



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

## VYUŽITÍ HYDRAULICKÝCH KOTOUČOVÝCH BRZD U SILNIČNÍCH KOL

THE USE OF HYDRAULIC DISC BRAKES FOR ROAD BIKES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Barbora Dvořáková

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. František Šebek, Ph.D.

BRNO 2018



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky  
Studentka: **Barbora Dvořáková**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. František Šebek, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Využití hydraulických kotoučových brzd u silničních kol

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracujte rešerši na téma použití hydraulických kotoučových brzd u silničních kol a proveďte srovnání s brzdami ráfkovými. Pomocí modelu rámu a přední vidlice silničního kola simulujte metodou konečných prvků zatížení od brždění. Ze získaných výsledků posuďte vhodnost použití kotoučových brzd u silničních kol.

#### Cíle bakalářské práce:

1. Rešeršní studie týkající se hydraulických kotoučových brzd a porovnání s brzdami ráfkovými.
2. Numerické simulace zatížení rámu a přední vidlice při využití kotoučových a ráfkových brzd.
3. Formulace závěrů ohledně využití hydraulických kotoučových brzd u silničních kol.

#### Seznam doporučené literatury:

MAIER, O., GYÖRFI, B., WREDE, J., ARNOLD, T. a MOIA, A. (2017): In-depth analysis of bicycle hydraulic disc brakes. *Mechanical Systems and Signal Processing*, roč. 95, str. 310-323, DOI:10.1016/j.ymssp.2017.03.044.

LIE, D. a SUNG, Ch.-K. (2010): Synchronous brake analysis for a bicycle. *Mechanism and Machine Theory*, roč. 45, č. 4, str. 543-554, DOI:10.1016/j.mechmachtheory.2009.11.006.

NAKAE, T., RYU, T., SUEOKA, A., NAKANO, Y. a INOUE, T. (2011): Squeal and chatter phenomena generated in a mountain bike disc brake. *Journal of Sound and Vibration*, roč. 330, č. 10, str. 2138-2149, DOI:10.1016/j.jsv.2010.08.027.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 5. 10. 2017



prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.  
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty



## ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na zhodnocení využití hydraulických kotoučových brzd u silničních kol. Práce je rozdělena do dvou částí. První část tvoří rešerše zaměřující se na odlišnosti v konstrukci a vlastnostech hydraulických kotoučových brzd oproti brzdám ráfkovým se zvláštním důrazem na vyzdvižení veškerých kladů a záporů v porovnání s brzdami ráfkovými. Hodnocení je provedeno jak z funkčního hlediska, tak i z hlediska uživatelského se zohledněním odlišných potřeb a požadavků rekreačních a profesionálních cyklistů. Předmětem druhé části je numerická simulace zatížení rámu a přední vidlice pro oba typy brzd. Výstupem práce je komplexní posouzení vhodnosti použití hydraulických kotoučových brzd u silničních kol.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Hydraulické kotoučové brzdy, ráfkové brzdy, silniční kolo, brzdění, metoda konečných prvků, numerická simulace

## ABSTRACT

This bachelor's thesis is focused on the usage of hydraulic disc brakes on road bikes. The thesis is divided into two parts. In the first part, there is a research focused on differences in construction and properties of hydraulic disc brakes in comparison with rim brakes. The main emphasis is placed on evaluating all advantages and disadvantages of the hydraulic disc brakes in comparison with rim brakes. Evaluation is conducted both from the functional point of view and user point of view with taking different requirements of both recreational level cyclist and professional cyclist into account. The aim of the second part is the numerical simulation of loading of the frame and fork for both types of brakes. The goal of this part is an overall assessment of suitability of hydraulic disc brakes for the road bikes.

## KEYWORDS

Hydraulic disc brakes, rim brakes, road bike, braking, finite element method, numerical simulation

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

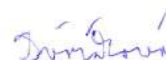
DVOŘÁKOVÁ, B. *Využití hydraulických kotoučových brzd u silničních kol*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 61 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. František Šebek, Ph.D.

---

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Františka Šebka, Ph.D., a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2018



.....  
Barbora Dvořáková

---

## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla poděkovat svému vedoucímu Ing. Františku Šebkovi, Ph.D., za ochotu a trpělivost při udělování cenných rad a připomínek. Dále bych chtěla poděkovat panu Petru Heiníkovi z firmy RB za poskytnuté údaje o rámu RB RR a v neposlední řadě své rodině a kamarádům za podporu během celého studia.

---

## OBSAH

Úvod .....	10
Cíle práce.....	11
1 Přenos brzdné síly.....	12
1.1 Ráfkové brzdy.....	12
1.2 Hydraulické kotoučové brzdy .....	13
1.3 Porovnání .....	17
2 Brzdové segmenty .....	18
2.1 Hydraulické kotoučové brzdy .....	18
2.2 Ráfkové brzdy.....	19
3 Seřízení vzdálenosti brzdových destiček a špalků od dosedací plochy.....	21
3.1 Ráfkové brzdy.....	21
3.2 Hydraulické kotoučové brzdy .....	21
3.3 Porovnání .....	22
4 Využití širších plášťů.....	23
5 Hmotnost .....	25
6 Aerodynamika .....	28
7 Dostupnost sad pro hydraulické kotoučové brzdy a pořizovací náklady .....	30
7.1 Historie.....	30
7.2 Současnost .....	30
7.3 Shrnutí.....	33
8 Hydraulické kotoučové brzdy ve World Tour.....	34
8.1 Historie.....	34
8.2 Servisní náročnost.....	34
8.3 Shrnutí.....	35
9 Numerická simulace zatížení rámu a vidlice.....	36
9.1 Materiál .....	36
9.2 Geometrie.....	36
9.3 Zatížení .....	39
9.4 Vazby .....	46
9.5 Síť .....	47
9.6 Výsledky .....	48
10 Závěr.....	53
11 Seznam použitých zdrojů.....	54
12 Seznam použitých zkratk a symbolů .....	60
13 Seznam příloh.....	61

## ÚVOD

Silniční kola jsou na rozdíl od horských kol již po desetiletí konstrukčně takřka identická. Od dob, kdy Tulio Campagnolo představil v první polovině minulého století přehazovačku, lze u silničních kol pozorovat jen pár opravdových milníků. Nášlapné pedály, přechod z ocelových rámu na rámy ze slitin hliníku a posléze z karbonu, řazení integrovaného v brzdových pákách, zvětšení rozsahu převodů, elektronické řazení – poměrně stručný výčet inovací.

Je až s podivem, že u brzdového systému jakožto velmi důležité součásti silničního kola nedošlo po desítky let k žádné zásadní inovaci. Způsob brzdění zůstává po léta neměnný se všemi svými neduhy. Cílená destrukce ráfků a nízká účinnost v mokru patří k těm nejzávažnějším.

Přesto však vstup Hydraulických Kotoučových Brzd (HKB) pro silniční kola na trh nelze považovat primárně za reakci na stesky silničních cyklistů týkající se účinnosti brzd. Obecně panuje mezi těmito cyklisty názor, že účinek Ráfkových Brzd (RB) se jeví dostatečným. Tomuto názoru dává za pravdu fakt, že limitem při brzdění je a vždy bude adheze pláště. Avšak každému, kdo si kdy vyzkoušel jízdu s HKB na horském kole či třeba i jiném, musela na mysli vyvstat otázka, zda-li by i přes omezení dané adhezí silničního pláště nešlo přenést alespoň některé klady hydraulických kotoučových brzd i na silniční kola.

Pro výrobce je pochopitelně každý náznak mezery na trhu jasným impulzem k jejímu zaplnění, a tak došlo v roce 2015, po prvním nepříliš úspěšném pokusu v roce 2013, k představení plnohodnotné sady pro HKB. Již od uvedení na trh však HKB vzbuzují značnou kontroverzi. Zatímco World Tour řeší vytrvale otázku bezpečnosti brzdových kotoučů, vyšších požadavků na servisní pomoc a problémů, které přináší peloton zahrnující cyklisty jak s HKB, tak i s RB, rekreační cyklisté řeší otázky vyšších pořizovacích nákladů a náročnější údržby. Výrobci se pak zaobírají problémem odlišného namáhání silničních kol s HKB a otázkou, zda-li konkrétní rám vyžaduje oproti verzi pro RB vyztužení či ne.

Celá problematika je v této práci uchopena komplexně se snahou objektivně zhodnotit veškeré klady a zápory HKB a to z různých úhlů pohledu.

