilo oddělit rám in-line brusle s kolečky od boty. U tohoto systému bych kladl důraz na pevné spojení boty s rámem, rychlost upnutí a odepnutí boty a pohodlné chůze v rozpojeném stavu. Stávající systém zabrzdění pomocí zadní gumové brzdy by zůstal stejný. Pokud by uživatel potřeboval sjet prudký kopec nebo přejít špatný stav cyklostezky, rám s kolečky by jednoduše odepnul a kopec nebo překážku zdolal chůzí. Pokud by uživatel chtěl přesto jezdit na speciálním okruhu určenému k bruslení, odpadla by mu nutnost při cestování k okruhu nosit s sebou obuv na přezutí respektive nosit v batohu velké in-line brusle.

Dalším eventuálním rozšířením možnosti použití by mohlo být lední bruslení, kde by samotná bota zůstala stejná pro obě disciplíny (vlastnosti kolečkové obuvi jsou skoro shodné s vlastnostmi lední obuvi). V zimním období by pak stačilo vázání přemontovat na nový rám s ostřím pro lední bruslení. Opět by byl vyřešen problém s dopravou na lední plochy, která se řeší pomocí plastové krytky na ostří.

Teoreticky by zákazník mohl pořídit společnou variantu na in-line a lední bruslení levněji, než by tomu bylo u dosavadní samotné koupě každé z bruslí zvlášť. Samozřejmě s rozdílem výše uvedených praktických výhod spojených s používáním bruslí.

#### Třetí návrh:

Při posledním návrhu jak zastavit bruslaře jsem vycházel z představy ručně brzděného kočárku pro děti, kterého velmi často využívají ženy místo obyčejné procházky. Tímto jim odpadá jakýkoliv problém, jak se svojí rovnováhou, tak i s možností včasného zastavení, protože většina stávajících kočárků je brzděna obdobným způsobem jako u jízdního kola.

Doplňkem k jakémukoli typu in-line brusle by tedy byla konstrukce, která by vypadala jako zjednodušený kočárek (případně nákupní vozík) s velkými kolečkami a pevnou zadní osou. Tato konstrukce by byla opatřena například mechanickou lankovou brzdou.

Tento návrh by mohli využít zejména úplní začátečníci, kteří nemají zkušenosti ani s ledním bruslením. Tato pomůcka by ale nebyla pravděpodobně moc praktickou hlavně z hlediska její velikosti a pořizovací ceny. Časově by jí uživatel také využil pouze po dobu výcviku stability na bruslích. Proto by tato konstrukce byla spíše řešením pro půjčovny nebo výcviková centra, která jsou většinou u daného speciálního okruhu na in-line bruslení.

Dále se budu zabývat detailnějším rozpracováním druhého návrhu, který se mi jeví jako nejdélnější variantou a dále pak částečné realizaci konstrukce z prvního návrhu. Všechny ukázky modelů jsem modeloval pro pravou nohu, levá by byla pouze zrcadlovou kopií.

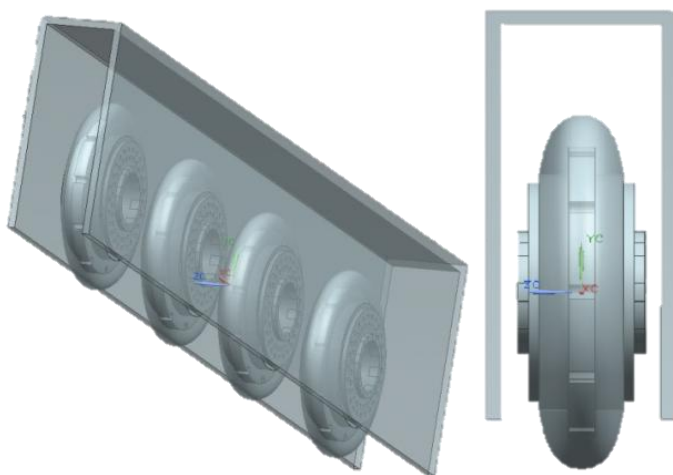


### 3.1. Vlastní konstrukce in-line brusle

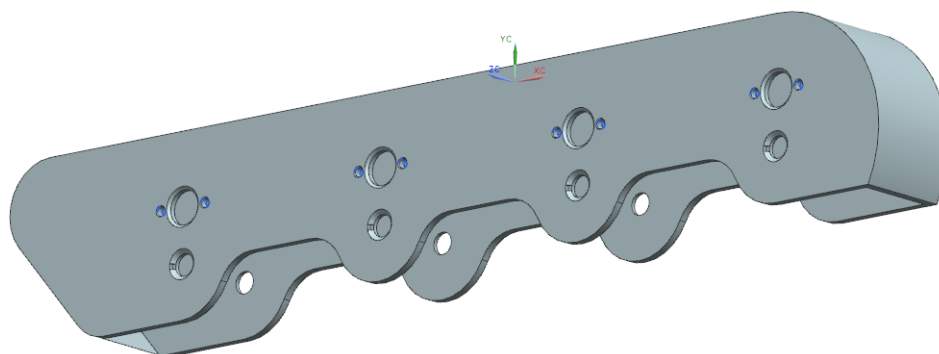
#### Rám brusle

U rámu in-line brusle je kladen hlavní důraz na jeho tuhost a hmotnost. Pro představu, kde bude místo pro písty brzdícího systému, vázání a kde by se mohlo provést designové zaoblení, jsem vycházel z nejjednodušší varianty rámu, který měl jednoduchý profil typu U (Obr. 7). Tento rám není rozhodně váhově nejlehčí a také jeho design není optimální. Dalším návrhem byl pozměněn hlavně design rámu (Obr. 8). Tento zaoblený rám bych vyrobil jako výpalek z plechu s jedním prolisem pro pojištění otevírací páky vázání (Obr. 9). Následně plech naohýbal (Obr. 10) a v rohových místech svařil (Obr. 11). Závěrem bych nechal vyvrtat a opracovat jednotlivé díry pro kolečka a případné písty, kvůli souososti, která by po naohýbání nemusela být dodržena (Obr. 12). Polotovarem pro výrobu rámu bych použil hliníkový plech Al 6061 tloušťky 3 [mm]. Přední a zadní část rámu jsem uzavřel z důvodu lepší tuhosti rámu jeho aerodynamiky a zamezení případného vnikání nečistot mezi kolečka.

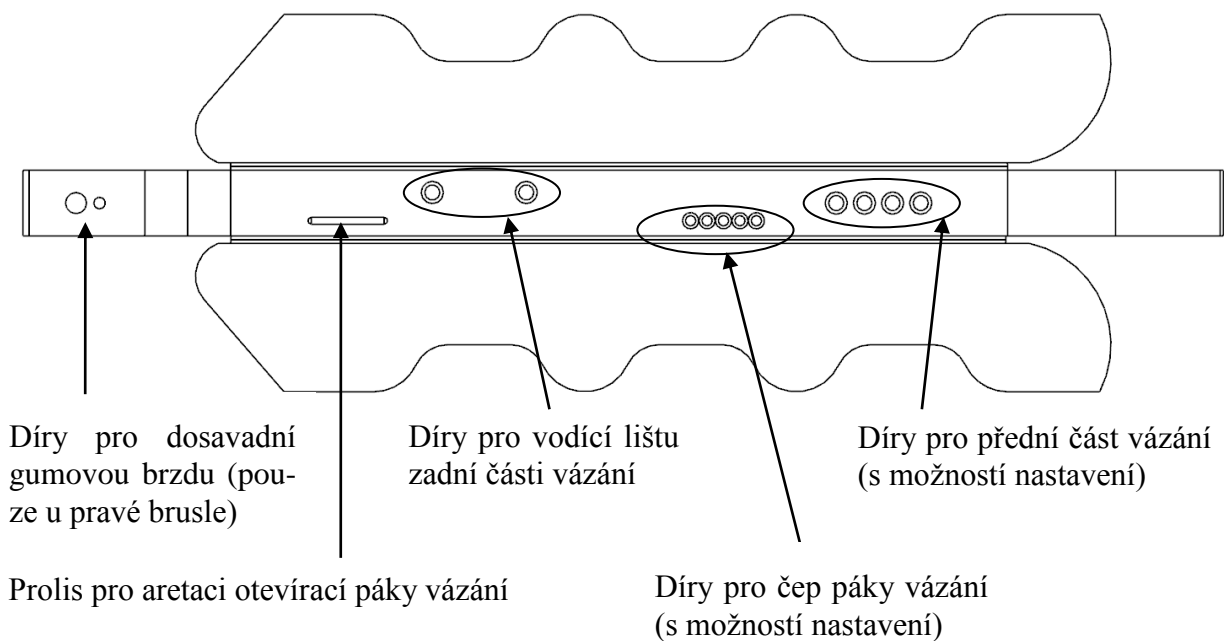
Hmotnost rámu můžeme ovlivnit různými odlehčeními. Tím ale ovlivníme i tuhost rámu. Proto je potřeba provést analýzu konečných prvků na stávajícím rámu, která nám odhalí místa, která nejsou příliš namáhána. Zvýšení tuhosti lze naopak provést různými prolisy, návarky, vzpěry, nebo jinou volbou materiálu a jeho tloušťky pokud chceme zachovat základní konstrukci rámu.



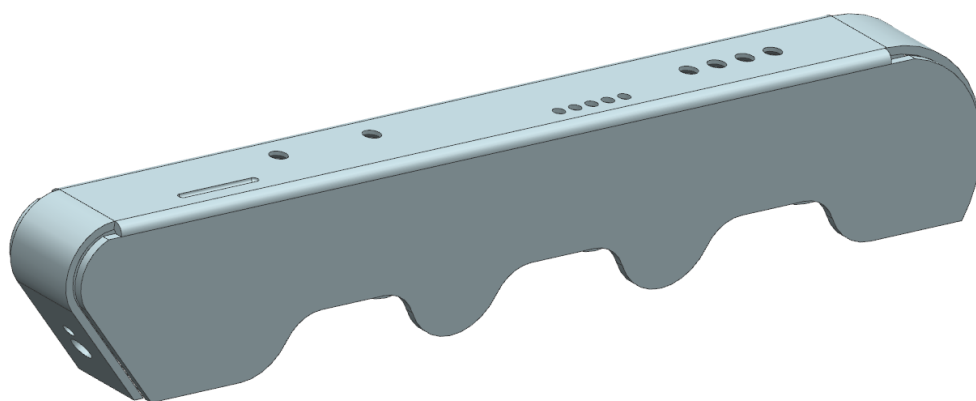
Obr. 7 První varianta rámu brusle



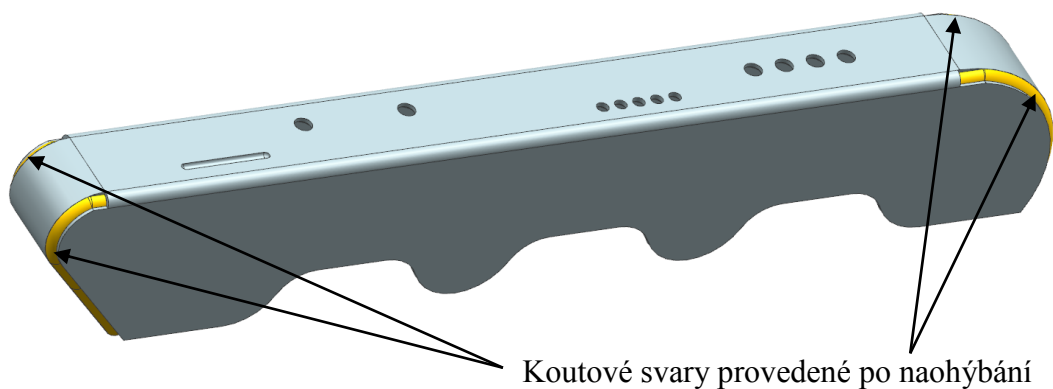
Obr. 8 Výsledný rám in-line brusle



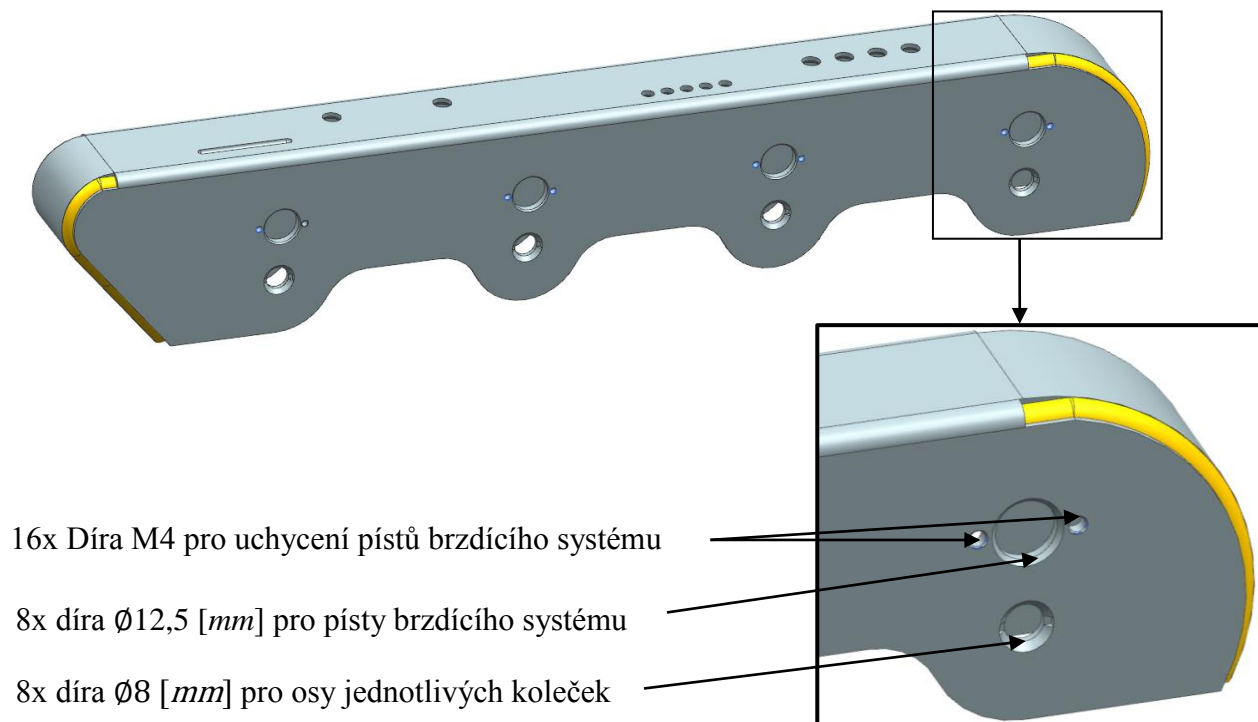
Obr. 9 Vypalek rámu in-line brusle z 3 [mm] hliníkového plechu



Obr. 10 Na-ohýbaný rám in-line brusle



Obr. 11 Svařenec rámu in-line brusle



Obr. 12 Závěrečné vyvrtání děr v rámu pro uchycení ostatních dílů in-line brusle

### Vázání in-line brusle

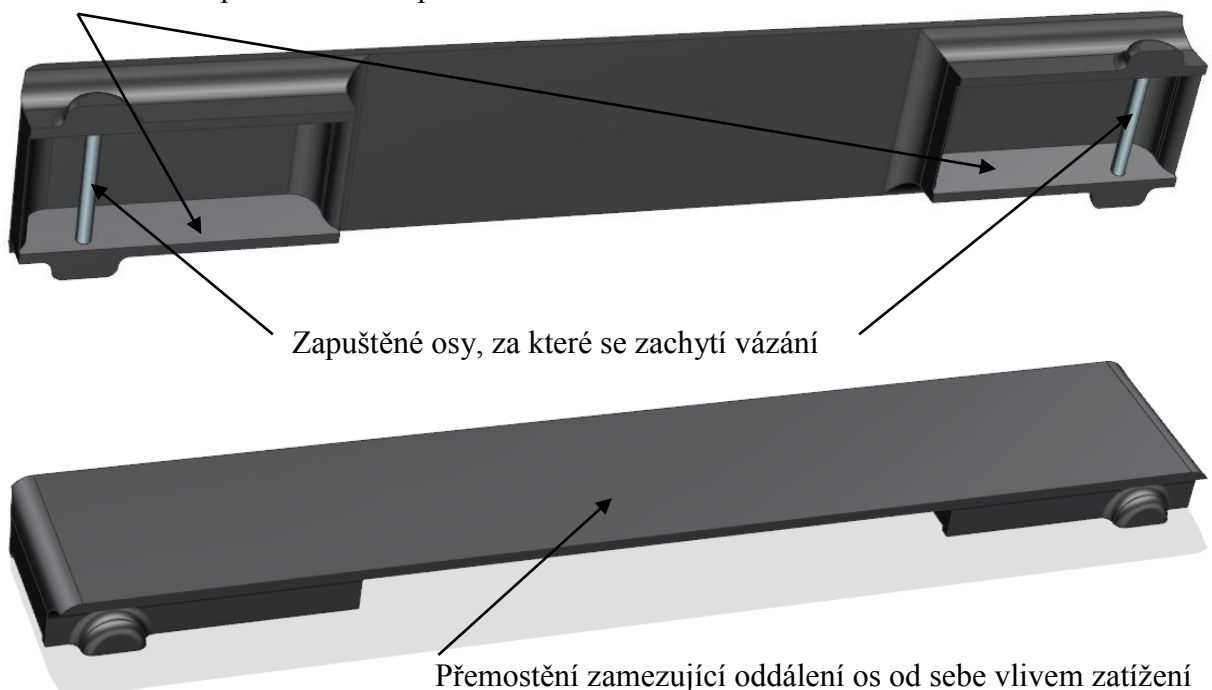
Při návrhu vázání jsem vycházel ze stanovených podmínek, které jsem si určil:

- 1) Pevné spojení boty s rámem s minimální vůlí → možnost nastavení předepnutí systému a provedené úkosy na styčných plochách pro sevření.
- 2) Pohodlná chůze v botě → zapuštěná konstrukce v podrážce boty.
- 3) Bezpečnost proti rozpojení systému za jízdy → Páka mechanismu směřující po směru jízdy s aretačním systémem proti samovolnému otevření.
- 4) Možnost použití pro více velikostí bot → umožnění posunutí mechanismu a případné jemné nastavení.
- 5) Zamezit usazování bláta a jiných nečistot v systému vázání na botě pro jeho funkčnost → provést úkosy stěn, zaoblení a nevolit malé prostory na upnutí.