## CÍLE PRÁCE

Cílem této práce je provést rešeršní studii na téma využití hydraulických kotoučových brzd u silničních kol a porovnat tento typ brzd s brzdami ráfkovými. Dále si práce klade za cíl numericky simulovat zatížení rámu a přední vidlice při využití jak hydraulických kotoučových, tak ráfkových brzd. Očekávaným výstupem z této práce je pak formulace závěru o vhodnosti použití hydraulických kotoučových brzd u silničních kol.

# 1 PŘENOS BRZDNÉ SÍLY

## 1.1 RÁFKOVÉ BRZDY

### 1.1.1 SKLADBA BRZDOVÉHO SYSTÉMU A PRINCIP FUNKCE

Hlavní části brzdového systému tvoří brzdová páka, lanko, bovden a brzdová čelist, v níž jsou umístěny brzdové špalky. Princip funkce je následující – stlačení brzdové páky dojde k zatáhnutí za brzdové lanko, které je na druhém konci pevně uchyceno v brzdové čelisti. Čelist se sevře a brzdové špalky se dostanou do kontaktu s ráfkem, čímž dojde ke vzniku příslušné třecí síly a dochází ke zpomalování kola.

### 1.1.2 LANKA A BOVDENY

Brzdovou páku s brzdovými čelistmi spojuje lanko chráněné bovdenem. Lanko je vyrobeno z řady drátů a na jednom konci zakončeno koncovkou, která je uchycena v brzdové páce v úchytném místě. Druhý konec je připevněn k brzdové čelisti pomocí podložky a šroubu. Brzdová lanka jsou povětšinou vyrobená z nerezové oceli a mají minimální průměr 1,5 mm, což je více, než mají řadicí lanka [1]. Aby bylo sníženo tření v bovdenu, využívají výrobci různých technologií, jako je například broušení, leštění nebo nanášení polymeru [2]. Plynulé vedení lanek k brzdovým čelistem umožňují bovdeny. Rozlišují se dva základní typy [1]. Prvním z nich je bovden se spirálou, který se skládá z plastové vložky, kolem které je navinuta ocelová spirála. Spirála je překryta plastem, který ji chrání před korozí. Dalším typem je bovden spletený, u kterého je spirála nahrazena spletenými dráty. Tato konstrukce umožňuje jednodušší ohnutí, bovdeny však nejsou tak tuhé. Menší tuhost se projevuje při stlačení brzdové páky – páka se jeví měkčí.

### 1.1.3 ÚDRŽBA

Funkci RB často limitují bovdeny. Důležitou roli hraje stav bovdeny, správné zakončení, pevné usazení v koncovce a opominout nelze ani samotnou montáž [3]. Je důležité dodržet správnou délku vzhledem k úchytným místům na rámu a k řídkům. Bovden nesmí být krátký, ale zároveň by měl opisovat pouze jeden oblouk a ne tvar „S“. Dále je důležité provést správné zakončení, tj. kolmo k ose bovdeny a bez otřepů. Doporučuje se použít speciální kleště a následně čelo bovdeny srovnat na brusce či pilníkem a začistit. Na takto zabroušený konec se poté umísťuje koncovka, jejíž hlavní účel je zabránit nečistotám v proniknutí do bovdeny. Současné bovdeny bývají předmazány z výroby a nevyžadují tak při montáži žádné mazání.

Při montáži lanka je nutné nejprve provléct koncovku lanka úchytem v brzdové páce, poté se lanko provleče bovdenem, utáhne se šroubem v brzdové čelisti a teprve následně se zkracuje, čímž se předejde roztřepení během provlékání. Po zkrácení na požadovanou délku se instaluje koncovka, která zabrání roztřepení lanka během provozu.



## 1.2 HYDRAULICKÉ KOTOUČOVÉ BRZDY

### 1.2.1 SKLADBA BRZDOVÉHO SYSTÉMU

Brzdový systém se skládá z brzdové páky, ve které je umístěn hlavní válec a rezervoár na brzdovou kapalinu, brzdových hadiček, jenž tento válec spojují se závislými válci v brzdovém třmení, brzdových destiček uchycených ve třmení a kotouče v jisté malé vzdálenosti od destiček [4].

### 1.2.2 PRINCIP FUNKCE

Síla na brzdové páce způsobí pohyb pístu v hlavním válci. V důsledku tohoto pohybu je brzdová kapalina vytlačena z hlavního válce skrze brzdové hadičky do závislých válců umístěných v brzdovém třmení. Tyto válce jsou spojeny s brzdovými destičkami. Výsledkem je zvýšení tlaku v pístech. Po překonání mezery mezi brzdovou destičkou a brzdovým kotoučem písty zatlačí destičky proti kotouči, čímž vznikne nezbytné tření, které zapříčiní zpomalení kola.

Z fyzikálního hlediska je funkce založena na Pascalově zákoně, který říká, že tlak vyvolaný vnější silou, která působí na kapalinu v uzavřené nádobě, je ve všech místech kapaliny stejný [5]. Stlačíme-li tedy píst menšího průměru umístěný v hlavním válci silou vyvinutou stiskem brzdové páky, vyvolá to tlak v brzdové kapalině, který se brzdovou hadičkou šíří až k pístům ve třmení. Tyto písty mají větší průměr než písty v páce, a proto dle Pascalova zákona síla na ně působící je větší než ta působící na páce. Pro kapalinu navíc platí, že změna tlaku se šíří rychlostí blízkou rychlosti zvuku v daném médiu, tedy odezva brzdového systému je velmi rychlá.

### 1.2.3 BRZDOVÉ HADIČKY

Brzdová hadička se skládá ze tří částí [6]. Vnitřní hadička je vyrobena z polymeru, velmi často z teflonu, neboť tento materiál chemicky nereaguje s brzdovou kapalinou. Další vrstvou je aramid v podobě kevlarových vláken majících funkci výztuhy. Vnější vrstvu tvoří opět polymer, který jak hadičku, tak rám chrání před mechanickým poškozením. U horských kol se také můžeme setkat s tím, že konstrukce je vyztužena pletivem z nerezové oceli [7].

### 1.2.4 BRZDOVÁ KAPALINA

#### DOT

Brzdová kapalina typu DOT je kapalina na bázi glykolu obsahující čtyři základní složky – maziva, ředidla a rozpouštědla, modifikátory, inhibitory [8].

Maziva představují 20–40 % obsahu a slouží ke snížení tření. Jedná se o polyglykoly jako například polyethylen nebo polypropylen. Ředidla a rozpouštědla tvoří 50–80 % brzdové kapaliny, neboť významně ovlivňují viskozitu a bod varu. Z chemického hlediska se jedná o glykolethery nebo ethylenglykoly. Modifikátory brání zvětšení objemu těsnících prvků přicházejí-

cích do kontaktu s brzdovou kapalinou. Zvětšení objemu vede k změknutí pryže, což má za následek zvýšení otěru a následné zvýšení rizika poškození těsnícího prvku účinkem vysokých tlaků v hydraulickém systému [9]. Inhibitory zpomalují korozi a oxidaci [8].

Kapaliny na bázi glykolu jsou hygroskopické – absorbují vlhkost z okolí. Voda absorbovaná kapalinou je disperzní a netvoří tedy kapky, které nejenže přispívají ke korozi, ale zejména ovlivňují teplotu varu a odolnost vůči mrazu. Při brzdění dochází k přeměně kinetické energie na teplo, proto je teplota varu pro brzdovou kapalinu klíčový údaj. S množstvím vody obsaženém v kapalině se teplota varu snižuje. Tento fakt je natolik důležitý, že byl zohledněn i v normách. Nejpoužívanější normu zavedlo americké ministerstvo dopravy, jehož název „Department of Transportation“ – zkráceně DOT, se stal součástí značení brzdových kapalin po celém světě [10].

Dle této normy jsou brzdové kapaliny děleny do tříd (např. DOT 3, DOT 4) podle teplot tzv. suchého a mokrého bodu varu. Suchý bod varu je bod varu nové brzdové kapaliny, mokrý bod varu je bod varu brzdové kapaliny, která obsahuje 3,7 % vody, což odpovídá přibližně 1–2 rokům používání. Předepsané minimální hodnoty suchých a mokrých bodů varu dle [11] jsou uvedeny v tabulce 1.1.

Tabulka 1.1: Předepsané minimální hodnoty suchých a mokrých bodů varu pro DOT kapaliny [11]

Třída kapaliny	Suchý bod varu [°C]	Mokrý bod varu [°C]
DOT 3	205	140
DOT 4	230	155
DOT 5	260	180
DOT 5.1	260	180

Zahřeje-li se brzdová kapalina na teplotu varu, začne voda v ní vařit a posléze v kapalině vznikají kapičky páry. Pára je na rozdíl od takřka nestlačitelné brzdové kapaliny stlačitelná, což má za následek nerovnoměrný chod páky – dochází k jejímu tzv. propadání, které velmi negativně ovlivňuje účinek brzd. V extrémním případě se může stát, že brzdový efekt se nedostaví ani po zmáčknutí brzdové páky až k řídkům. Tento jev je někdy nazýván jako tzv. vadnutí brzd a svým projevem je podobný zavzdušnění brzd.

## MINERÁLNÍ OLEJ

Na rozdíl od DOT kapalin, jsou minerální oleje hydrofobní [12]. Pokud se přes mikroskopické póry v těsnění nebo hadičkách dostane voda do systému, nerozptýlí se v kapalině, nýbrž vytvoří kapky, které mají tendenci se následně spojovat. Vzhledem k tomu, že voda má větší hustotu než brzdová kapalina, dochází k jejímu hromadění v brzdovém třmení. Toto je velmi nevhodné, neboť tato oblast je při brzdění vystavena vysokým teplotám. Při zahřátí již na pouhou teplotu varu vody poté dochází vadnutí brzd.

Na rozdíl od DOT kapalin se na minerální oleje nevztahuje žádná norma, a tak se body varu minerálních olejů liší v závislosti na výrobcích. Srovnání bodů varu minerálních olejů některých výrobců je provedeno v tabulce 1.2.

Tabulka 1.2: Body varu minerálních olejů [12]

Výrobce	Bod varu [°C]
Shimano	280
Magura	120
Juice Lubes	290

### KOMPATIBILITA BRZDOVÝCH KAPALIN

Minerální olej – DOT: Minerální oleje nejsou mísitelné ani zaměnitelné s brzdovými kapalinami DOT. Aby se předešlo záměně, která by vedla k destrukci brzdového systému, bývá většinou typ použitého média uveden nejen v uživatelské příručce, nýbrž i přímo na brzdě samotné v blízkosti odpouštěcího otvoru.

DOT – DOT: Kapaliny na bázi glykolu se mohou zaměňovat i mísit – tedy DOT 3, DOT 4 a DOT 5.1 jsou vzájemně kompatibilní. Žádná z těchto kapalin však není ani zaměnitelná, ani mísitelná s DOT 5, neboť ta je jakožto jediná DOT kapalina na bázi silikonu.

Minerální olej – minerální olej: Výrobci HKB Shimano a Campagnolo<sup>1</sup> prodávají každý vlastní minerální olej. Firma Rotor předepisuje pro své brzdy minerální olej od firmy Magura. Všichni výrobci shodně uvádějí, že do jejich systému patří pouze tento jimi používaný olej, avšak zkušenosti cyklistů jsou takové, že oleje lze zaměňovat bez vlivu na funkci [13]. Na trhu jsou i alternativní výrobci minerálního oleje (např. Juice Lubes nebo Cyclo Tools), kteří uvádí, že jejich výrobek je vhodný pro všechny HKB určené pro minerální olej.

## 1.2.5 ÚDRŽBA

### VÝMĚNA BRZDOVÉ KAPALINY

Brzdová kapalina se časem znehodnotí a je třeba ji vyměnit. Intervaly či okolnosti pro výměnu se u jednotlivých výrobců značně liší. Například Shimano doporučuje měnit minerální olej v okamžiku, kdy olej v zásobní nádržce znatelně změní barvu [14], zatímco SRAM zmiňuje u DOT 5.1 interval šesti měsíců [15]. Alternativní výrobci uvádí interval až dva roky. Vždy však záleží zejména na provozních podmínkách. Dále je třeba kontrolovat, zda v těsněních nebo spojích hadiček nedochází k úniku kapaliny.

### VZDUCH V SYSTÉMU

Pocit'ujeme-li měkký a dlouhý chod brzdové páky<sup>2</sup>, který po několikanásobném stisknutí přejde v násobně tvrdší, je systém zavzdušněn a je třeba provést jeho odvzdušnění [16].

Odvzdušnění se provádí pomocí odvzdušňovací sady, která je znázorněna na obrázku 1.1. Detailní postup u jednotlivých výrobců se liší, princip je však stejný. Pro názornost bude popsáno odvzdušnění HKB firmy SRAM.

<sup>1</sup> Lze se domnívat, že minerální olej firmy Campagnolo je totožný s produktem firmy Magura, neboť Magura se, jak Campagnolo uvádí na svých stránkách, podílela na vývoji jejich HKB [76].

<sup>2</sup> Pro měkký a dlouhý chod brzdové páky se vžil hovorový pojem „houbovitost“.



Obrázek 1.1: Odvzdušňovací sada [17]

Nejprve se odstraní kolo a vyjmou se brzdové destičky, na jejichž místo se umístí montážní blok sloužící jako zarážka pístků při stisknutí páky [18]. Následně se otevře odpouštěcí otvor na třmeni a připojí se k němu speciální stříkačka naplněná do poloviny brzdovou kapalinou. Poté se otevře odpouštěcí otvor na brzdové páce a připojí se k němu druhá stříkačka, tentokrát naplněná do jedné čtvrtiny. Svorka hadičky na stříkačce u páky se odblokuje. Následně se zmáčkne stříkačka u třmene tak, aby se stříkačka u páky naplnila přibližně do necelé jedné poloviny. Svorky hadičky na stříkačce u páky se zablokuje. Následně se pomocí stahovacího pásku nebo gumičky zaaretuje k řídlítkům brzdová páka tak, aby zůstala ve stlačené poloze. Svorka hadičky na stříkačce u třmene se odblokuje. Vícenásobným nasátím a vypuštěním kapaliny ze stříkačky u třmene se ze systému odstraní vzduchové bubliny. Páka se odaretuje, přidrží se rukou a postupně se vrací do nestlačené polohy, přičemž se zároveň pomocí stříkačky u třmene do systému vtlačuje brzdová kapalina. Svorka hadičky na stříkačce u třmene se zablokuje, celá stříkačka u třmene se odinstaluje a odpouštěcí otvor u třmene se uzavře. Dále se pracuje pouze se stříkačkou u páky. Nejprve se odblokuje svorka hadičky. Vícenásobným nasátím a vypuštěním kapaliny ze stříkačky se z hlavního válce (zásobníku na kapalinu) odstraní vzduchové bubliny. Brzdová páka se několikrát stlačí. Následně se opakuje celý proces s vícenásobným nasátím a vypuštěním kapaliny ze stříkačky u páky. Stříkačkou se vtlačí kapalina zpět do hlavního válce a svorka hadičky se uzavře. Stříkačka se odinstaluje a odpouštěcí otvor se uzavře. Ze třmene se vyjme montážní blok, nainstalují se brzdové destičky a vloží se kolo. Několikanásobně se zmáčkne brzdová páka, aby došlo k nastavení pístků.

### SPECIFIKA PRÁCE S DOT

S chemickými vlastnostmi brzdových kapalin úzce souvisí zásady pro skladování. Zatímco hydrofobní minerální olej lze skladovat prakticky neomezeně, DOT kapalina se vzhledem ke své hygroskopičnosti musí nejdéle po dvanácti měsících po otevření vyřadit, neboť ztrácí své vlastnosti.

Při práci je také třeba dávat pozor na potřísnění rámu, vidlice a všech komponentů kola, neboť by mohlo dojít k rozleptání. Po manipulaci s DOT kapalinou se vždy doporučuje exponované

oblasti kolem odpouštěcích otvorů (tj. třmeny, páky, gumy na pákách) vyčistit izopropylalkoholem.

### 1.3 POROVNÁNÍ

Největší přednost RB spočívá v jednoduchosti systému. Pokud systém selže, bývá příčina očividná, neboť prakticky jedinou věcí, která může způsobit selhání, je přetržení lanka. Následná oprava je svou povahou nenáročná a zvládne ji každý průměrný cyklista v řádech minut. Potřebné nářadí čítá pouze imbusové klíče a kleště na lanka a bovdeny, které lze nahradit štípacími kleštěmi. Náhradní lanko dnes lze zakoupit kromě specializovaných cykloprodejen také v různých sportovních řetězcích a mnohdy také v hypermarketech. S ohledem na fakt, že imbusové klíče jsou součástí multiklíče považovaného za nedílnou součást cyklistovy výbavy a že štípací kleště se najdou téměř v každé domácnosti, lze tvrdit, že opravu lze provést kdekoliv.