Protože vázání spojuje botu a rám in-line brusle, který není výrazně delší než bota samotná, vázání nemusí mít systém, který při pádu bruslaře odpojí botu od rámu, jako tomu je například u vázání lyžařského.

Botu pro tento systém jsem zachoval stejnou s rozdílem její podrážky, kterou jsem vymodeloval. S touto podrážkou by byl pak dosavadní typ boty spojen klasickým způsobem (lepením a šitím). Bota in-line brusle vždy převyšuje kotník nohy, proto se nejvíce podobá vysokohorské obuvi. Vysokohorská bota se vyznačuje tuhou a protiskluzovou podrážkou. Podle toho jsem navrhl novou podrážku, kde by vložka pro vázání zajistila i funkci tuhostní a na celou tuto vložku by byla nastříknuta guma s výrazným dezénem. Tato vložka (Obr. 13) by mohla být vyrobena z laminátu nebo karbonu, který by podrážku vyztužil. Dále jsou v této vložce zapuštěny osy, za které se zachytí vázání. Tyto osy od sebe musí mít zaručenou vzdálenost i při zatížení, které se snaží osy od sebe oddělovat. Toto zajišťuje přemostění obou vložek. Výsledná podrážka je vidět na Obr. 14. Vložka v ní je zapuštěná 11 [mm] a celková výška podrážky pak činí 18 [mm].

Zkosené bočnice pod úhlem  $10^\circ$  pro omezení bočních vůlí

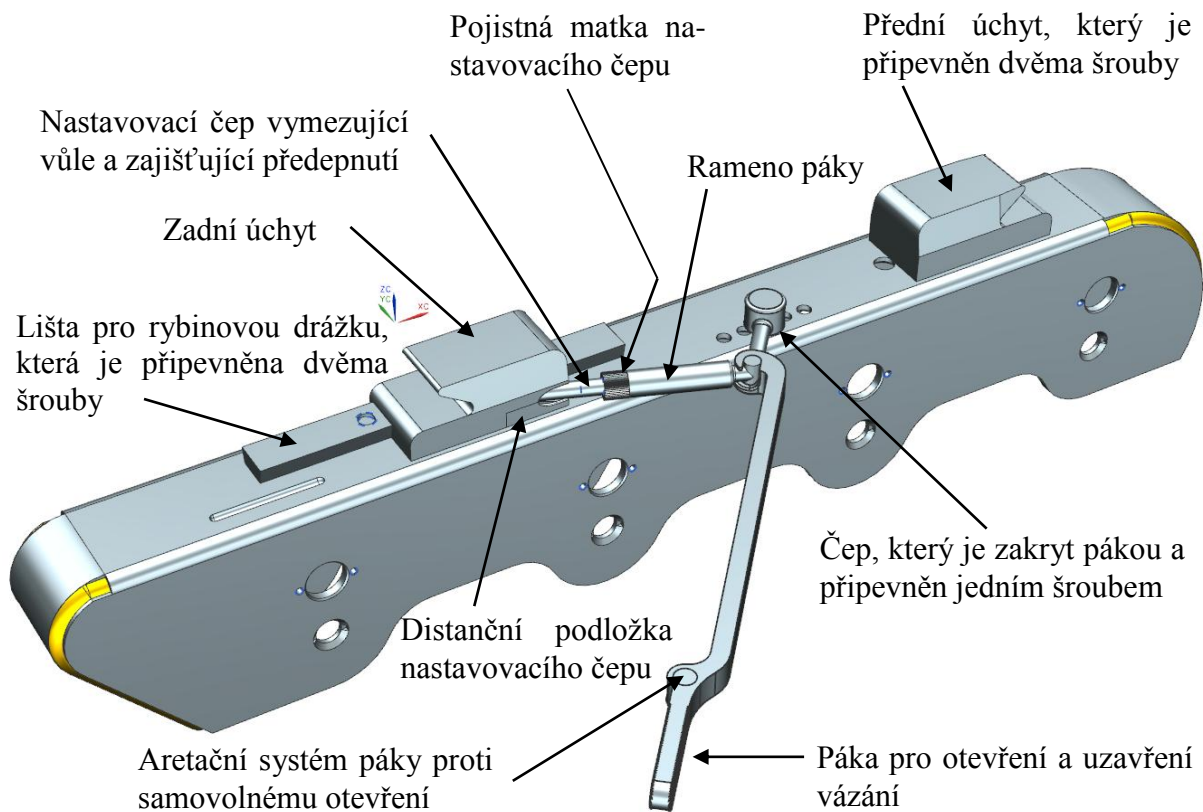


Obr. 13 Vložka podrážky zajišťující spojení boty a rámu in-line brusle



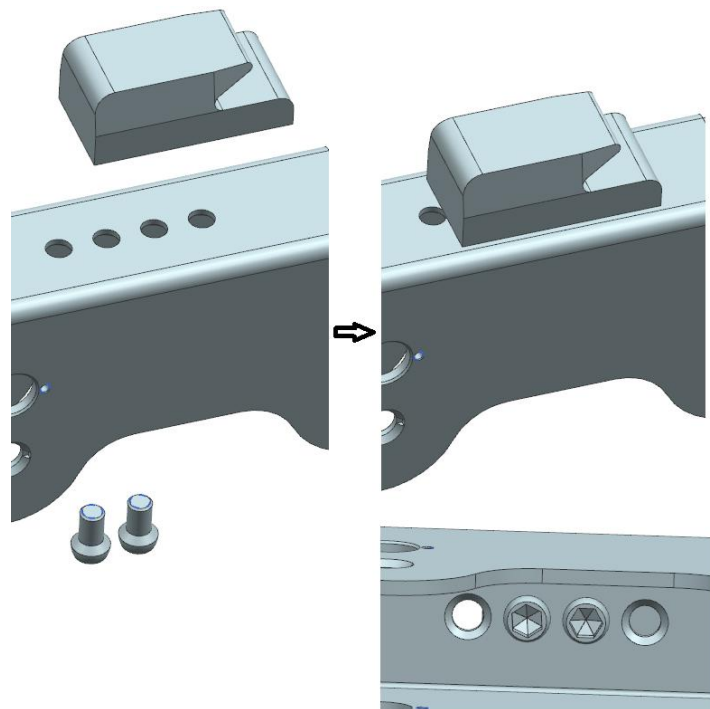
Obr. 14 Podrážka pro botu se systémem pro vázání

Samotný mechanismus vázání má celkem 17 dílů včetně potřebných šroubů. Jednotlivé části jsou popsány na Obr. 15. Přední část je zafixována dvěma šrouby. Zadní část se posouvá ve směru  $x$  po rybinové drážce v závislosti na natočení páky.

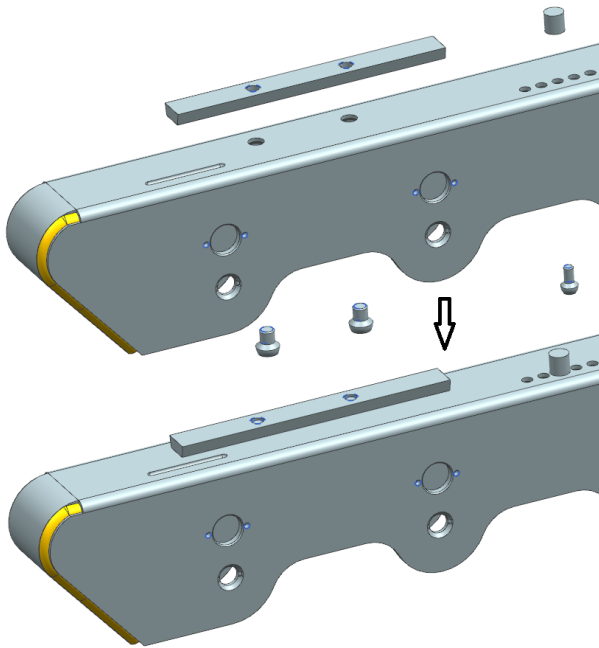


Obr. 15 Vázání namontované na rámu brusle

Montáž celého systému není složitou záležitostí. Nejprve bychom přišroubovali dvěma šrouby přední úchyt na rám in-line brusle tak, aby chom měli botu v těžišti (Obr. 16). Přední úchyt má tedy tři polohy pro nastavení různé velikosti bot. Posun mezi jednotlivými polohami je 12 [mm]. Šrouby zajistíme proti povolání například lepidlem Loctite.



Obr. 16 Montáž předního úchytu

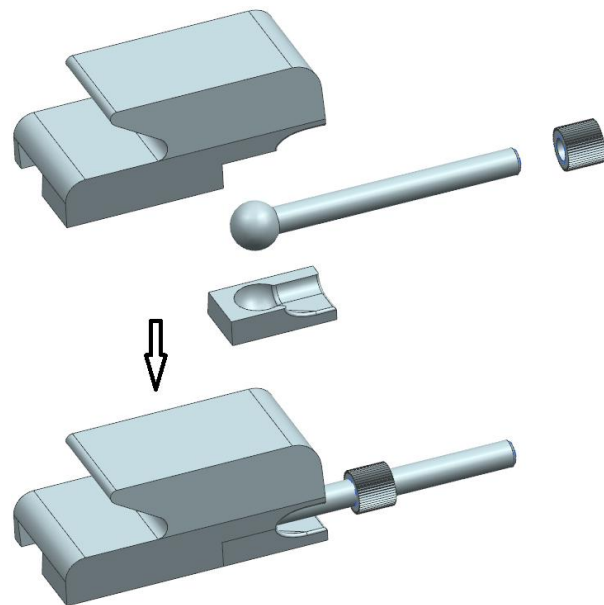


Stejným způsobem přišroubujeme i čep páky a lištu pro rybinovou drážku (Obr. 17), kterou kontrolujeme se zadním úchytem, aby se mohl po této liště volně posouvat s minimální vůlí. Pokud by se zadní úchyt posouval příliš ztuhla, musela by se přidat dilatační podložka mezi lištu a rám in-line brusle. Šrouby opět zajistíme lepidlem Loctite. Čep pro páku má opět na výběr pět poloh podle velikosti boty. Posun mezi jednotlivými polohami je 7 [mm].

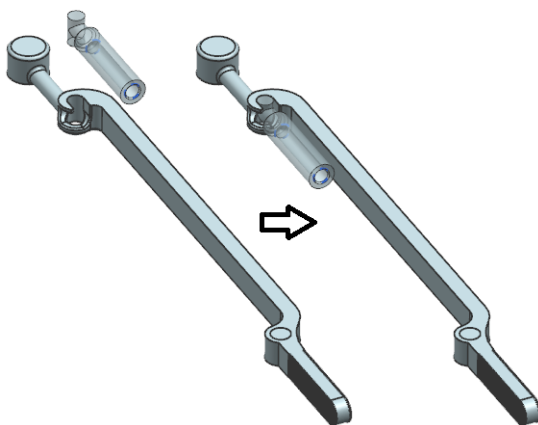
Obr. 17 Montáž lišty a čepu pro páku

Dále k zadnímu úchytu přiložíme nastavovací čep a distanční podložku. Na nastavovací čep našroubujeme na konec závitu pojistnou matku (Obr. 18). Celou tuto sestavu nasuneme na rybinovou lištu (Obr. 20).

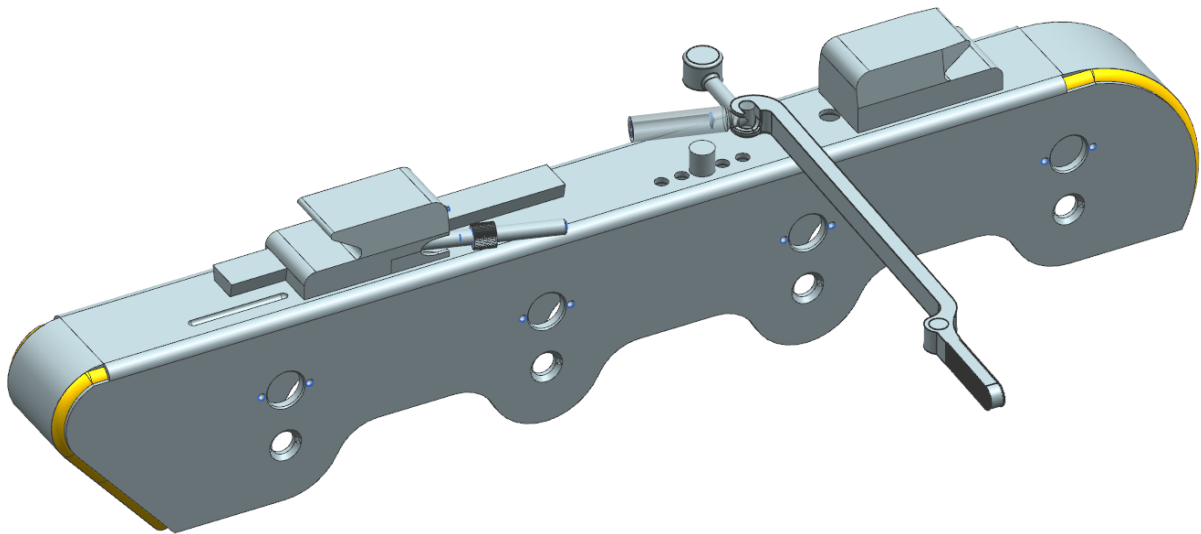
Poté spojíme páku a rameno páky (Obr. 19) a vše nasadíme na čep (Obr. 20 a Obr. 21). Rameno páky a nastavovací čep k sobě přišroubujeme a polohu zajistíme pojistnou matkou, kterou utáhneme na okraj ramena páky (Obr. 22).