Co se týká nevýhod, hladkost chodu páky silně závisí na stavu lanek a bovdenů, což úzce souvisí s vyšším třením v systému. Při stisknutí brzdové páky je jasně znatelný počáteční „mrtvý chod“, tedy doba počínající stisknutím páky a končící dosednutím špalků na ráfek. Modulace je charakteristikou brzdové soustavy a je v porovnání s HKB velmi špatná.

Systém HKB je znatelně složitější. Příčinou selhání je většinou buď přehřátí brzdové kapaliny nebo zavzdušnění systému, což jsou jevy s velmi podobným projevem. Ani základní oprava spočívající v odvzdušnění nebo výměně kapaliny však na rozdíl od RB není triviální, a přestože zkušený cyklista ji zvládne, je pravděpodobnější, že uživatel bude muset navštívit servis. Minimální nářadí k vykonání této základní opravy je odvzdušňovací sada a imbusové či TORX klíče (odvíjí se od výrobce HKB). Pochopitelně je nutné obstarat potřebnou kapalinu, což vzhledem k faktu, že každý výrobce doporučuje jinou, může být obtížnější. Servis je žádoucí provádět v dílně a je třeba brát zvýšený ohled na bezpečnost práce.

Největší předností HKB je možnost modulace brzdové síly jezdcem a fakt, že tření v systému je prakticky zanedbatelné.

## 2 BRZDOVÉ SEGMENTY

### 2.1 HYDRAULICKÉ KOTOUČOVÉ BRZDY

#### 2.1.1 BRZDOVÉ DESTIČKY

Brzdová destička je uchycena v brzdovém třmenu pomocí rozpěrné pružiny a zajištěna závlačkou. Tvoří ji kovová destička, na které je přilepena samotná brzdná směs [19]. Brzdná směs může být organická nebo anorganická (častěji nazývána sintrovaná<sup>3</sup> nebo metalická), méně často se lze setkat s kombinovanou, tzv. semi-metalickou, směsí. Každá směs je svými vlastnostmi vhodná pro jiné použití.

U organické směsi se používají práškové nebo vláknité třecí materiály z minerálních, kovových, keramických nebo organických látek, které jsou vázány organickými pojivy (např. syntetická pryskyřice nebo kaučuk) a velmi dobře odolávají vysokým teplotám. Svou povahou je směs vhodná pro neagresivní jízdu v suchém prostředí. Výhody a nevýhody organické směsi jsou uvedeny v tabulce 2.1.

Tabulka 2.1: Výhody a nevýhody organické brzdové směsi [20]

Organická směs	
Výhody	Nevýhody
Rychle se zajede	Menší výdrž (zejména v mokru)
Lepší modulace	Menší výkon při delších sjezdech
Měkčí a tedy méně hlučná	
Menší přenos tepla do brzdové kapaliny	
Menší opotřebení kotouče	

Anorganickou směs tvoří kovový prášek, který je následně sintrován. Směs je vhodná pro agresivní jízdu, těžší jezdce a do mokrého prostředí. Klady a zápory směsi jsou popsány v tabulce 2.2.

Tabulka 2.2: Výhody a nevýhody anorganické brzdové směsi [20]

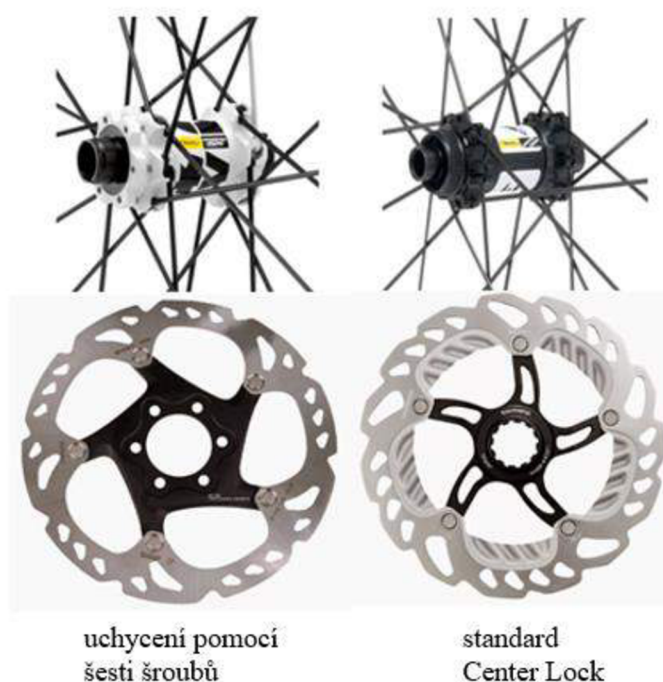
Anorganická směs	
Výhody	Nevýhody
Delší výdrž	Pomalu se zajíždí
Výkon v mokru	Hlučnost
Materiál destičky dobře odolává vysokým teplotám – k vadnutí brzdy dochází po delší době	Při dlouhých náročných sjezdech může dojít k přehřátí brzdové kapaliny
	Větší opotřebení kotouče

<sup>3</sup> Sintrace, nebo-li v oboru práškové metalurgie spékání, je výrobní technologie, při níž působením vysoké teploty ztuhne soustava pevných mikroskopických částic, čímž se zmenšuje pórovitost [77].

Semi-metalická směs kombinuje vlastnosti organické a anorganické směsi. Kovová složka tvoří obvykle 30–65 % směsi.

### 2.1.2 BRZDOVÉ KOTOUČE

U silničních kol se používají kotouče o průměru 140 mm nebo 160 mm, které lze různě kombinovat, avšak pouze pomocí adaptérů. Kotouče jsou k nábojům uchyceny pomocí šesti šroubů nebo pomocí standardu Center Lock, u kterého se kotouč nasouvá na drážku v náboji a následně upevňuje pojistným kroužkem. Oba systémy jsou znázorněny na obrázku 2.1. Na náboj standardu Center Lock lze pomocí redukce uchytnit kotouč na šest šroubů, avšak na náboj se závitů pro šest šroubů kotouč určený pro Center Lock uchytnit ani pomocí redukce nelze.



Obrázek 2.1: Možnosti uchycení brzdových kotoučů na náboj [20; 21]

Brzdná plocha kotouče je zpravidla vyráběna z temperované litiny nebo ocelolitiny obsahující legující prvky [19]. Pro lepší chlazení brzdy jsou v kotouči přídavné otvory, jak lze vidět na obrázku 2.1. Mimo brzdnou plochu se lze u propracovanějších kotoučů setkat se slitinou hliníku, která díky své násobně vyšší tepelné vodivosti oproti litině napomáhá podobně jako přídavné otvory lepšímu chlazení.

Co se týká kompatibility kotoučů s brzdovými destičkami, u těch nejlevnějších kotoučů zpravidla nebývá možnost použít sintrované destičky.

## 2.2 RÁFKOVÉ BRZDY

Při brzdění RB dochází ke tření špalku o ráfek, což s sebou nese hlavní nevýhody RB. Mnohdy velmi drahá zapletená kola, jejichž součástí jsou i ráfky, jsou zde cíleně opotřebovávány. Ráfky

jsou sice vybaveny brzdou plochou, nicméně po jisté době dojde k jejímu probrzdění a hrozí nebezpečí rozlomení ráfku. Toto kritické opotřebení indikuje zpravidla ryska umístěná na brzdě ploše. Po jejím dosažení je třeba ráfek vyměnit a tedy celá kola přeplést, což může být u dražších zapletených kol nejen velmi finančně nákladné, ale často i nemožné, neboť samotný ráfek není vždy v nabídce, případně už se nemusí vyrábět.

Další velkou nevýhodou je jízda v deštivých podmínkách. Ráfek je v porovnání s kotoučem velmi blízko silnice a je vystaven intenzivněji veškerým nečistotám. Drobný štěrku v podobě jemné černé pasty se společně s dešťovou vodou dostává na ráfek. Při brzdění pak kolo nezačne brzdit ihned, neboť minimálně jednu otáčku kola trvá, než špalek setře alespoň částečně vodu a černou pastu z ráfku a dojde k jistému brzděmu účinku. Černá pasta z ráfku přitom působí jako brusná pasta mezi špalkem a ráfkem, v důsledku čehož dochází jednak ke zdatelně většímu opotřebení obou součástí, ale také ke snížení koeficientu tření mezi ráfkem a špalkem. Po každé jízdě v dešti je pak nutné ráfky očistit a ze špalků vyndat zbytky drobného štěrku, případně, pokud byly použity ráfky ze slitin hliníku, také kovové třísky, vyskytují-li se.