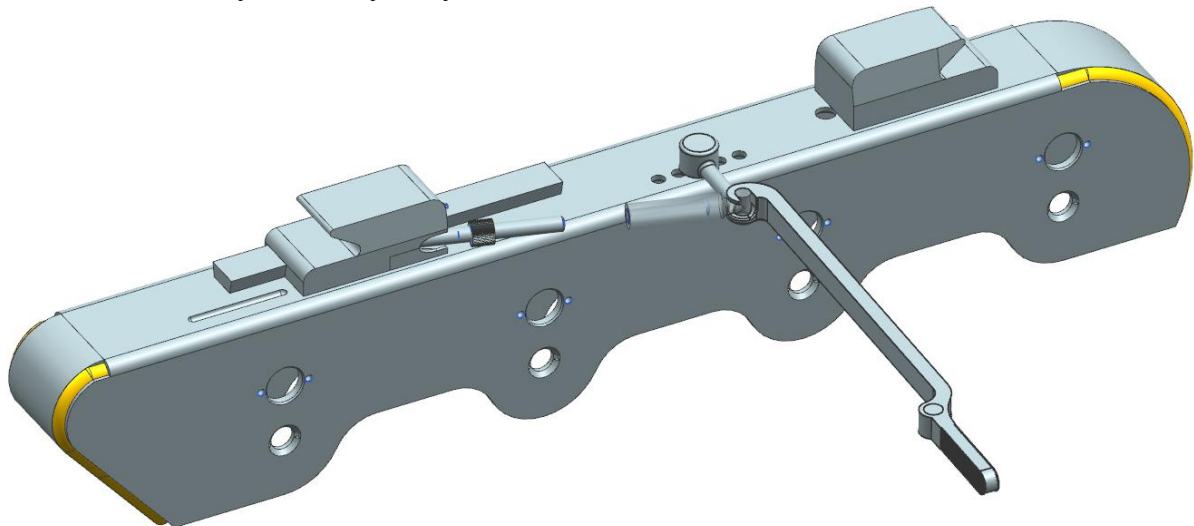
Obr. 18 Sestava zadního úchytu



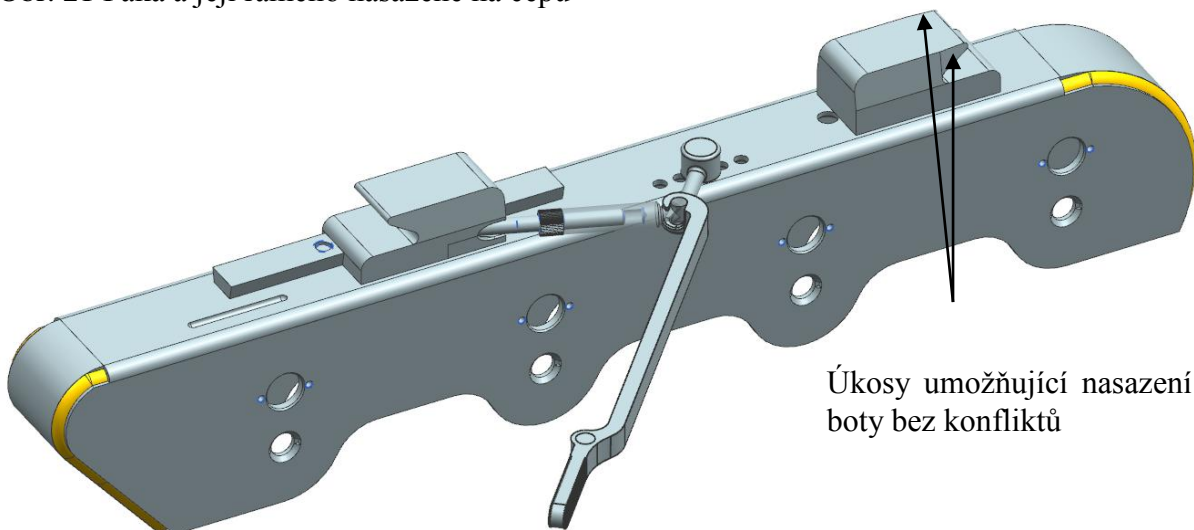
Obr. 19 Sestavení páky a ramene páky



Obr. 20 Zadní úchyt nasunutý na rybinové liště



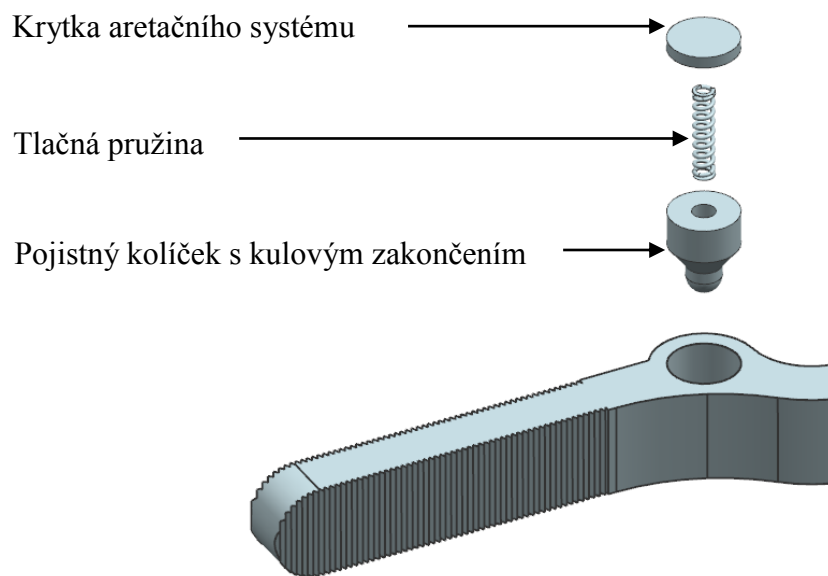
Obr. 21 Páka a její rameno nasazené na čepu



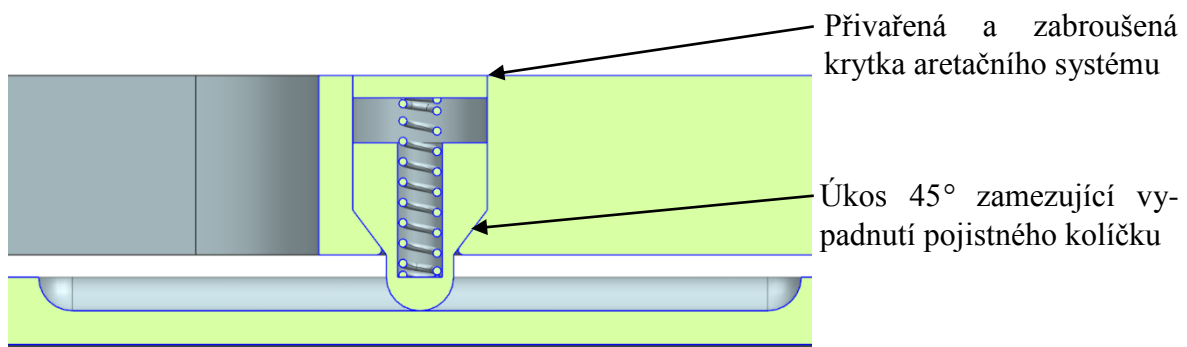
Obr. 22 Spojení nastavovacího čepu s ramenem páky a jeho fixace



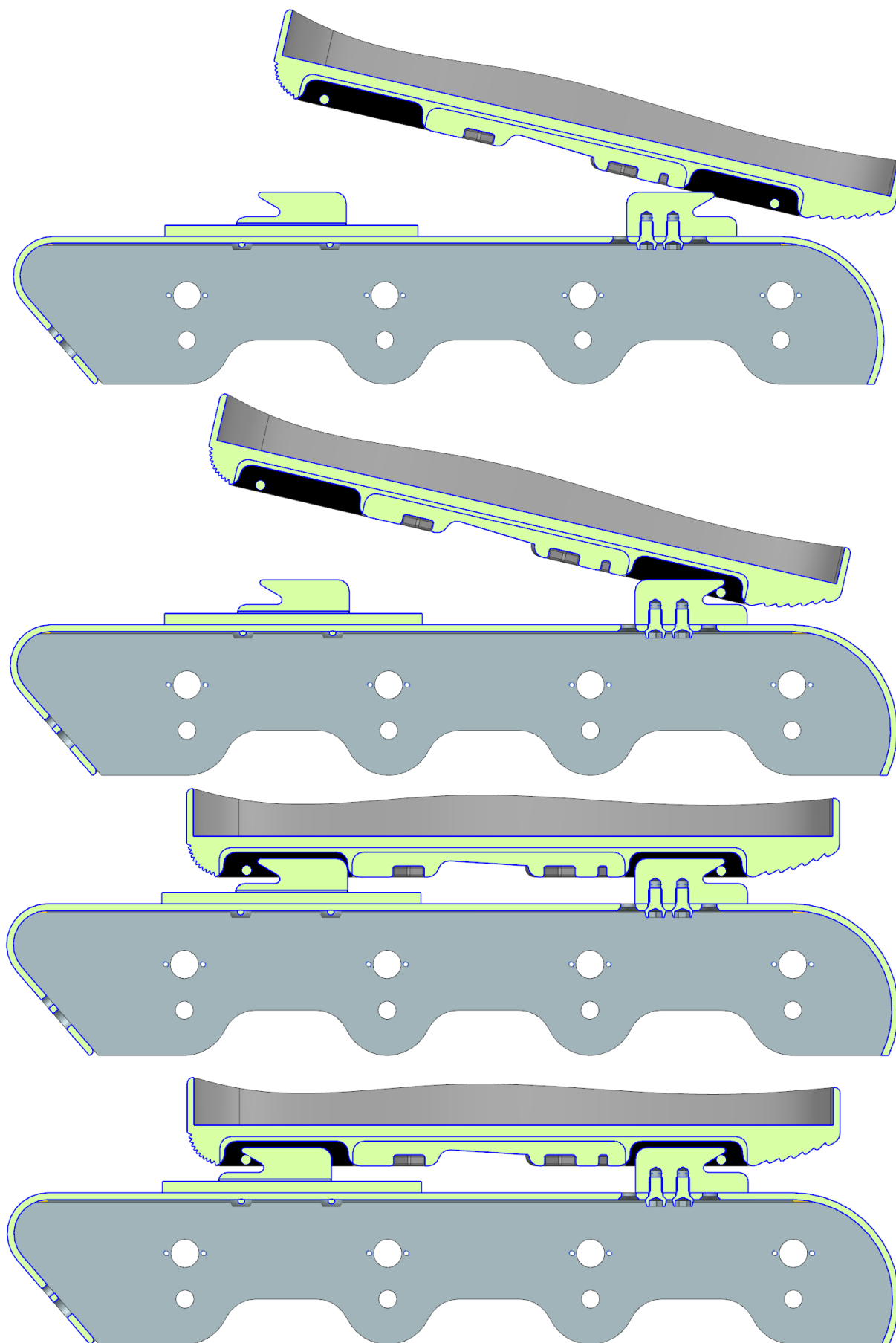
Samovolnému otevření páky a tím rozpojení celého systému by zamezoval aretační systém (Obr. 15), který zapadá do rámu in-line brusle (Obr. 9). Tento systém se skládá z pružiny, pojistného kolíčku a krytky (Obr. 23). Krytka by byla po montáži přivařena k páce a zabroušena tak, aby splynula s pákou (Obr. 24). Tlačnou pružinu jsem navrhoval v programu „Autodesk Inventor Professional 2011“, kde mi systém spočetl a vymodeloval pružinu dle zadané délky 8 [mm] s pracovním zdvihem 2 [mm]. Program vyhodnotil například maximální zatížení pružiny 12 [N], její vnější průměr 1.875 [mm], průměr drátu 0.355 [mm], počet aktivních závitů 9 a dále v pružině zkontroloval napětí, pokud by pružina byla vyrobena z tažené patentované, nelegované oceli 2. tř. Tuto výslednou pružinu jsem poté převedl z programu Inventor do sestavy v programu NX. Pojistný kolíček a páka má úkos 45°, aby pojistný kolíček nevypadl z páky vlivem působení tlačné pružiny a případných otřesů (Obr. 24).



Obr. 23 Sestava aretačního systému s pákou

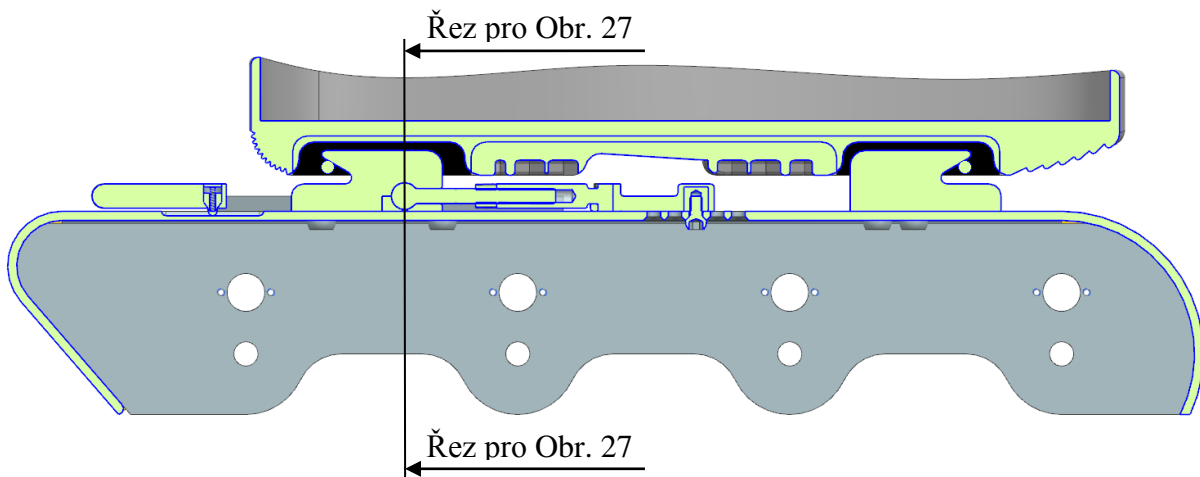


Obr. 24 Řez podél páky a rámu in-line brusle s aretačním systémem

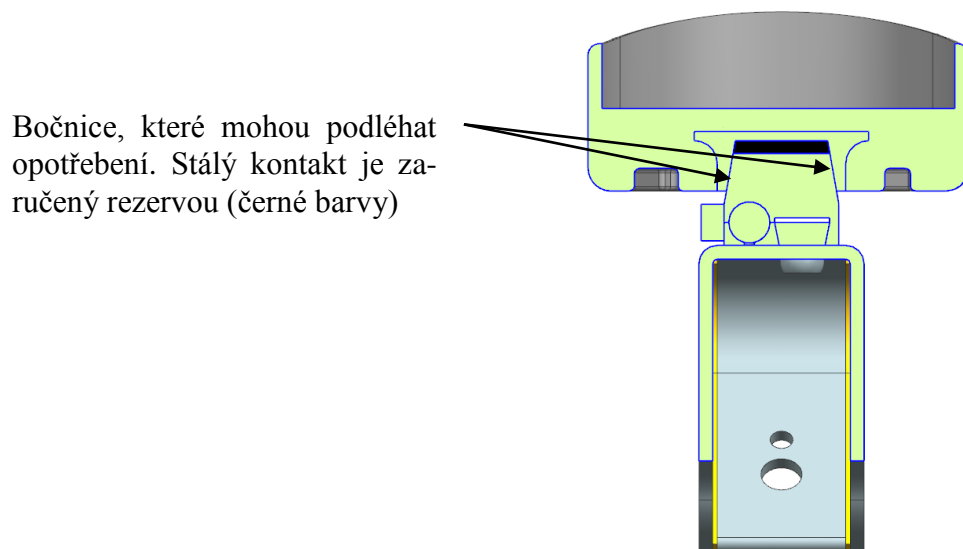


Obr. 25 Řez středem podélné roviny rámu in-line brusle zobrazující postup nasazení boty

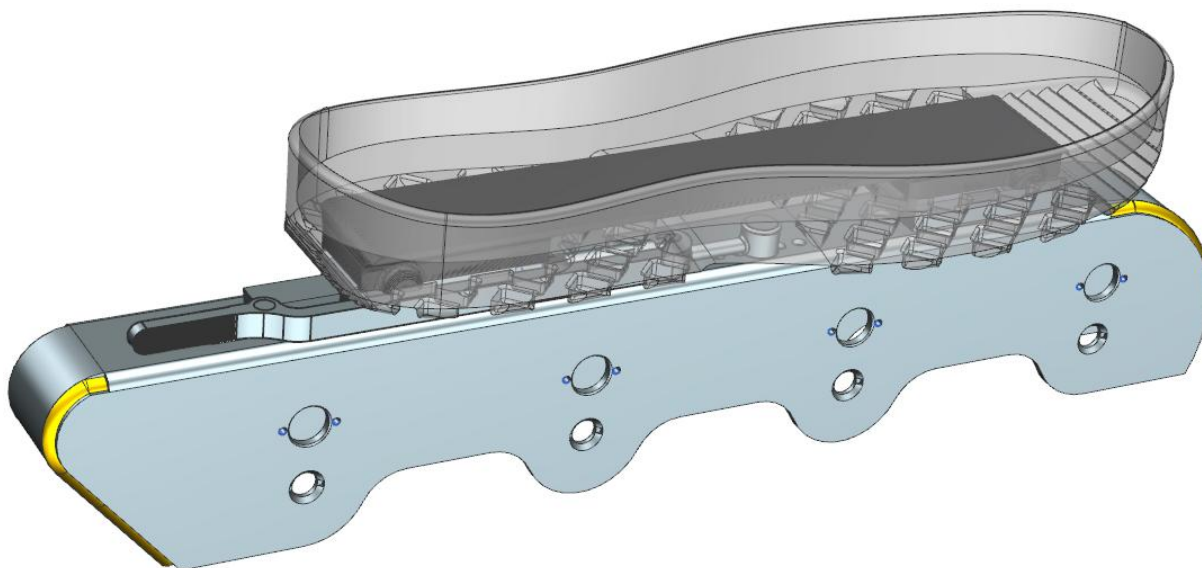
Nasazení boty na rám je zobrazeno na Obr. 25. Aby nedocházelo při nasazování ke konfliktu mezi předním úchytem a botou, jsou na předním úchytu provedeny úkoso (Obr. 22). Pro snadné zapnutí a rozepnutí vázání je páka dlouhá 200 [mm] a od čepu je připojeno rameno páky ve vzdálenosti 30 [mm]. Na konci páky je pak pro lepší uchopení provedeno drážkování. Toto drážkování je i na pojistné matce. Lehké vymezení vůlí a případné předeptnutí systému se provádí pomocí nastavovacího čepu. Tímto čepem můžeme otáčet, protože její druhý konec je zakončený koulí (SØ9), která posouvá zadním úchytem. Distanční podložka nastavovacího čepu zabraňuje vysmeknutí nastavovacího čepu z pouzdra na zadním úchytu a zároveň je druhou polovinou tohoto pouzdra. Nastavení by se provádělo v rozpojeném stavu a poté se zafixovalo pojistnou matkou. Celý systém vázání je dobře patrný z Obr. 26 a Obr. 27. Na těchto obrázcích jsou černou barvou patrné mezery, které jsou určeny případným nečistotám (např. bláto) a také slouží jako rezerva proti bočním vůlím pokud dojde k opotřebení bočnic (Obr. 27). Tyto případně vzniklé vůle můžeme vymezit nastavovacím čepem.



Obr. 26 Řez podél páky s celým mechanismem vázání

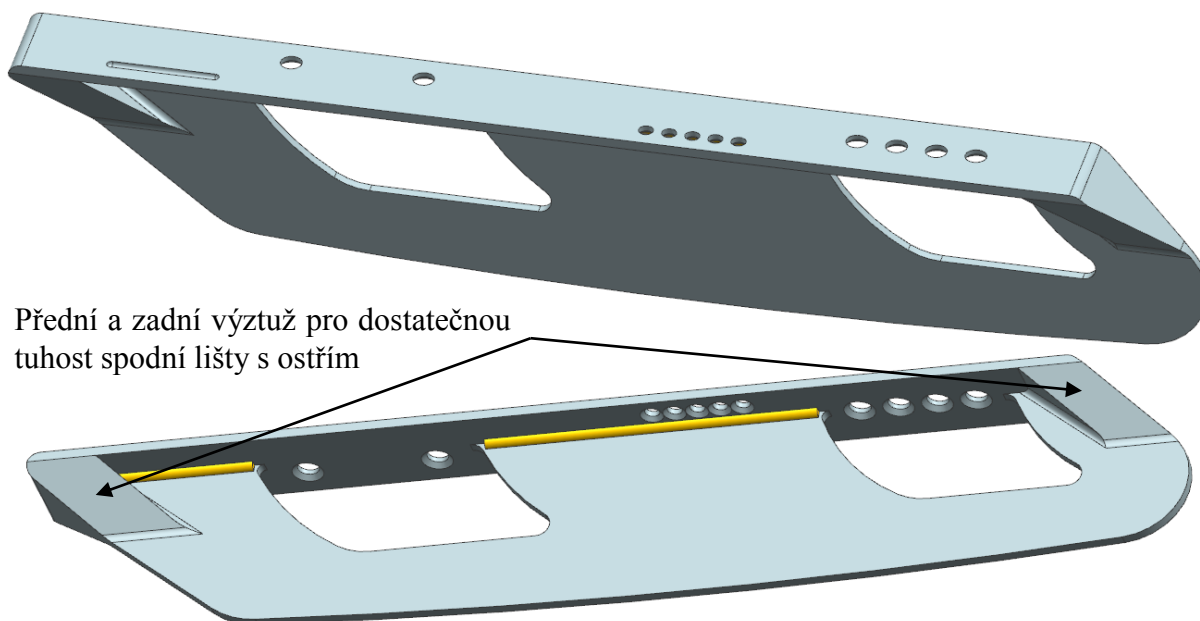


Obr. 27 Příčný řez zadním úchytem



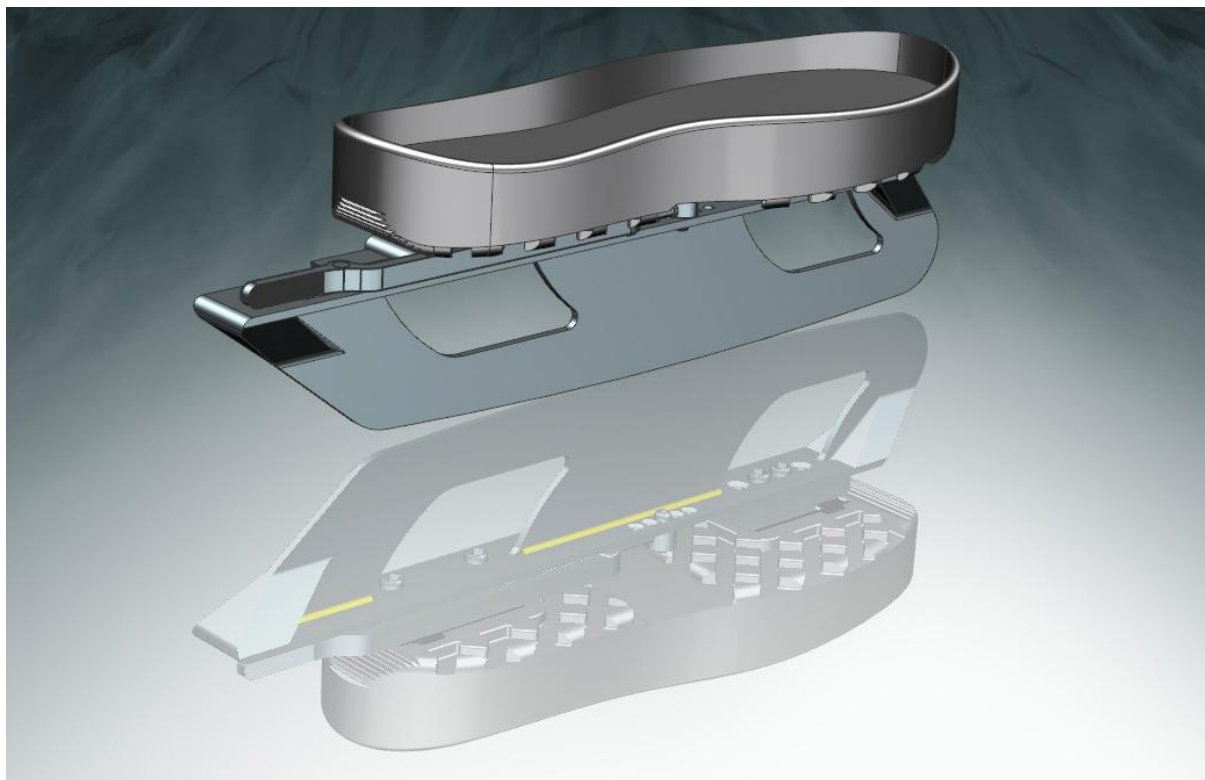
Obr. 28 Celkový pohled na spojení boty s rámem in-line brusle

Další použití, u kterého by šlo využít stejné boty i vázání je například pro lední brusle. Taková nástavba by představovala pouze použití nového rámu pro lední bruslení. Rám by mohl vypadat například jako na Obr. 29. Jeho výroba by spočívala ze dvou vytvarovaných plechů tloušťky 3 [mm], přední a zadní výztuže. Tyto jednotlivé díly by byly svařeny.



Přední a zadní výztuž pro dostatečnou  
tuhost spodní lišty s ostřím

Obr. 29 Rám pro nástavbu na lední bruslení



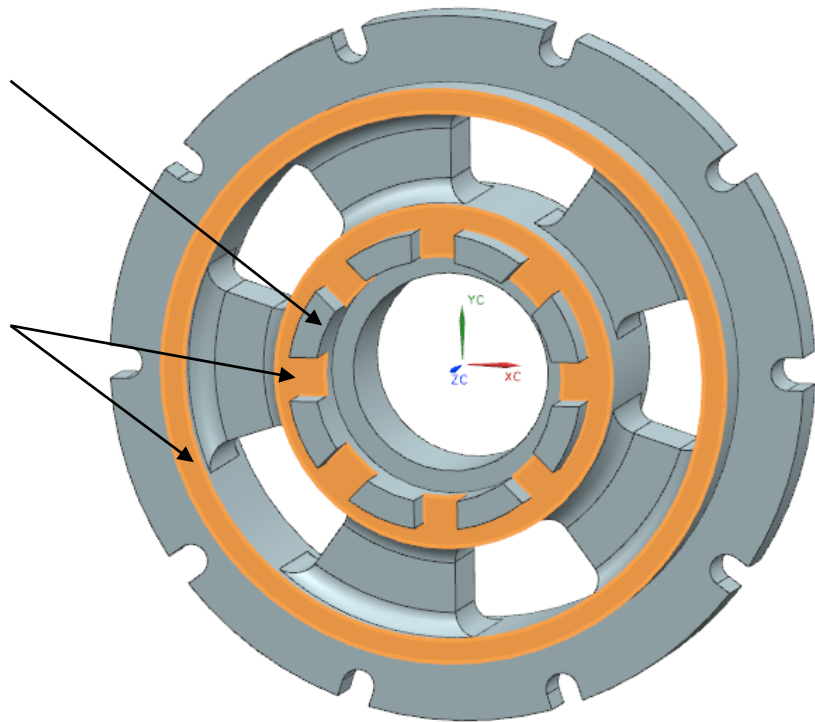
Obr. 30 Celkový pohled na spojení boty s rámem lední brusle na lední ploše

### Kolečko in-line brusle

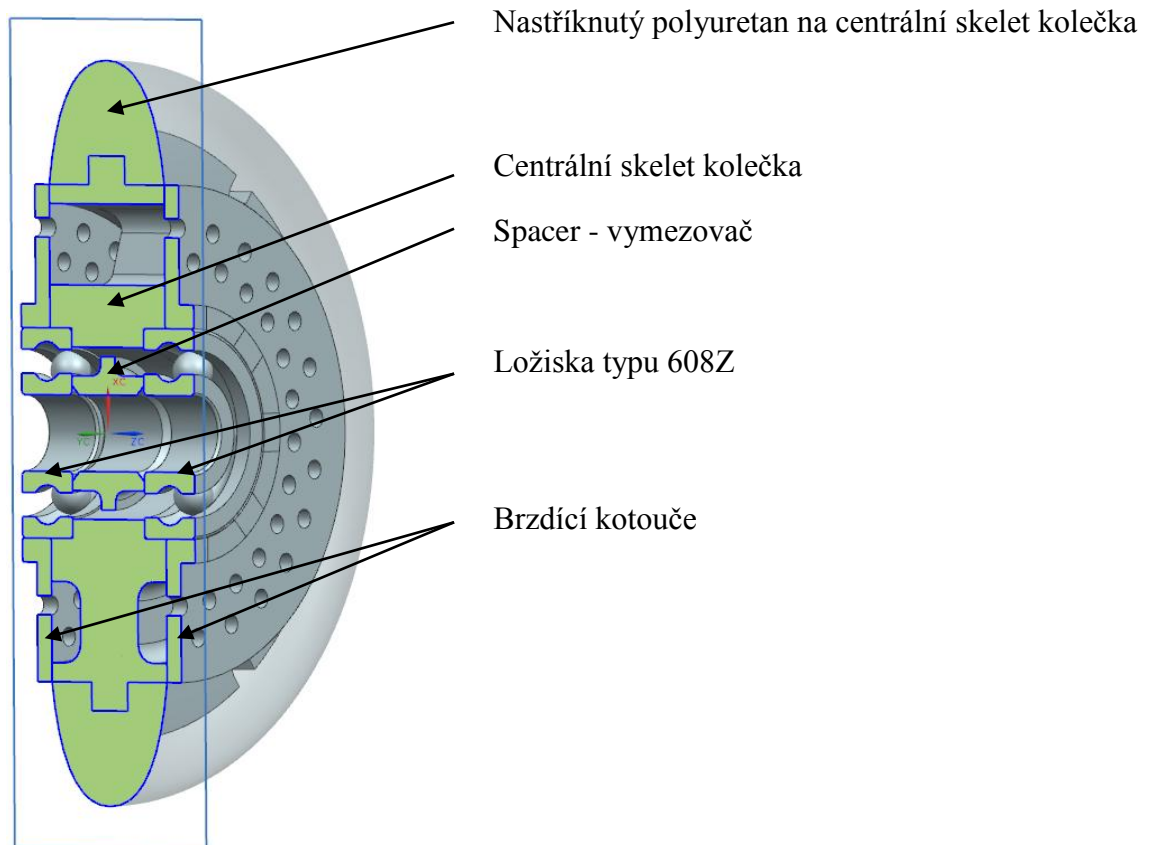
Dále jsem řešil konstrukci samotného kolečka, které by bylo určeno pro první návrh, kterým je brzdění všech koleček pomocí kotoučového systému. Toto kolečko jsem se snažil oproti stávajícímu kolečku co nejméně pozměnit. Upravil jsem tedy pouze skelet kolečka, na kterém je připevněn kotouč brzdy (Obr. 33). Kolečko jsem zvolil standardní velikosti o průměru 78 [mm] pro fitness a rekreační bruslaře, kteří by využili tento systém brzdění. Protože má kolečko relativně malou šířku 24 [mm], zvolil jsem osazení dvěma kotouči, a to z každé strany kolečka. Tyto kotouče dosedají z každé strany na vnitřní a vnější průměr centrálního skeletu celého kolečka (Obr. 31), který bych navrhoval vyrobít z ABS plastu a na jeho obvod nastřík- nul polyuretan (PUR) různé tvrdosti dle požadavků zákazníka. Kotouče jsou přilepené k centrálnímu skeletu (Obr. 31) speciálním lepidlem, které musí odolávat vysokým teplotám. Proti samotnému protočení kotoučů vůči centrálnímu skeletu při brzdění zamezuje osmihran (Obr. 31). Samotné kotouče jsou děrované, aby nedocházelo k přehřívání kotouče při brzdění a přenosu tepla do centrálního skeletu kolečka. Dále jsou ve středu centrálního kolečka z každé strany nalisovány ložiska standardního typu 608Z (Obr. 32) využívaného ve většině typů in-line bruslí. Mezi ložisky je vložen tzv. spacer-vymezovač (Obr. 34), který zamezuje velkému stisku ložisek k sobě při utahování koleček k rámu. Tento spacer je vyroben z hliníku a bez jeho použití by došlo při velkém utahení k zadrhávání koleček.