Brzdové špalky pro ráfky ze slitin hliníku se vyrábí z gumy, do které se přidávají různé přísady, aby se dosáhlo vhodných vlastností v různých podmínkách. Často se lze setkat s kombinací až tří různých směsí na jednom špalku. Brzdové špalky pro karbonové ráfky jsou vyrobeny z korku (mohou však obsahovat i podíl gumy), aby lépe odváděly teplo, neboť karbonové ráfky jsou velmi teplotně náchylné – mohlo by u nich dojít k delaminaci.



## 3 SEŘÍZENÍ VZDÁLENOSTI BRZDOVÝCH DESTIČEK A ŠPALKŮ OD DOSEDACÍ PLOCHY

### 3.1 RÁFKOVÉ BRZDY

Prvotní podmínkou pro správné nastavení brzdových špalků je, že kola jsou správně vycentrována a vystředěna, tj. správně usazena v patkách rámu nebo vidlice [1]. K zajištění osy v patkách rámu se v minulosti používaly matice, dnes se používají rychloupínáky (u kotoučových brzd také pevné osy).

Seřízení brzdových špalků má čtyři základní aspekty – výškové seřízení, tečné seřízení, svislé natočení a seřízení sbíhavosti. Některé brzdové čelisti však neumožňují seřízení ve všech čtyřech směrech. Výškové seřízení spočívá v posunu špalku v brzdové čelisti nahoru nebo dolů vzhledem k brzdě ploše. Správné tečné seřízení má za následek, že špalek má směr tečny ráfku. Svislé natočení špalku by mělo být takové, aby účinná plocha špalku byla rovnoběžná s brzdou plochou ráfku. V případě, že brzdění je doprovázeno nežádoucími zvuky, je možné upravit také sbíhavost špalků a to tak, aby špalky byly tzv. do šípu – při brzdění se brzdě plochy jako první dotknou přední konce špalků a teprve potom konce zadní.

Nastavení vzdálenosti špalků od ráfků je individuální záležitostí odvíjející se od faktu, zda jezdec preferuje ostrý nástup brzdy nebo spíše pozvolný. Obecně platí, že čím více je lanko předepnuté, tím blíže jsou špalky k ráfku a tím ostřejší bude nástup. Jediné omezení spočívá v tom, že ani při maximálním zmáčknutí brzdové páky by nemělo dojít k jejímu kontaktu s říditky. Pro jemné korekce předpětí lanka se používá seřizovací šroub umístěný na silničních kolech zpravidla u vstupu lanka do brzdové čelisti, pro větší korekce je potřeba povolit šroub zajišťující lanko v brzdové čelisti a lanko v něm posunout.

### 3.2 HYDRAULICKÉ KOTOUČOVÉ BRZDY

Při tření destičky o kotouč vzniká teplo, které způsobí zvýšení teploty brzdové kapaliny, což má za následek teplotní (objemovou) roztažnost brzdové kapaliny [5]. Zvětšení objemu není velké, není však ani zanedbatelné. Pokud by brzdová kapalina navíc obsahovala vodu, vzduch nebo dokonce obojí, byl by nárůst objemu znatelnější. Aby byl zachován stejný chod brzdové páky, musel by se snížit objem brzdové kapaliny.

Při brzdění dochází k opotřebení destiček – zmenšování jejich tloušťky. Aby byl zachován stejný chod brzdové páky, musel by se zvýšit objem brzdové kapaliny.

Změna chodu brzdové páky v průběhu jízdy je nežádoucí, a proto je nutné ji eliminovat či lépe jí rovnou předcházet. V minulosti byl používán tzv. uzavřený systém [22]. Při zvětšení objemu brzdové kapaliny docházelo ke zkrácení chodu brzdové páky, v limitním případě až ke zne-možnění jejího stisknutí. Naopak opotřebení destiček se projevovalo prodloužením chodu páky. Konstrukční prvek, který eliminoval tento jev, byl ručně ovládaný ventil, pomocí kterého se regulovalo množství kapaliny v hlavním válci. Toto řešení bylo velmi nepraktické, neboť vyžadovalo přerušování jízdy.

Dnešní systémy jsou konstruovány jako tzv. otevřené. V těchto systémech je kromě rezervoáru na brzdovou kapalinu navíc expanzní nádobka, která je schopna se bez jakéhokoliv vnějšího zásahu v závislosti na změně objemu brzdové kapaliny smršťovat a roztahovat [12]. V systému je vždy množství tekutiny zaručující neměnný chod páky a automatickou kompenzaci opotřebení brzdových destiček. Vzdálenost destiček od kotouče je tedy konstantní.

### 3.3 POROVNÁNÍ

Systém HKB je v oblasti seřizování vzdálenosti k brzdovým destičkám bezúdržbový, neboť se s ohledem na opotřebení brzdových destiček reguluje sám. Systém RB vyžaduje pravidelné servisní zásahy, které však nejsou obtížné. Regulace se provede pomocí stavěcího šroubu umístěného obvykle na brzdové čelisti. K seřízení není potřeba žádného nářadí.

## 4 VYUŽITÍ ŠIRŠÍCH PLÁŠŤŮ<sup>4</sup>

V současné době se stále více prosazuje používání širších plášťů, neboť to přináší benefity v pohodlí. Čelisti RB jsou často omezujícím faktorem při volbě velikosti pláště. Maximální rozměr musí být volen s ohledem jak na vertikální, tak i na horizontální vzdálenost pláště od čelisti, přičemž je nutné brát v potaz také vzdálenost mezi nohama vidlice, resp. sedlovými vzpěrami. Přestože u silničních kol není třeba počítat se zanášením bahnem, je žádoucí nechat mezi pláštěm a čelistí větší než minimální potřebnou vůli zejména s ohledem na fakt, že výplet během jízdy pracuje a u méně kvalitních zapletených kol se může stát, že při jízdě ze sedla bude u předního kola docházet k horizontálnímu pohybu ráfku a tím i nežádoucímu kontaktu pláště s vidlicí, resp. sedlovými vzpěrami. V dalším je třeba zohlednit také fakt, že udávaný rozměr pláště nelze brát jako bez výjimky určující, neboť reálná velikost pláště se bude odvíjet také od šířky ráfku. U HKB je jediným omezujícím faktorem šířka vidlice resp. sedlových vzpěr.

Souvislost mezi širšími plášti a větším pohodlím lze najít při zkoumání ideálního tlaku v pláštích. Dlouhou dobu se na základě výzkumů jako je např. [24] v profesionálním pelotonu využívaly maximální možné tlaky dovolené výrobcem. Nicméně postupem času bylo empiricky zjištěno, že při reálné cyklistice neplatí prostě „větší tlak = menší valivý odpor“. Měření ve výše uvedeném výzkumu bylo stejně jako v ostatních výzkumech tohoto typu realizováno na hladkém povrchu, avšak ve skutečnosti vozovka takto hladká není, což významně ovlivňuje závislost mezi tlakem a koeficientem valivého odporu.

Pokud cyklista najede na nerovnost, musí zpevnit svaly středu těla, což vyžaduje energetické krytí [25]. Již dříve bylo zjištěno, že ztráty energie se projevují znatelným diskomfortem cyklisty, který má vliv na podávaný výkon. Může dojít i k situaci, kdy ztráty z přejezdu nerovností přesáhnou ztráty způsobené valivým odporem. Je tedy žádoucí tyto ztráty co nejvíce eliminovat. V silniční cyklistice je hlavním tlumícím prvkem plášť, jehož tlumicí vlastnosti určuje především konstrukce a nahuštění.

Přestože nebyly dosud zveřejněny žádné vědecké výzkumy zabývající se optimálním tlakem s ohledem na nerovnosti, nelze tuto oblast označit za zcela opomíjenou, neboť je v posledních letech předmětem zájmu výrobců plášťů a ostatních komponent.