8-hran pro zajištění protočení  
kotoučů

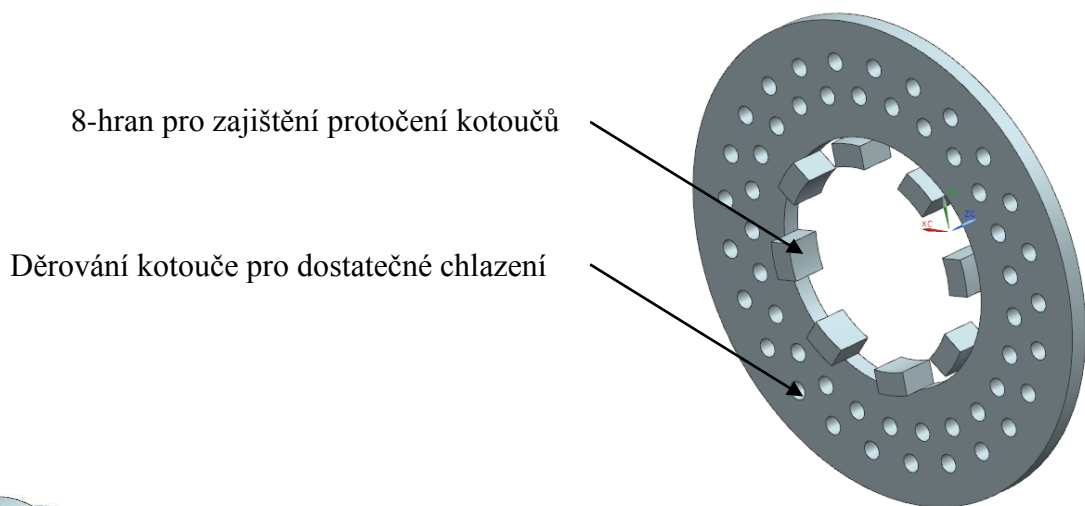
Dosedací plochy pro kotouč



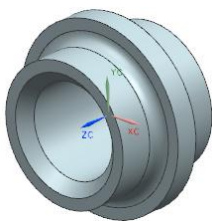
Obr. 31 Centrální skelet kolečka



Obr. 32 Poloviční řez 3D modelu kolečka



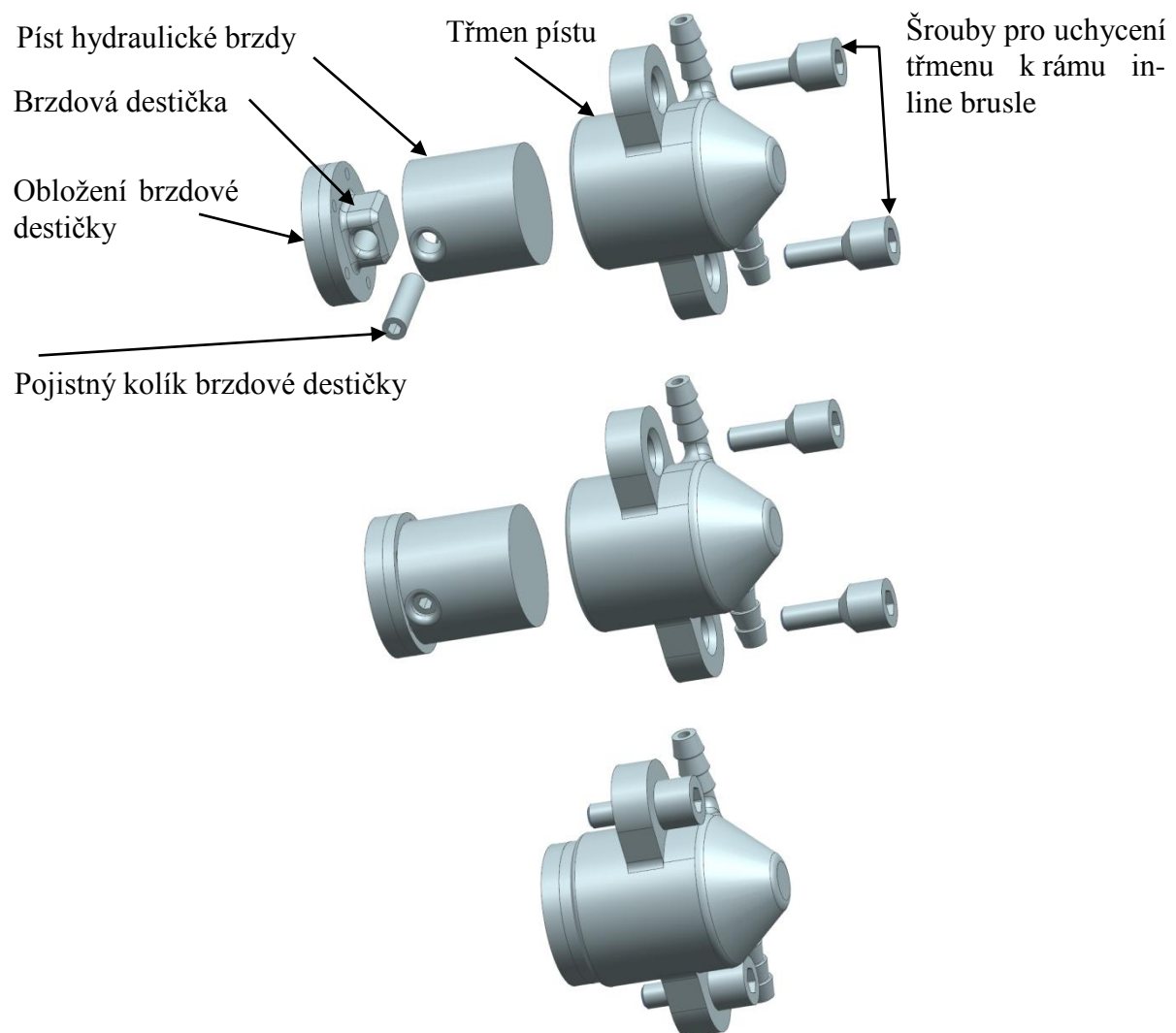
Obr. 33 Kotouč brzdý



Obr. 34 Spacer – vymezovač

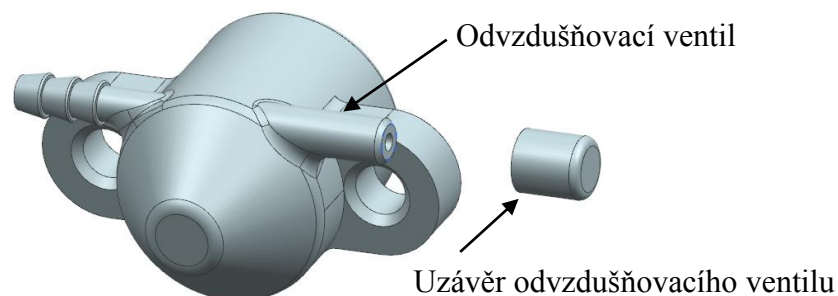
### Brzdící píсты pro kotoučový systém

Píst brzdícího systému může být hydraulický nebo mechanický. Na Obr. 35, Obr. 36 a Obr. 37 je zobrazený hydraulický píst. Sestava hydraulického třmenu se skládá z 6 dílů včetně šroubů (Obr. 35). Brzdová destička je zajištěna k pístu pojistným kolíkem. Tento kolík lze vytáhnout imbusovým klíčem a jen tehdy, jsou-li píсты maximálně stlačené bez přítomnosti kolečka s kotouči. Zpětný pohyb pístu je zaručen podtlakem ve třmenu. Brzdová tekutina je rozvedena na každé straně in-line brusle od zadního kolečka k přednímu. Vlivem tlakových ztrát a tření tekutiny o stěny dojde nejprve k brzdění zadních koleček a závěrem pak k brzdění předního kolečka. Aby hydraulický systém mohl být odvzdušněný, musí mít poslední třmeny na předním kolečku odvzdušňovací ventil (Obr. 36). Těsnost mezi uzávěrem a odvzdušňovacím ventilem by byla zajištěna těsněním.

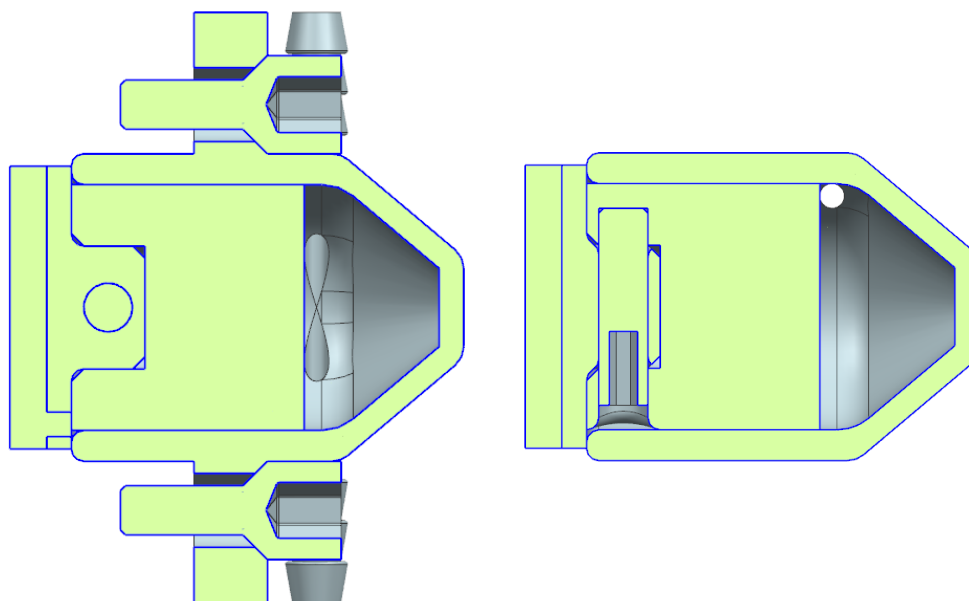


Obr. 35 Popis sestavy hydraulického třmenu s postupem montáže





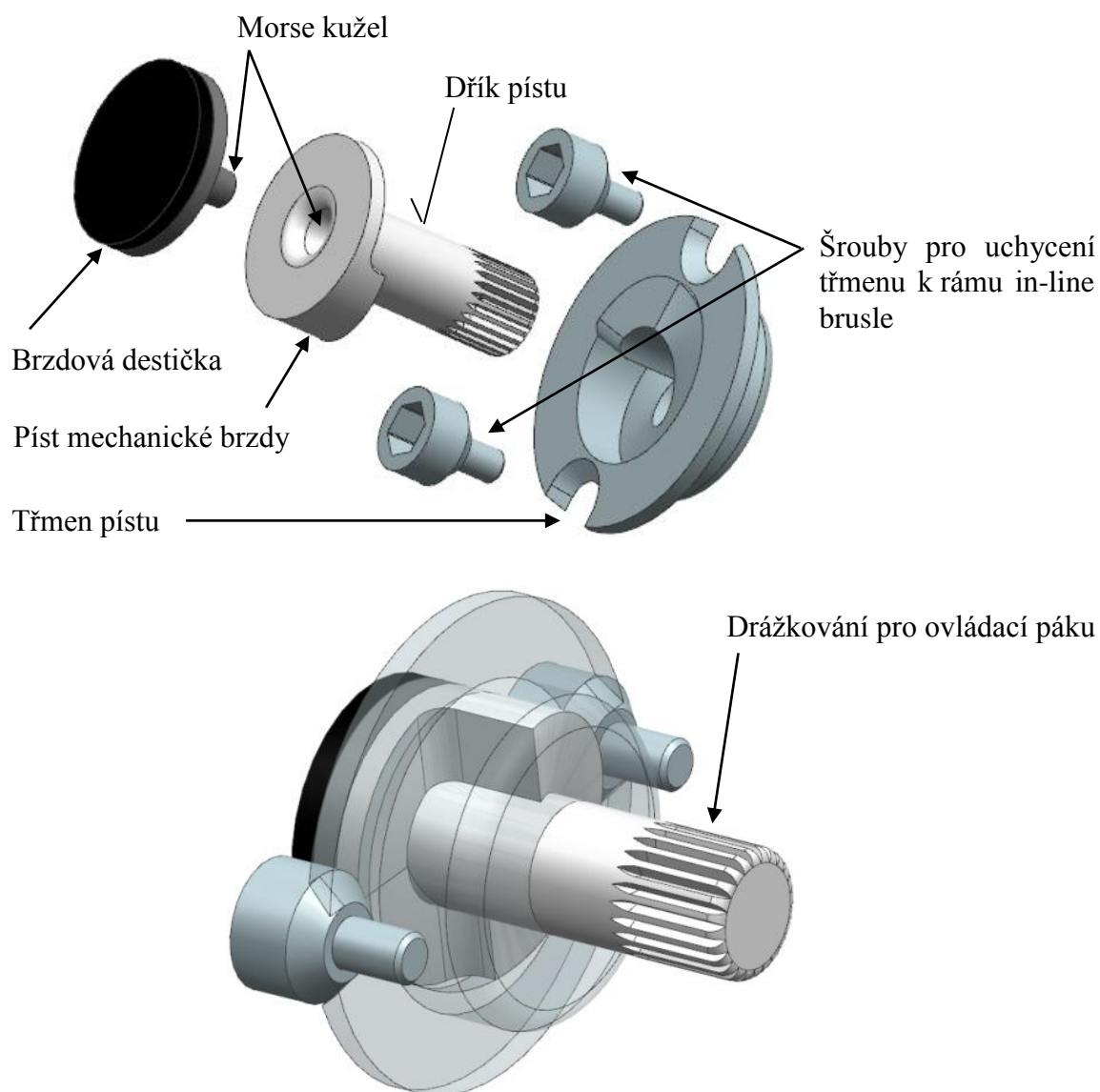
Obr. 36 Koncový třmen pravé strany s odvzdušňovacím ventilem



Obr. 37 Horizontální a vertikální řez sestavy hydraulického třmenu

Mechanický píst je zobrazen na Obr. 38. Píst je potřeba mechanicky přitlačit ke kotouči. Toto přitlačení jsem zajistil excentrem, který má tvar šroubovice. Jedná se tedy o převedení lineárního pohybu na otočný (kyvný). Stoupání šroubovice je 6 [mm/ot.]. Přímé vedení ke kotouči je zajištěno dříkem pístu. Brzdová destička je pouze nasazena do pístu přes Morse kužel, který má samosvorné vlastnosti. Konec pístu má drážkování pro uchycení ovládací páky. Zpětný pohyb pístu by mohl být zajištěn například pružinou vloženou mezi třmen a ovládací páku.

Pohled na kolečko s hydraulickým a mechanickým pístem v rámu in-line brusle je zobrazen na Obr. 46.



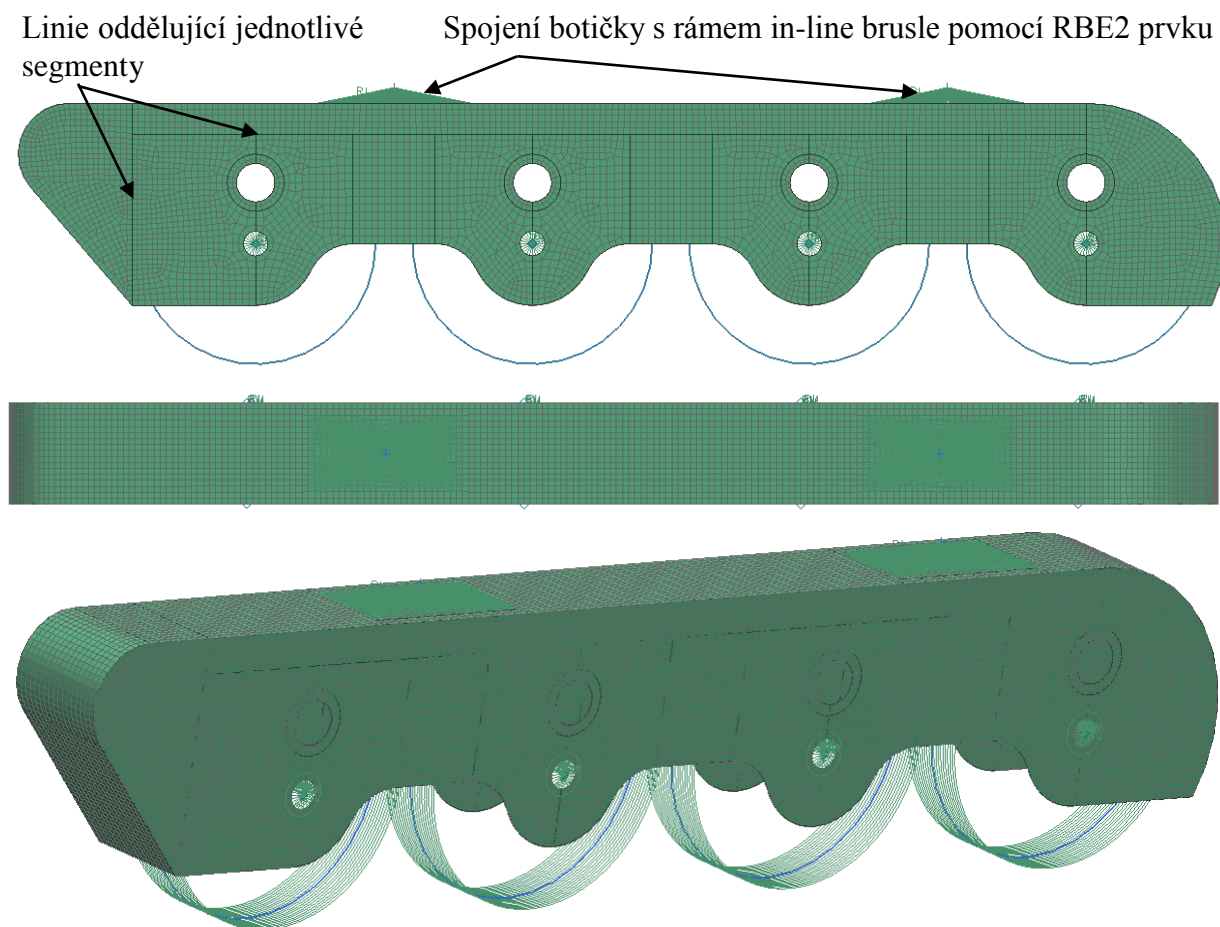
Obr. 38 Popis sestavy mechanického pístu