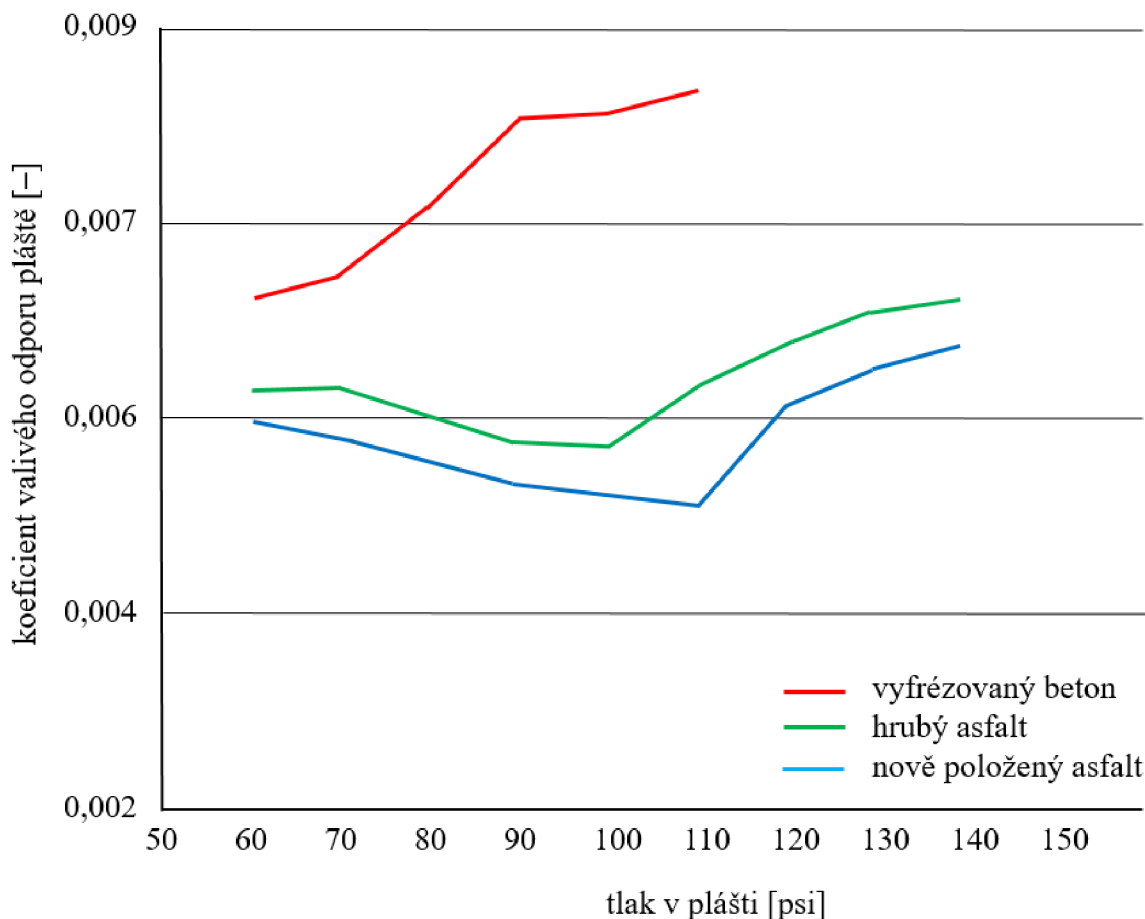
Italská firma Silca zabývající se výrobou cyklistických pump a nářadí zveřejnila spolu s výsledky testů svůj pohled na problematiku. Vedoucí testování Joshua Poertner zavádí pojem impedance<sup>5</sup>. Impedance je dle jeho teorie [26] název pro odpor vůči pohybu vpřed způsobený nerovnostmi povrchu, které se projeví ve ztrátách skrz celé cyklistovo tělo. Celkový valivý odpor se pak skládá z koeficientu valivého odporu a impedance. Impedance se však začne zásadněji projevovat až od jisté mezní hodnoty tlaku, při které nastává zlom na křivce závislosti koeficientu valivého odporu na tlaku v plášti. Zatímco do této mezní hodnoty víceméně platí závislost popsaná v [24], tedy „větší tlak = menší odpor“, od této hodnoty se již plně projevuje impedance a s rostoucím tlakem se odpor naopak zvyšuje.

---

<sup>4</sup> V této kapitole je pod pojmem „plášť“ zamýšlen plášť využívaný s duší. Obecně jsou však principy platné i pro galusky a bezdušové pláště s tmelem.

<sup>5</sup> Joshua Poertner uvádí, že při zavádění tohoto pojmu byl inspirován impedancí jakožto fyzikální veličinou využívanou v elektrotechnice, avšak pojem impedance používaný v této práci lze chápat pouze a jen v tom smyslu, jak ho Poertner pro tyto účely sám definoval.

Na obrázku 4.1 jsou znázorněny výsledky testování. Hodnoty byly měřeny pro 86 kg soustavu jezdce s kolem. Bylo použito triatlonové kolo z důvodu pro tento test ideálního rozložení váhy jezdce mezi přední a zadní kolo v poměru 50:50, což umožnilo nahustit oba pláště stejně. Nejprve jel cyklista po vyfrézovaném betonu, následně po hrubém asfaltu a na závěr po nově položeném asfaltu. Osazeny byly pláště Continental GP 4000 S II rozměru 25C mající na použitých kolech Zipp 404 reálnou šířku 25,8 mm při tlaku 100 psi.



Obrázek 4.1: Výsledky testů vedených Joshua Poertnerem [26]

Z obrázku 4.1 je patrné, že čímž hrubší povrch, tím dříve je dosažena mezní hodnota tlaku, od které se plně projevuje vliv impedance. Pro výše uvedenou soustavu jedoucí po hrubém asfaltu je mezní hodnota kolem 100 psi, pro vyfrézovaný beton dokonce kolem 60 psi. Pro plášť Continental GP 4000S II je však minimální hodnota tlaku daná výrobcem 95 psi [27] Při použití nižšího tlaku než je 95 psi již hrozí defekty a nestabilita<sup>6</sup> pláště při ovládní. Řešením problému je právě použití širších pláštěů, které lze hustit na menší minimální tlak.

<sup>6</sup> Pro nestabilitu pláště v důsledku příliš nízkého tlaku se vžil hovorový pojem „žvýkání se“.

## 5 HMOTNOST

Hmotnost soustavy kola a jezdce je v silniční cyklistice zejména v horském prostředí považována za klíčovou. V profesionální cyklistice jsou již většinou jezdci na svém hmotnostním limitu a tak je znatelná snaha maximálně odlehčit i kola. Kola s HKB jsou řádově o několik set gramů těžší než kola s RB a obecně je toto jeden z důvodů, proč se prozatím plně nerozšířila. Pro porovnání je v následujících tabulkách uveden přehled hmotnostní komponent, které se liší u kola s RB a s HKB.

V tabulce 5.1 jsou srovnány páky a třmeny, resp. čelisti, sad Shimano v různých provedeních.

Tabulka 5.1: Porovnání hmotností pák a třmenů, resp. čelistí, Shimano pro HKB a RB [33]

Řada	Typ řazení	Typ brzd	Hmotnost páru pák [g]	Hmotnost páru třmenů/čelistí [g]
Dura-Ace R9100	mechanické	mechanické	365	326
Dura-Ace R9150 Di2	elektronické	mechanické	230	
Dura-Ace R9120	mechanické	hydraulické	538	255
Dura-Ace R9170 Di2	elektronické	hydraulické	320	
Ultegra R8000	mechanické	mechanické	438	360
Ultegra R8050 Di2	elektronické	mechanické	295	
Ultegra R8020	mechanické	hydraulické	554	280
Ultegra R8070 Di2	elektronické	hydraulické	360	
105 5800	mechanické	mechanické	486	388
RS505	mechanické	hydraulické	665	290

V tabulce 5.2 jsou hmotnostně porovnána vybraná zapletená kola vyrábějící se jak v provedení pro RB, tak i pro HKB.

Tabulka 5.2: Porovnání hmotností zapletených kol pro HKB a RB [34; 35; 36; 37; 38]

Výrobce	Model	Hmotnost [g]
Lightweight	Meilenstein C	1200
	Meilenstein C Disc	1370
Specialized	Roval CL 50	1465
	Roval CL 50 Disc	1515
Mavic	Cosmic Pro Carbon	1690
	Cosmic Pro Carbon Disc	1770
Bontrager	Paradigm Comp TLR	1585
	Paradigm Comp TLR Disc	1675
Mavic	Aksium	1880
	Aksium Disc	2045

Tabulka 5.3 znázorňuje srovnání hmotností ostatních komponent, které se liší u kol s RB a HKB. Srovnání je pouze orientační, neboť existuje několik faktorů, které údaje ovlivňují:

- typ a použitý materiál bovdenů/lanek/hadiček/koncovek
- typ a průměr kotouče – lze se setkat s kotouči o průměru 140 mm a 160 mm
- délka bovdenů/lanek/hadiček/množství brzdové kapaliny se odvíjí od velikosti kola
- druh vedení lanek na kole – vnitřní/vnější

Tabulka 5.3: Orientační porovnání hmotností drobných komponent lišících se u HKB a RB