## 4. Analýza vlastností vybrané varianty

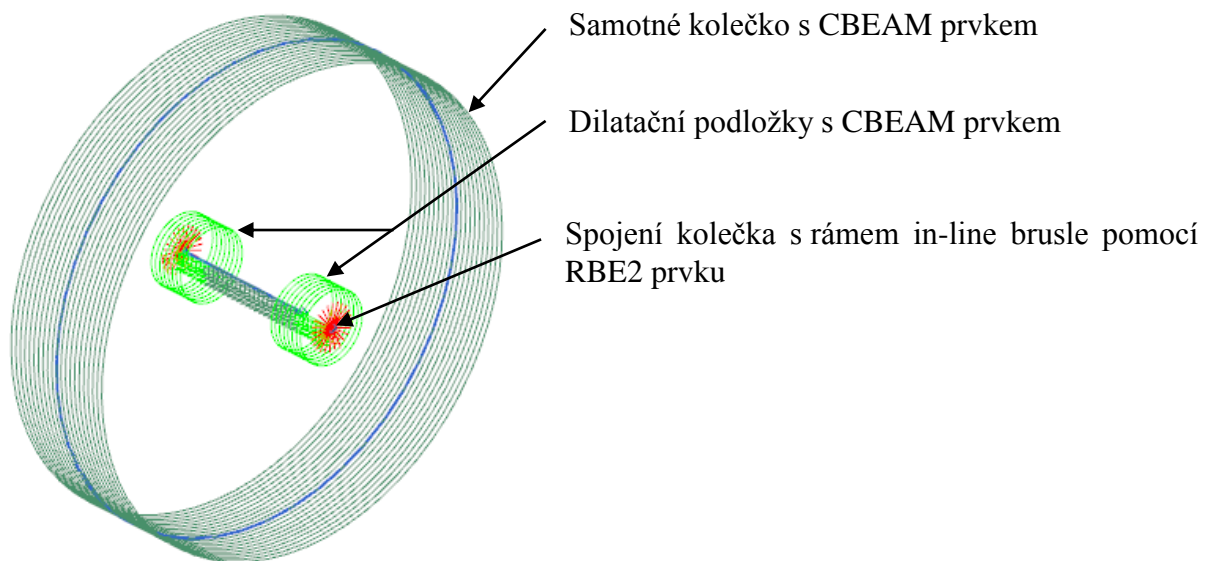
### 4.1. Výpočet rámu metodou konečných prvků

Rám brusle obsahuje čtyři kolečka a je přišroubován k botě dvěma šrouby. Síly se přenášejí z boty na rám pomocí tření mezi dvěma styčnými plochami, které je vyvozeno šrouby. Tento rám je namáhaný proměnlivými silami. Pro výpočet budu uvažovat teoreticky maximálního zatížení, které může na in-line brusli nastat při jejím používání bez uvažovaného brzdícího systému. Cílem řešení je analyzovat a pevnostně zkontrolovat namáhaný rám kolečkové brusle. V případě nevyhovující hmotnosti rámu nebo pevnosti rámu můžeme navrhnout její konstrukční změny.

Celý model rámu in-line brusle je potřeba před použitím metody konečných prvků zjednodušit o jednotlivé zaoblení a zanedbatelné díry, které by mohly znepráchnit výsledek a prodloužit výpočet. Pro řešení metody konečných prvků jsem se rozhodl použít metodu 1D nanesení sítě na stávající zjednodušený rám in-line brusle. Pro kvalitní výsledky udávající informace o napětích a posunech v jednotlivých směrech bylo třeba rám in-line brusle rozdělit na jednotlivé segmenty (Obr. 39), ve kterých mohla být nanášena ideálnější síť, než kterou by navrhnul automaticky systém z celé plochy. Vzhledem k náročným výpočtům pro PC jsem volil výše zmíněnou 1D variantu, u které si mohu dovolit hustší zasíťování jednotlivými segmenty o velikosti cca 2 [mm] a tím přesnější a rychlejší výpočet pro namáhaný rám než by tomu bylo u 3D automatické sítě.



Obr. 39 1D síť na zjednodušeném modelu rámu in-line brusle



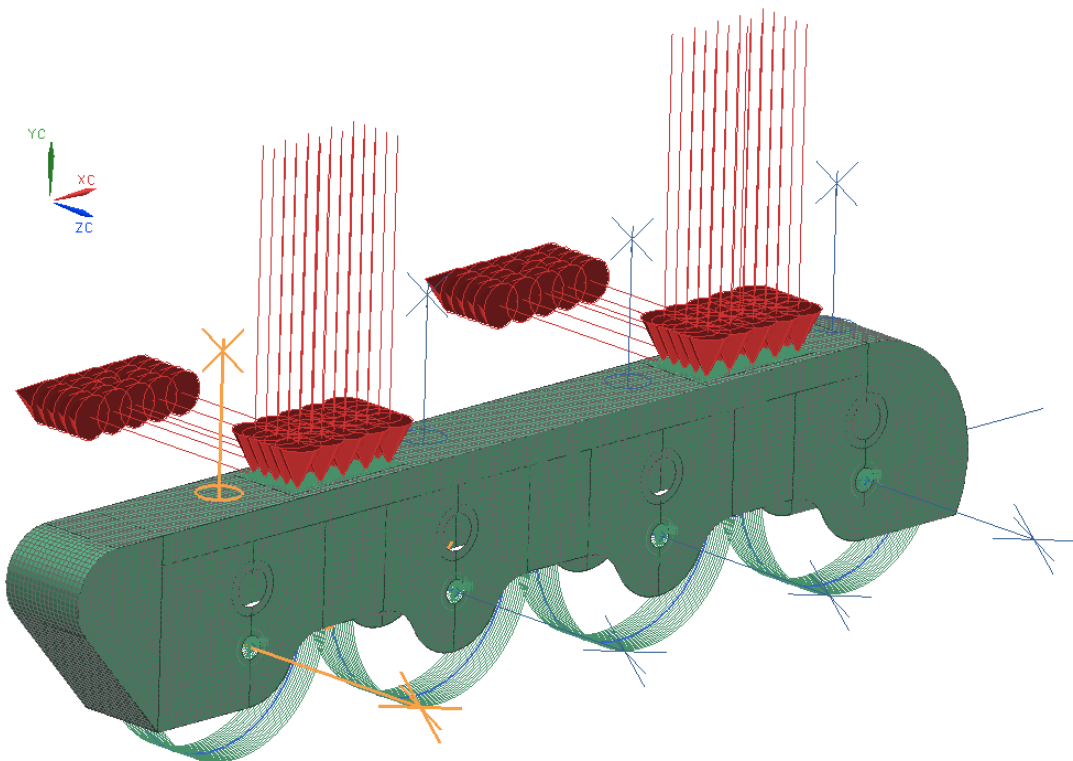
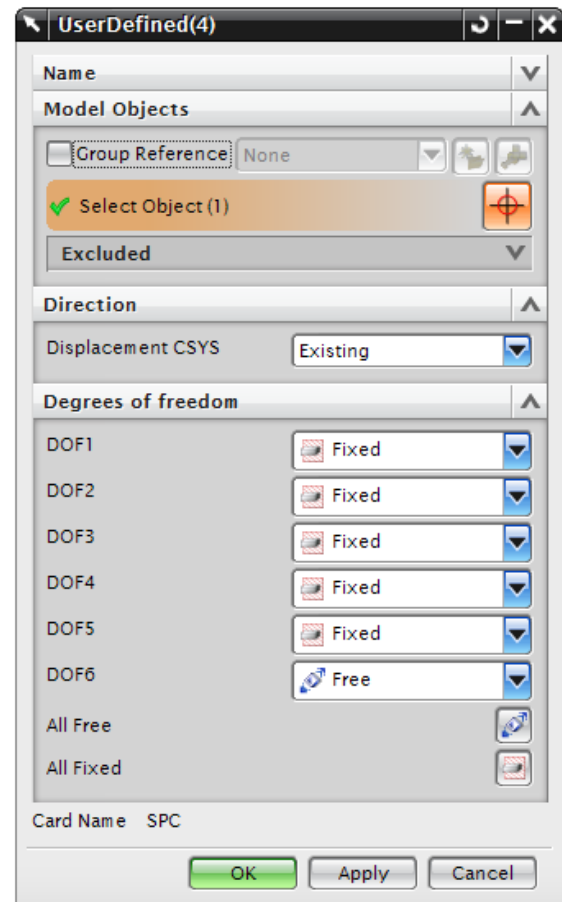
Obr. 40 1D síť samotného kolečka

Spojení mezi osami jednotlivých koleček s rámem brusle je provedeno pomocí růžice s typem elementu RBE2, který se chová jako nedeformovatelný prvek (Obr. 40). Stejným způsobem je řešeno i spojení mezi rámem in-line brusle a botičkou (Obr. 39). Samotnému kolečku jsem přiřadil prvek typu CBEAM o průměru 78 [mm] vyrobeného z materiálu ABS. Stejného prvku CBEAM jsem využil i u dilatačních podložek mezi rámem in-line brusle a kolečkem s rozdílem materiálu Aluminum 6061 a průměru 12 [mm] (Obr. 40).

Zbytek sítě rámu in-line brusle má elementy typu CQUAD8, pouze na předním a zadním zaoblení je prvek typu CQUAD4. Všechny tyto plochy mají přiřazený materiál Aluminum 6061 a tloušťku rámu 3 [mm].

Rám in-line brusle zatěžují teoreticky maximální konstantní silou, která může vzniknout při jejím používání. K výpočtu jsem vycházel ze svého měření. Brusle jsou nejčastěji v náklonu  $60^\circ$  (svírající mezi podložkou), střídavě zatěžovány pravou nebo levou nohou. Sílu odrazu z jedné nohy jsem odměřil pomocí váhy. Člověk, který váží  $75 [kg]$  při odrazu působí na váhu cca.  $100 [kg]$ . Rám in-line brusle tedy zatěžují silou  $981 [N]$  a náklonem  $60^\circ$ . Tuto sílu lze sklopit do horizontální a vertikální složky pomocí funkce  $\cos$  a  $\sin$ . Složka horizontální síly působí v ose  $Z$  a má velikost  $491 [N]$ , vertikální síla působí v ose  $Y$  a má velikost  $850 [N]$ . Tyto složky se přenášejí z boty brusle na rám brusle pomocí dvou styčných ploch (Obr. 41).

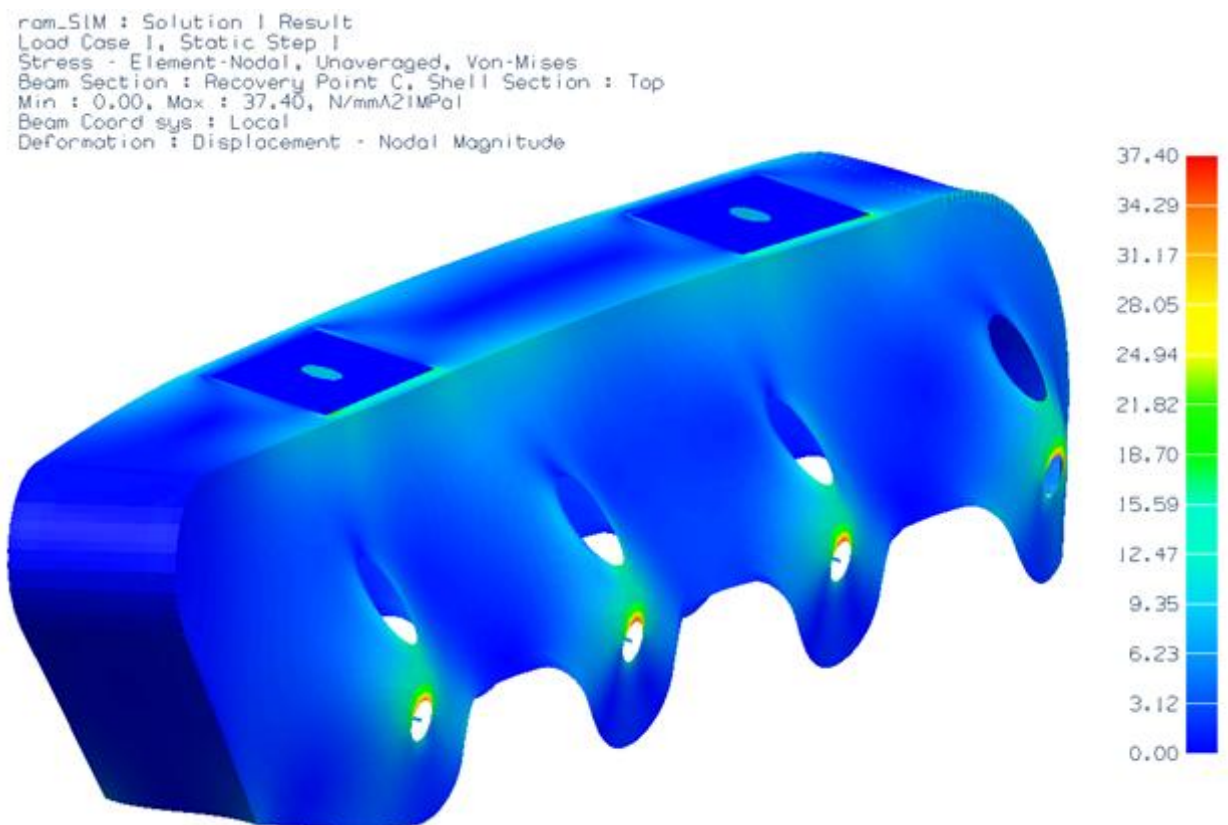
Okrajové podmínky volím v ose každého kolečka. Na Obr. 41 jsou zobrazeny okrajové podmínky pro zadní osu kolečka. DOF1-3 znamenají posuv v ose  $X$ ,  $Y$  a  $Z$ . DOF4-6 znamenají rotaci kolem osy  $X$ ,  $Y$  a  $Z$ . Zadnímu kolečku tedy umožním pouze rotaci kolem osy  $Z$ . Zbylým třem kolečkům umožním rotaci kolem osy  $Z$  a posuv v ose  $X$  (směr pohybu brusle).



Obr. 41 Zatížení a okrajové podmínky zatěžovaného rámu in-line brusle

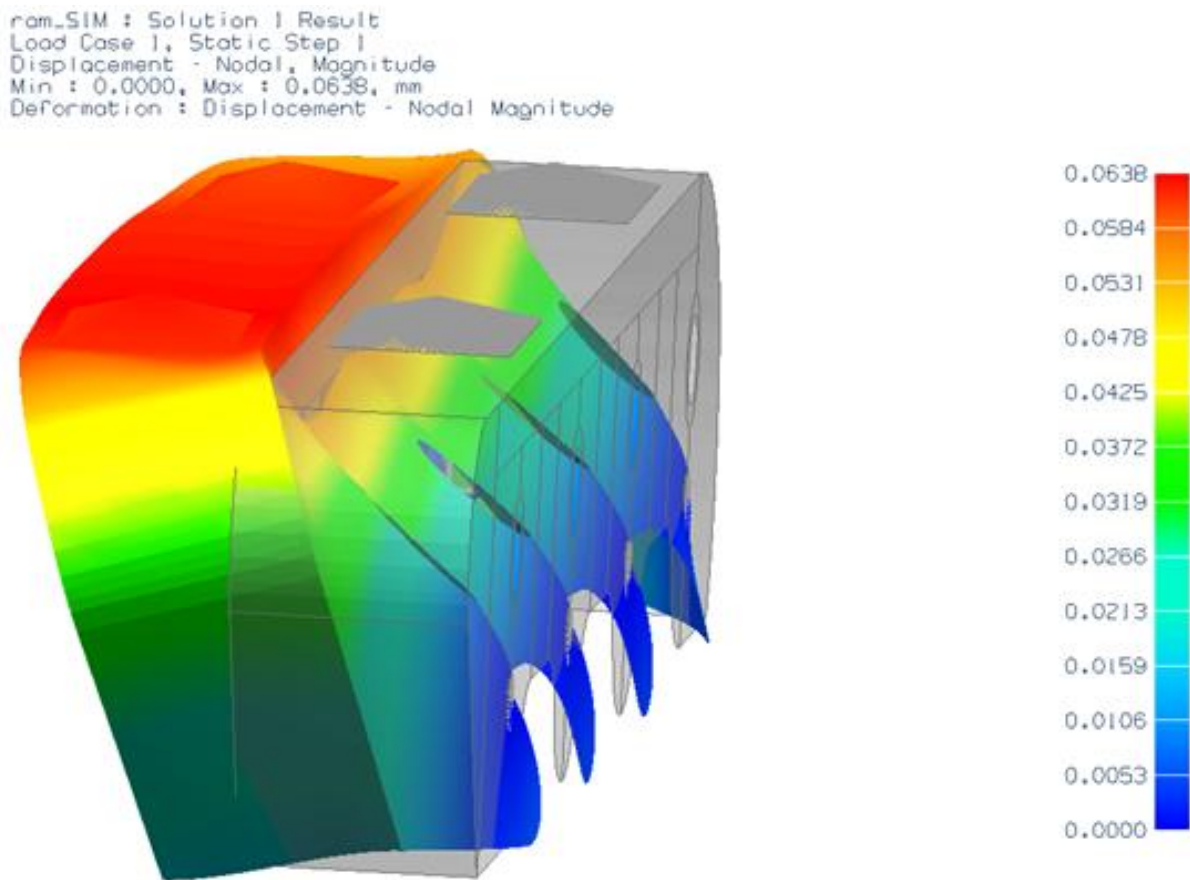
Řešení této úlohy trvalo cca. 1 minutu. Výsledky jsou zobrazeny na Obr. 42 a Obr. 43. Zobrazená deformace rámu je ve zvětšení 10 % oproti původnímu modelu.

Obr. 42 zobrazuje redukované napětí rámu dle pevnostní hypotézy von Mises (HMH – Hubert, von Mises, Hencky). Na pravé straně Obr. 42 je barevné odlišení s číselnými hodnotami napětí v [MPa]. Z obrázku je patrné, že napěťová „špička“ vzniká v místě spojení koleček s rámem brusle a dále na hraně u styku rámu a boty brusle. Naopak přední a zadní část rámu in-line brusle není vystavena skoro žádnému napětí. Z hlediska konstrukce rámu in-line brusle můžeme v těchto nezatížených místech provést odlehčení, nebo naopak vysoká napětí snížit pomocí prolisu či návarku. Vlivem střídavého zatížení na pravou a levou brusli mohou příliš vysoká napětí vést k únavovým lomům. V tomto případě rám není vystaven namáhání nad mezi kluzu daného materiálu Aluminum 6061<sup>[7]</sup> a nedojde tím k jeho destrukci při zatížení.



Obr. 42 Napětí dle hypotézy von Mises na zatíženém rámu in-line brusle

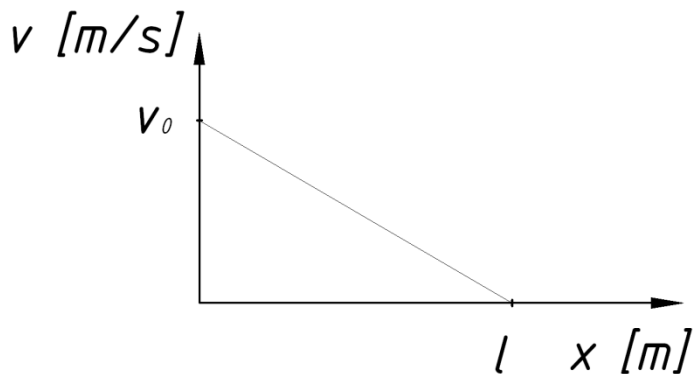
Na Obr. 43 je vidět celkové posunutí rámu při zatížení. Na pravé straně opět vidíme barevné odlišení s číselnými hodnotami posunutí v [mm]. Horní plocha rámu v zatíženém stavu se oproti kolečkům vybočí o zanedbatelných 6 setin milimetru.



Obr. 43 Posun rámu in-line brusle při zatížení

## 4.2. Výpočet síly potřebné k zastavení na určité dráze.

Při výpočtu uvažuji s tím, že bruslař pojede na obou bruslích s rovnoměrně působící silou na každé kolečko. Na jedné brusli je 100 % dotyk pouze se dvěma kolečky, který neuvažuji. V praxi si myslím, že díky poddajným kolečkům a dostatečně rovné dráze je tento dotyk zanedbatelný. Dále zanedbávám vlastní setrvačnost kolečka vzhledem k jeho lehké váze a malé velikosti.



Obr. 44 Graf závislosti rychlosti na dráze při konstantním zpomalování

definována rychlost bruslaře

$$v_0 = 20 \left[ \frac{\text{km}}{\text{h}} \right] = 5.5 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

definovaná vzdálenost zastavení z rychlosti  $v_0$

$$l = 8 \text{ [m]}$$

$$a = \text{konst.} = \frac{dv^2}{2 \cdot dx}$$

$$a \cdot \int_0^l 2 \cdot dx = \int_{v_0}^0 dv^2$$

$$a \cdot 2 \cdot l = -v_0^2$$

zrychlení z určité rychlosti na dané dráze

$$a = -\frac{v_0^2}{2 \cdot l} = -\frac{5.5^2}{2 \cdot 8} = -1.929 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

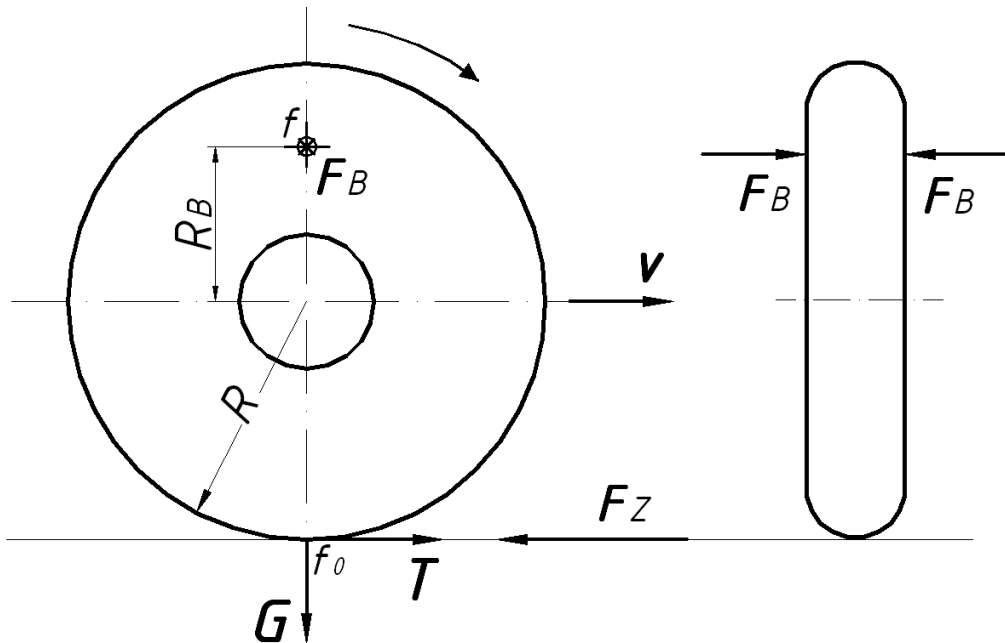
průměrná hmotnost postavy bruslaře s výstrojí

$$m_p \doteq 80 \text{ [kg]}$$

síla potřebná k zastavení bruslaře

$$F_z = m_p \cdot a = 80 \cdot (-1.929) = -154.32 \text{ [N]}$$





Obr. 45 Silové účinky působící při brzdění kolečka

$$R = 39 \text{ [mm]}$$

$$R_B = 20 \text{ [mm]}$$

$$f = 0.5$$

koeficient tření mezi brzdou destičkou a kotoučem

<http://www.tespo-ostrava.cz/brzdove.htm>

koeficient adheze kolečka s vozovkou

$$f_0 = 0.8$$

<http://sf.zcu.cz/rocnik06/cislo04/nehody.html>

$$T = -\frac{F_Z}{8} = -\frac{-154.32}{8} = 19.29 \text{ [N]}$$

podmínka dynamické rovnováhy

$$T * R = R_B * 2 * F_B * f$$

potřebná síla vyvozená na brzdou destičku

$$F_B = \frac{T * R}{R_B * 2 * f} = \frac{19.29 * 39}{20 * 2 * 0.5} = 37.62 \text{ [N]}$$

podmínka proti prokluzu kolečka

$$T \leq G * f_0$$

kde  $f_0$  je součinitel adheze kolečka a podložky

$$G = \frac{m_p * g}{p_k} = \frac{80 * 9.81}{8} = 98.1 \text{ [N]}$$

kde  $p_k$  je počet všech koleček

$$100 \leq 98.1 * 0.8$$

$$37.62 \leq 78.48$$

⇒ Splňuje podmínku, proto nedojde k prokluzu koleček na podložce.

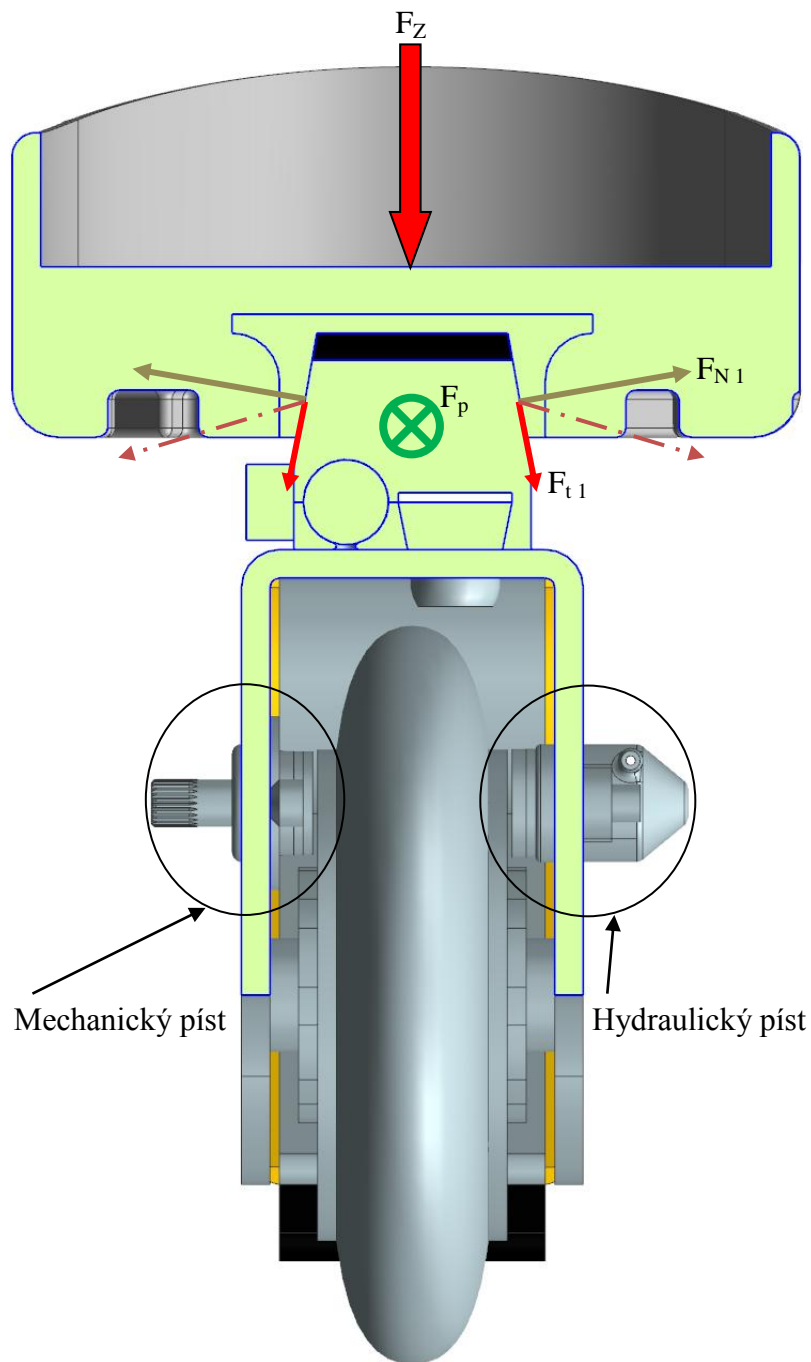
minimální tlak v hydraulickém pístu, aby vyvodil sílu  $F_B$

$$P = \frac{F_B}{S} = \frac{37.62}{\frac{\pi * 10^2}{4}} = 479 \text{ [kPa]}$$

kde  $S$  je plocha pístu

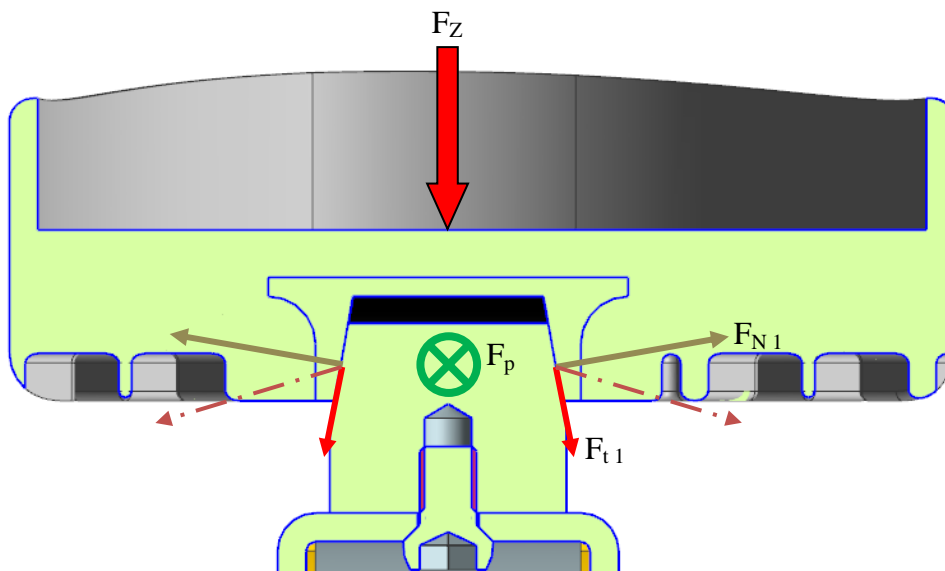
### 4.3. Rozložení sil působící na vázání.

Základní rozklad sil působící na vázání je zobrazen na Obr. 46 a Obr. 47. Tento základní rozklad uvažují při statickém zatížení se svislou polohou brusle. Brusle je samozřejmě vystavena většinu času dynamickým zatížením, např. otřesům při jízdě, průjezdům zatáčkami, nárazy brusle do překážek, brzděním. Tyto stavy jsou velice specifické co do velikosti sil tak i do směru působení, proto uvádím pouze základní rozklad sil.



Obr. 46 Rozložení sil na řezu zadního úchytu; pohled na mechanický a hydraulický píst

Přes přední a zadní úchyt se přenáší síla  $F_Z$  úměrná hmotnosti uživatele  $F_Z = \frac{m_p \cdot g}{2}$  (uvažujeme, že uživatel zatěžuje svojí vahou pouze jednu brusli). Tato síla  $F_Z$  se rozloží přes stěny předního a zadního úchytu do složek normálových  $F_{N1}$  a třecích  $F_{t1}$ . Výslednice těchto sil jsou naznačeny čerchovaně. Síla  $F_P$  je předepínací síla vázání. Velikost této síly vyvozuje nastavovacím čepem ramena páky.



Obr. 47 Rozložení sil na řezu předního úchytu

#### 4.4. Výpočet šroubů pro vázání.

Přední úchyt a lištu pro rybinovou drážku drží 2x dva šrouby, aby byla zajištěna poloha součástí. Tyto šrouby musí zajistit přenos sil z rámu brusle na vázání. Na přední úchyt působí předepínací síla vzniklá od vázání  $F_P$  + jakákoli jiná síla v horizontálním směru vzniklá například od nárazu rámu brusle  $F_j$ . Velikost výslednice bychom určili z odvozeného vzorce:

$$F = \sqrt{F_P^2 + F_j^2 + 2 * F_P * F_j * \cos(\omega)}$$
, kde úhel  $\omega$  je svírající úhel mezi silami  $F_P$  a  $F_j$ . Na zadní lištu působí také síla  $F_j$ , kterou bychom rozložili na složku podélnou a příčnou. K podélné složce bychom přičetli i sílu  $F_P$ , kde tyto síly zatěžují šroub čepu páky vázání. Příčná složka, která by působila na lištu, pak nikdy nemůže být větší než výslednice sil působící na přední úchyt. Pokud by tedy lišta měla stejné šrouby jako přední úchyt, stačilo by nadimenzovat šrouby pouze pro přední úchyt a čep páky.