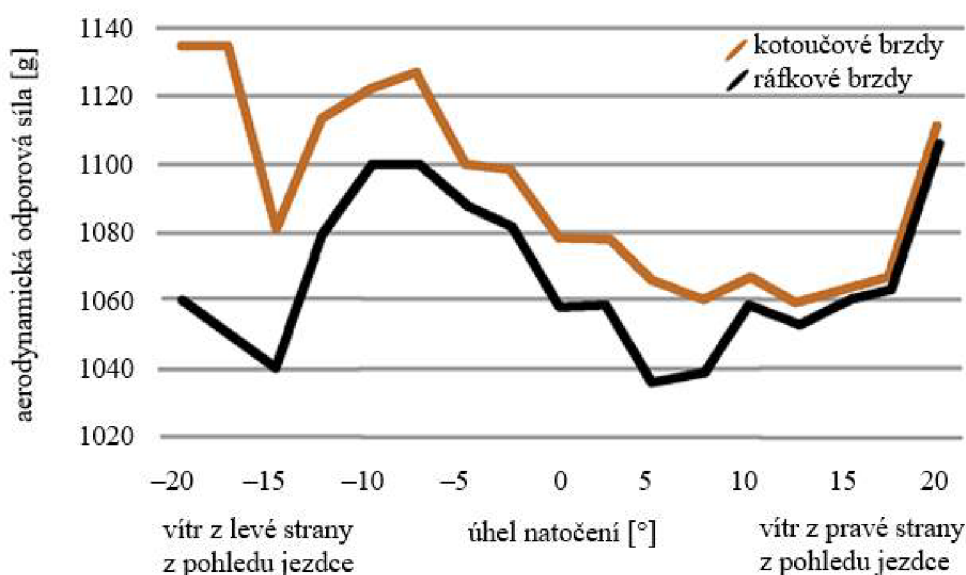
	Hmotnost [g]				Celková hmotnost [g]
RB	Brzdový bovden 65	Brzdová lanka 30	Koncovky 40	–	135
HKB	Brzdové hadičky 50	Brzdová kapalina 35	Koncovky 50	Kotouče průměru 160 mm 260	395

S ohledem na pravidla Union Cycliste Internationale (UCI), kterými se profesionální i mnohé jiné závody řídí, je nutné zmínit, že pro kola je pravidly stanoven minimální hmotnostní limit. V roce 1996 vydala UCI Luganskou chartu [39], která byla ratifikována v roce 2000. Hlavní myšlenkou charty bylo, že o výsledcích by neměla rozhodovat technika, nýbrž výkonnost cyklisty. Na základě myšlenek vyjádřených v této chartě vstoupilo v platnost několik pravidel týkajících se vybavení kola, mezi nimi i hmotnostní limit, který byl stanoven na 6,8 kg. Tento limit je stále v platnosti [40], nicméně v poslední době podléhá čím dál tím větší kritice kvůli své zastaralosti. V dnešní době se nejvyšší modely výrobců (osazené RB) běžně pohybují na hranici 6 kg, čímž vzniká paradoxní situace, kdy profesionálové a všichni závodníci řídicí se UCI regulací nemají možnost jezdit na těchto kolech, zatímco rekreační cyklisté ano. Zejména před horskými etapami, na které se využívají převážně vrchařské speciály vybavené RB, je dokonce možné vidět, že kola se musí dovažovat, aby předepsaný limit splnila. Pokud

by zůstal zachován současný hmotnostní limit, nebyla by vyšší hmotnost HKB překážkou. Zachování limitu se však dle průběhu současné situace jeví jako nepravděpodobné, a proto je možné se domnívat, že vyšší hmotnost bude nadále silný argument závodníků vůči HKB.

## 6 AERODYNAMIKA

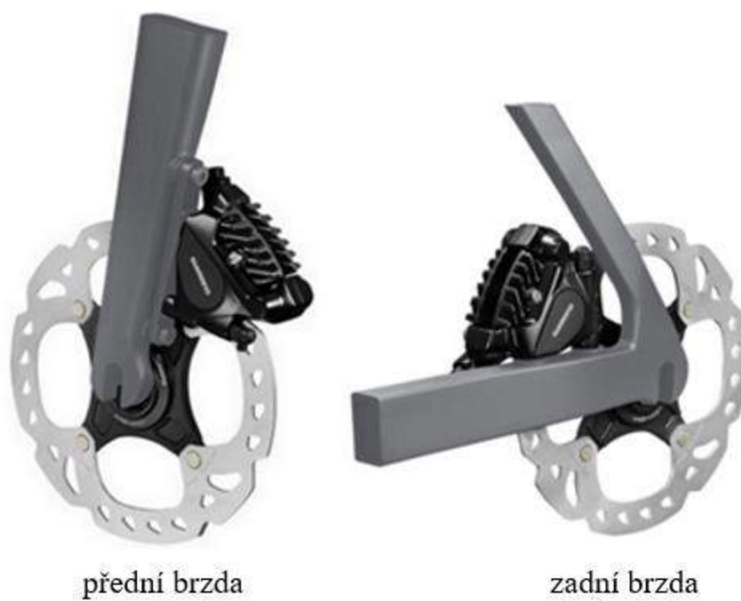
Srovnání aerodynamiky RB a HKB se provádí v aerodynamickém tunelu a je velmi nákladné. Dokonce ani většina výrobců kol a komponent nemá doposud k dispozici vlastní aerodynamický tunel. Nejpropracovanější dosud zveřejněné porovnání provedl časopis Velo News v roce 2014 [41]. K testování bylo použito dvou identických kol, která se lišila jen použitým typem brzd a pochopitelně také použitým nábojem. Hodnoty byly měřeny pro natočení kola o 20° a to na obě strany, neboť v důsledku umístění HKB pouze na levé straně kola jsou výsledky pro každou stranu odlišné. Tento fakt bývá někdy zneužíván v marketingových kampaňích jako např. v [42], kdy se zveřejňují pouze výsledky z testu, kdy vítr proudí z pravé strany z pohledu jezdce, ze kterých se pak dělá nepravdivý závěr, že rozdíl je nepatrný. Jak lze však vidět na obrázku 6.1, rozdíl při použití HKB a RB je v případě, že vítr proudí z levé strany jezdce, poměrně znatelný, přičemž ve všech situacích jsou HKB méně aerodynamické.



Obrázek 6.1: Aerodynamická odporová síla v závislosti na úhlu natočení při použití HKB a RB [41]

K testu lze s ohledem na rok, ve kterém byl proveden, přidat následující poznatky. V době provedení testu nebyl ještě plně využit potenciál ráfků pro HKB, neboť HKB byly v roce 2014 stále pouze pomalu se rozšiřující novinkou. Ráfky pro HKB nemusí být vybaveny na rozdíl od ráfků určených pro RB brzdou plochou, a tedy se otevírá větší prostor pro vylepšení profilu s ohledem na aerodynamiku. Za další, v době testu byly pro HKB stále ještě využívány třmeny vyvinuté pro horská kola, které navíc nebyly k rámu, resp. vidlici, uchyceny pomocí dnes používaného standardu Flat Mount, který je znázorněn na obrázku 6.2. Lze předpokládat, že dnes by test pro HKB dopadl příznivěji.





*Obrázek 6.2: Standard pro uchycení kotoučových brzd Flat Mount [43]*

## 7 DOSTUPNOST SAD PRO HYDRAULICKÉ KOTOUČOVÉ BRZDY A POŘIZOVACÍ NÁKLADY

### 7.1 HISTORIE

První HKB se na silničních kolech začaly objevovat v roce 2011, kdy tchajvanská firma TRP představila hybridní řešení Parabox. Z mechanických pák vedla klasická brzdová lanka ovládající píst v hlavním válci umístěný ve speciální jednotce pod představcem. Z jednotky dále vedly hadičky s brzdovou kapalinou do třmenů tak, jak je známe dnes. Toto hybridní řešení následně začalo vyrábět několik firem a je možné se s ním setkat dodnes.

V roce 2013 byla americkou firmou SRAM představena první ucelená sada pro HKB (tedy včetně pák), avšak neobešlo se to bez problémů, které byly natolik závažné, že došlo ke stažení z prodeje. V témže roce představilo HKB sadu i japonské Shimano.

Větší rozšíření HKB lze pozorovat až od roku 2015, kdy jak SRAM, tak Shimano rozšířili HKB systém i do nižších, a tedy i cenově dostupnějších, řad. V roce 2017 představil svou HKB sadu i poslední ze tří největších výrobců – italská firma Campagnolo. V témže roce rovněž představil svou sadu španělský výrobce Rotor.