Výpočet šroubu a jeho utahovací moment:

$$F_t = f * F_n$$

$$F_{Pš} = s_f * F_n \quad \Rightarrow \quad F_{Pš} = \frac{s_f * F_t}{f} [N]$$

kde:	$F_t [N]$	třecí síla
	$F_n [N]$	normální síla
	$F_{Pš} [N]$	předepínací síla šroubu
	$f [-]$	tření mezi předním úchytem a rámem in-line brusle
	$s_f [-]$	součinitel bezpečnosti

$$\sigma_{Dš} = \frac{F_{Pš}}{S_j} = \frac{F_{Pš}}{\frac{\pi * d_j^2}{4}} \quad \Rightarrow \quad d_j = \sqrt{\frac{4 * F_{Pš}}{\pi * \sigma_{Dš}}} [mm] \quad \Rightarrow \quad \text{šroub } M \dots$$

kde:	$\sigma_{Dš} [MPa]$	dovolené napětí šroubu
	$S_j [mm^2]$	přůřez jádra šroubu

pro šroub  $M$  ... platí:

$d_2$  [mm]      střední průměr závitu

$d_3$  [mm]      vnitřní průměr závitu

$s$  [mm]      otvor klíče

$$\tan(\alpha) = \frac{p_h}{\pi * d_2} \quad \Rightarrow \quad \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{p_h}{\pi * d_2} \right) [^\circ]$$

kde:       $\alpha$  [°]      úhel stoupání šroubovice

$p_h$  [mm]      stoupání závitu

$$f_z = \tan(\varphi_z) \quad \Rightarrow \quad \varphi_z = \tan^{-1}(f_z) [^\circ]$$

kde:       $f_z$  [-]      součinitel tření v závitu

$\varphi_z$  [°]      třecí úhel v závitu

$$M_u = 0,5 * F_{P\check{s}} * \left( d_2 * \tan(\alpha + \varphi_z) + \frac{d_d + s}{2} * f_h \right) [N * m]$$

kde:       $M_u$  [N \* m]      utahovací moment

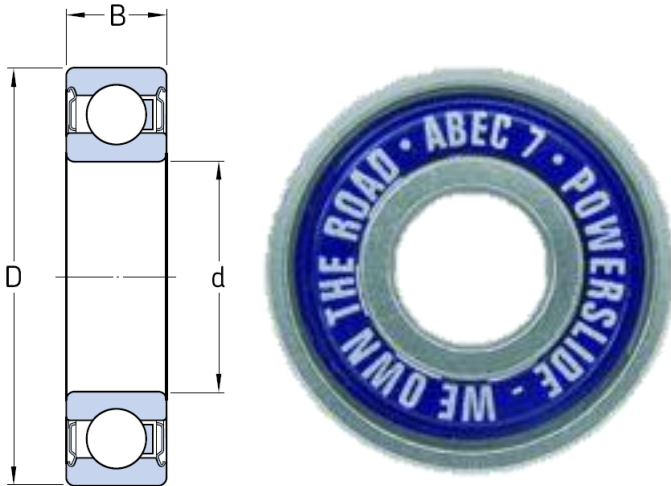
$d_d$  [mm]      průměr díry pro šroub

$f_h$  [-]      součinitel tření pod hlavou šroubu

#### 4.5. Výpočet stávající výdrže ložisek.

Ve většině in-line bruslí se nachází ložiska typu 608 (vnitřní průměr 8 [mm], vnější průměr 22 [mm], šířka 7 [mm]). Brusle mají většinou 4 kolečka na každé z bruslí. V každém kolečku jsou 2 ložiska. Ložiska se prodávají v různé kvalitě (přesnosti výroby) např. ABEC 5-9.

Protože jsou ložiska zatěžována proměnlivým spektrem sil, které nemohu analyzovat, uvádím pouze teoretické výpočtové vztahy. V praxi jsou ložiska z technického hlediska zatížena minimálně namáhána a podléhají tak minimálnímu opotřebenění. Hlavními faktory v opotřebenění jsou nečistoty, voda a prach, které vnikají přes těsnění do ložisek. Tyto ložiska mají potom tendenci se lehce zadrhávat a tudíž je nutná jejich výměna.



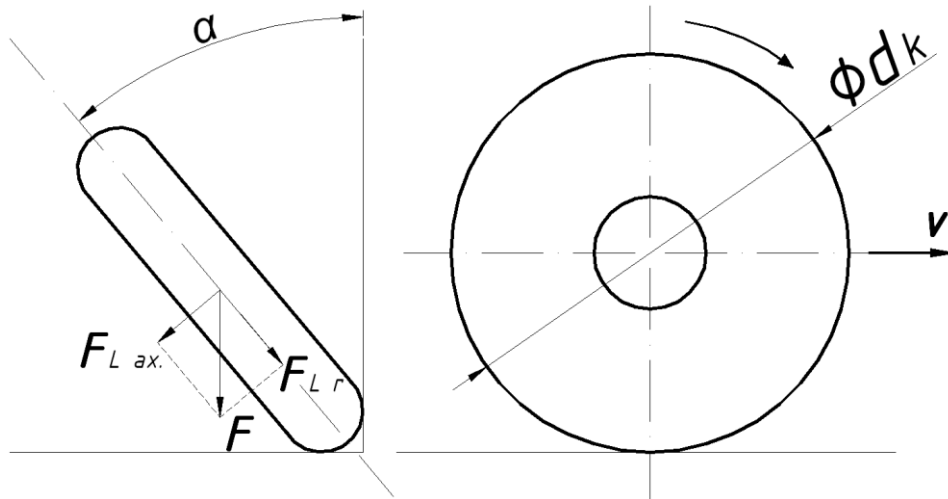
Hlavní rozměry			Únosnost		Mezní únavové zatížení	Přípustné otáčky		Hmotnost	Označení
$\phi d$	$\phi D$	$B$	$C$ (dynamická)	$C_0$ (statická)	$P_u$	Referenční	Mezní		
8 [mm]	22 [mm]	7 [mm]	3.45 [kN]	1.37 [kN]	0.057 [kN]	75 000 [min <sup>-1</sup> ]	48 000 [min <sup>-1</sup> ]	0.012 [kg]	Explorer 608

Výpočtové součinitele pro jednořadá kuličková ložiska s normální vůlí									
$f_0 * \frac{F_{ax}}{C_0}$	0.172	0.345	0.689	1.03	1.38	2.07	3.45	5.17	6.89
$e$	0.19	0.22	0.23	0.28	0.3	0.34	0.38	0.42	0.44
$X$	0.56								
$Y$	2.3	1.99	1.71	1.55	1.45	1.31	1.15	1.04	1

kde  $f_0 = 12$  je výpočtový součinitel pro daný typ ložiska

Tab. 1 SKF (kuličková ložiska) [8]

Obecně se brusle nachází v různých polohách natočení (Obr. 48). Na ložiska tedy působí radiální složka síly  $F_{Lr}$  a axiální složka síly  $F_{Lax}$ . Pokud je úhel  $\alpha = 0 [^\circ]$  ložisko není namáháno axiální složkou síly.



Obr. 48 Uvažované rozložení sil při jízdě na in-line bruslích

*síla působící při odrazu*

$$\phi d_k = 78 [mm]$$

$$F [N]$$

$$F_{Lr} = \frac{F \cdot \cos(\alpha)}{8} [N]$$

$$F_{Lax2} = \frac{F \cdot \sin(\alpha)}{8} [N]$$

Stanovení koeficientů  $X$  a  $Y$ .

$$\frac{F_{axi}}{F_{ri}} > e_i \Rightarrow \text{viz. tab. 1} \Rightarrow X_2; Y_2$$

$$\frac{F_{axi}}{F_{ri}} \leq e_i \Rightarrow X_1 = 1; Y_1 = 0$$

ekvivalentní zatížení ložiska

$$F_{e i} = X_{1,2} * F_{L r i} + Y_{1,2} * F_{L a x i} [N]$$

celkové ekvivalentní zatížení ložiska

$$F_{e L} = \sqrt[m]{\frac{\sum_1^i (F_{e i}^m * n_i * L_{h i})}{\sum_1^i (n_i * L_{h i})}} [N]$$

kde  $m = 3$  (pro bodový styk kuličkového ložiska)

$$n_i = \frac{v_i}{\pi * d_k} \left[ \frac{\text{ot.}}{s} \right], \text{ kde } v_i \left[ \frac{m}{s} \right] \text{ je uvažovaná rychlost kolečka}$$

$L_{h 1}$  [s] je uvažovaná doba zátěže

celkové ekvivalentní otáčky ložiska

$$n_{e L} = \frac{\sum_1^i (n_i * L_{h i})}{\sum_1^i L_{h i}} \left[ \frac{\text{ot.}}{s} \right]$$

trvanlivost ložiska

$$L_{h L} = \frac{16\ 666}{n_{e L}} * \left( \frac{C_L (\text{dynamická})}{F_{e L}} \right)^m \left[ \frac{16\ 666}{\text{min}^{-1}} * \frac{N}{N} = \text{hod.} \right]$$



## 5. Zhodnocení a závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval problematikou s používáním in-line bruslí a jejich zastavením. Z navrhovaných tří variant jsem detailně zpracoval variantu se systémem vázání. Tato varianta mi přišla nejúčinnější z hlediska kompaktnosti a využitelnosti pro začátečníky až středně pokročilé jezdce. Cenové náklady této varianty by závisely na počtu vyrobených kusů. Odhaduji, že cena by mohla být stanovena na cca. 2 000 [Kč]. Celé brusle by tedy byly v průměru dražší o tuto částku.

Další variantou bylo brzdění pomocí kotoučového systému, kterou jsem pouze rozpracoval, jelikož dálkové ovládání mechanického i hydraulického systému by bylo velice problematické.

Možnost jak zastavit brusle v budoucnosti bych si představoval pomocí použití speciálních koleček, ve kterých by docházelo k brzdění pomocí elektromotůrků. Tyto kolečka by mohla mít jedno dvouřadé ložisko ukryté pod pláštěm kolečka, který by byl v kontaktu s povrchem bruslařské plochy. Pokud by se tento plášť opotřeboval, mohli bychom ho jednoduše vyměnit. Odpadla by tím také cenová náročnost na koupi celého nového kolečka, která vyjde při koupi 8 ks skoro stejně draho jako nové in-line brusle, jejichž cena je nejčastěji 2 300 [Kč]. Další výhodou by mohlo být zmiňované zabudování senzoru pro snímání rychlosti bruslaře. Problém by byl pravděpodobně v napájení celého systému.



Obr. 49 Nová in-line brusle s vázáním a hydraulickými písty brzd

## 6. Použitá literatura

### 6.1. Knižní publikace

STANĚK, J., NĚMEJC, J. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací ZČU. Plzeň, 2005*

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

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra : Obecné strojní části 2. Praha: Computer Press, 2000*

### 6.2. Internetové odkazy

- |  |            |
|--|------------|
| [1] <a href="http://www.sportovnikurzy.cz">www.sportovnikurzy.cz</a> | 23.10.2011 |
| [2] <a href="http://cs.wikipedia.org">cs.wikipedia.org</a>           | 23.10.2011 |
| [3] <a href="http://www.net-market.cz">www.net-market.cz</a>         | 23.10.2011 |
| [4] <a href="http://www.in-line-brusle.cz">www.in-line-brusle.cz</a> | 23.10.2011 |
| [5] <a href="http://www.centrum sportu.cz">www.centrum sportu.cz</a> | 29.5.2012  |
| [6] <a href="http://www.jp-sport.cz">www.jp-sport.cz</a>             | 28.11.2011 |
| [7] <a href="http://www.flat.cz">www.flat.cz</a>                     | 6.4.2012   |
| [8] <a href="http://www.skf.com">www.skf.com</a>                     | 11.10.2011 |

## 7. Použitý software

Siemens NX v. 7.5

Microsoft Word 2010

Autodesk Inventor Professional 2011

AutoCAD 2007

## 8. Seznam obrázků

Obr. 1 Historická brusle <sup>[1]</sup> .....	3
Obr. 2 Závodní brusle používaná pro rychlobruslení <sup>[3]</sup> .....	4
Obr. 3 Brusle pro fitness jízdu <sup>[3]</sup> .....	5
Obr. 4 Různé typy koleček dle zaměření in-line bruslení <sup>[4]</sup> .....	5
Obr. 5 Speciální kolečko měřící rychlost in-line brusle se zobrazením na hodinkách <sup>[5]</sup> .....	6
Obr. 6 Keramické ložisko powerslide cronitect <sup>[6]</sup> .....	7
Obr. 7 První varianta rámu brusle .....	10
Obr. 8 Výsledný rám in-line brusle .....	10
Obr. 9 Výpalek rámu in-line brusle z 3 [mm] hliníkového plechu.....	11
Obr. 10 Na-ohýbaný rám in-line brusle .....	11
Obr. 11 Svařenec rámu in-line brusle.....	11
Obr. 12 Závěrečné vyvrtání děr v rámu pro uchycení ostatních dílu in-line brusle.....	12
Obr. 13 Vložka podrážky zajišťující spojení boty a rámu in-line brusle .....	13
Obr. 14 Podrážka pro botu se systémem pro vázání .....	14
Obr. 15 Vázání namontované na rámu brusle .....	15
Obr. 16 Montáž předního úchytu .....	15
Obr. 17 Montáž lišty a čepu pro páku .....	16
Obr. 18 Sestava zadního úchytu .....	16
Obr. 19 Sestavení páky a ramene páky .....	16
Obr. 20 Zadní úchyt nasunutý na rybinové liště .....	17
Obr. 21 Páka a její rameno nasazené na čepu .....	17
Obr. 22 Spojení nastavovacího čepu s ramenem páky a jeho fixace .....	17
Obr. 23 Sestava aretačního systému s pákou .....	18
Obr. 24 Řez podél páky a rámu in-line brusle s aretačním systémem .....	18
Obr. 25 Řez středem podélné roviny rámu in-line brusle zobrazující postup nasazení boty ...	19
Obr. 26 Řez podél páky s celým mechanismem vázání .....	20
Obr. 27 Příčný řez zadním úchytem.....	20
Obr. 28 Celkový pohled na spojení boty s rámem in-line brusle.....	21
Obr. 29 Rám pro nastavbu na lední bruslení .....	21
Obr. 30 Celkový pohled na spojení boty s rámem lední brusle na lední ploše .....	22
Obr. 31 Centrální skelet kolečka .....	23
Obr. 32 Poloviční řez 3D modelu kolečka .....	24
Obr. 33 Kotouč brzdy.....	24
Obr. 34 Spacer – vymezovač.....	24

Obr. 35 Popis sestavy hydraulického třmenu s postupem montáže .....	25
Obr. 36 Koncový třmen pravé strany s odvodušňovacím ventilem .....	26
Obr. 37 Horizontální a vertikální řez sestavy hydraulického třmenu .....	26
Obr. 38 Popis sestavy mechanického pístu .....	27
Obr. 39 1D síť na zjednodušeném modelu rámu in-line brusle .....	28
Obr. 40 1D síť samotného kolečka.....	29
Obr. 41 Zatížení a okrajové podmínky zatěžovaného rámu in-line brusle .....	30
Obr. 42 Napětí dle hypotézy von Mises na zatíženém rámu in-line brusle .....	31
Obr. 43 Posun rámu in-line brusle při zatížení.....	32
Obr. 44 Graf závislosti rychlosti na dráze při konstantním zpomalování .....	33
Obr. 45 Silové účinky působící při brzdění kolečka .....	34
Obr. 46 Rozložení sil na řezu zadního úchyty; pohled na mechanický a hydraulický píst.....	35
Obr. 47 Rozložení sil na řezu předního úchyty .....	36
Obr. 48 Uvažované rozložení sil při jízdě na in-line bruslích.....	40
Obr. 49 Nová in-line brusle s vázáním a hydraulickými písty brzd.....	42

## 9. Seznam tabulek

Tab. 1 SKF (kuličková ložiska) <sup>[8]</sup> .....	39
---	----