### 7.2 SOUČASNOST

V současné době dochází k neustálému pronikání HKB do nižších sad, a tím pádem i rozšiřování nabídky kompletních kol osazených HKB. V tabulce 7.1 je zmapována aktuálně<sup>7</sup> dostupná nabídka HKB sad firmy Shimano, která je na trhu zastoupena většinou. Tabulka je doplněna o orientační ceny páru pák a brzdových třmenů, resp. čelistí, neboť pořizovací náklady jsou pro každého, kdo není sponzorován, velmi důležitou, ne-li dokonce klíčovou, otázkou při výběru nového kola nebo vylepšení stávajícího.

---

<sup>7</sup> V době psaní práce byla představena nová sada Shimano 105 R7000 nahrazující zde uváděnou sadu Shimano 105 5800 i s její verzí pro HKB s označením RS505, nicméně ceny pro Českou republiku nebyly do data odevzdání zveřejněny.

Tabulka 7.1: Přehled dostupných sad od firmy Shimano [44]

Řada	Typ řazení	Typ brzd	Orientační cena páru pák [Kč]	Orientační cena páru třmenů/čelistí [Kč]
Dura-Ace R9100	mechanické	mechanické	9 000	6 000
Dura-Ace R9150 Di2	elektronické	mechanické	14 000	
Dura-Ace R9120	mechanické	hydraulické	13 500	5 500
Dura-Ace R9170 Di2	elektronické	hydraulické	16 500	
Ultegra R8000	mechanické	mechanické	6 500	3 000
Ultegra R8050 Di2	elektronické	mechanické	7 000	
Ultegra R8020	mechanické	hydraulické	11 000	3 500
Ultegra R8070 Di2	elektronické	hydraulické	11 000	
105 5800	mechanické	mechanické	4 000	1 500
RS505	mechanické	hydraulické	7 500	2 000
Tiagra 4700	mechanické	mechanické	3 500	1 000
RS405	mechanické	hydraulické	7 000	1 800
Sora R3000	mechanické	mechanické	3 000	800
Claris R2000	mechanické	mechanické	2 000	700
Tourney A070	mechanické	mechanické	1 500	nevyrábí se

V tabulce 7.2 je kompletní přehled sad ostatních výrobců<sup>8</sup>, kteří mají ve svém portfoliu alespoň jednu sadu pro HKB.

<sup>8</sup> V době psaní práce byl očekáván příchod firmy FSA na trh s HKB, nicméně do data odevzdání práce se tak nestalo.

Tabulka 7.2: Přehled dostupných sad všech výrobců sad majících v nabídce alespoň jednu HKB sadu s výjimkou firmy Shimano [45; 46; 47]

Výrobce	Řada	Typ řazení	Typ brzd
SRAM	Red	mechanické	mechanické
	Red eTap	elektronické	mechanické
	Red HRD	mechanické	hydraulické
	Red eTap HRD	elektronické	hydraulické
	Force	mechanické	mechanické
	Force HRD	mechanické	hydraulické
	Rival	mechanické	mechanické
	Rival HRD	mechanické	hydraulické
	Apex	mechanické	mechanické
	Apex HRD	mechanické	hydraulické
Campagnolo	Super Record	mechanické	mechanické
	Super Record EPS	elektronické	mechanické
	Super Record Disc Brake	mechanické	hydraulické
	Super Record EPS Disc Brake	elektronické	hydraulické
	Record	mechanické	mechanické
	Record EPS	elektronické	mechanické
	Record Disc Brake	mechanické	hydraulické
	Record EPS Disc Brake	elektronické	hydraulické
	Chorus	mechanické	mechanické
	Chorus EPS	elektronické	mechanické
	Chorus Disc Brake	mechanické	hydraulické
	Potenza 11	mechanické	mechanické
	Potenza 11 Disc Brake	mechanické	hydraulické
	Centaur	mechanické	mechanické
Rotor	UNO Rim Brake	hydraulické	hydraulické ráfkové
	UNO Disc Brake	hydraulické	hydraulické

Jak lze vidět v tabulce 7.1, v současné době jsou páky pro HKB znatelně dražší než páky pro RB. Celkový rozdíl při pořizování kola s HKB je však dán také cenou rámu a zapletených kol. V tabulce 7.3 jsou pro porovnání vybrána vzájemně si svou úrovní odpovídající zapletená kola různých výrobců. K ceně kol pro HKB je nutno připočítat ještě cenu kotoučů, která se pohybuje přibližně od několika stokorun až po 2 000 Kč.

Tabulka 7.3: Srovnání pořizovacích nákladů zapletených kol pro HKB a RB [48; 49; 50; 51; 52; 53; 54; 55; 56; 57]

Výrobce	Model	Orientační cena [Kč]
Lightweight	Meilenstein C	110 000
	Meilenstein C Disc	120 000
Specialized	Roval CL 50	42 500
	Roval CL 50 Disc	42 500
Mavic	Cosmic Pro Carbon	30 000
	Cosmic Pro Carbon Disc	32 000
Bontrager	Paradigm Comp TLR	15 000
	Paradigm Comp TLR Disc	16 000
Mavic	Aksium	5 000
	Aksium Disc	5 300

Rámy takto jednoduše porovnat nelze, neboť minimálně v nižších cenových relacích bývají samostatné rámy povětšinou neprodejné. Někteří výrobci však mají ve své nabídce jen málo se lišící (většinou jsou odlišná pouze zapletená kola) modely jak s HKB, tak s RB, pomocí nichž lze udělat poměrně kvalitní srovnání – viz tabulka 7.4.

Tabulka 7.4: Srovnání pořizovacích nákladů kol s HKB a RB [58; 59; 60; 61]

Značka	Model (2018)	Osazeno sadou (Shimano)	Katalogová cena [Kč]
Giant	TCR Advanced SL 0	Dura-Ace R9150 Di2	259 999
	TCR Advanced SL 0 Disc	Dura-Ace R9170 Di2	236 999
Ghost	Nivolet 6.8 LC	Ultegra R8000	54 990
	Nivolet X 7.8 LC	Ultegra R8020	62 990
Trek	Domane SL5	105 5800	55 990
	Domane SL5 Disc	RS505	69 990
Canyon	Endurace AL 7.0	105 5800	29 599
	Endurace AL Disc 7.0	RS505	40 399

### 7.3 SHRUTÍ

Kola vybavená HKB jsou znatelně dražší než srovnatelná kola s RB. Rozdíly v cenách jednotlivých dílů nejsou s výjimkou pák nikterak velké, avšak při složení celku se projeví. Do budoucna se nedá očekávat, že ceny klesnou stejně znatelně, jako tomu bylo při nástupu HKB u horských kol, neboť v případě silničních kol se nejedná o vývoj celého nového konceptu, nýbrž jen o uzpůsobení konceptu používaného u horských kol silničním kolům.

## 8 HYDRAULICKÉ KOTOUČOVÉ BRZDY VE WORLD TOUR<sup>9</sup>

### 8.1 HISTORIE

HKB se ve World Tour poprvé objevily v roce 2015, kdy měly týmy v období srpen až září možnost v libovolných dvou závodech poprvé v historii otestovat kotoučové brzdy. Na rok 2016 vyhlásila UCI druhou fázi testování, ve které bylo dovoleno testovat kotoučové brzdy po celý rok na všech závodech, nicméně tato fáze byla již v dubnu ukončena z důvodu incidentu, který se odehrál na jednorázovém závodě Paříž–Roubaix. Při pádu v pelotonu utrpěl Francisco Ventoso z týmu Movistar hlubokou tržnou ránu na lýtku, o které tvrdil, že mu ji způsobila kotoučová brzda na kole jednoho ze soupeřů, na které při pádu dopadl. Tento incident způsobil velký rozruch a zvedla se velká vlna nevole vůči tomuto typu brzd. World Federation of the Sporting Goods Industry (WFSGI), která byla spolu s Cyclistes Professionnels Associés (CPA) hlavním subjektem, se kterým UCI diskutovala povolení kotoučových brzd, si však nechala vypracovat forenzní analýzu, ze které vyplynulo, že rána byla mnohem pravděpodobněji způsobena převodníkem [62]. Do konce roku 2016 nicméně zůstaly kotoučové brzdy zakázány.

Další testovací období bylo vyhlášeno na rok 2017 a to ve stejném rozsahu, jako bylo původně zamýšleno v roce 2016, avšak hrany kotoučů musely být nově zaobleny. Často diskutované zavedení krytů kotoučů se však nakonec neprosadilo. Ani tento rok se neobešel bez komplikací. Již v lednu na Tour of Abu Dhabi došlo k pádu Owaina Doulla z týmu Sky, při kterém došlo k rozříznutí jeho tretry. Poškozený tvrdil, že řez způsobila kotoučová brzda na kole Marcela Kittela z týmu Quick-Step Floors, nicméně videorozbor odhalil, že Kittel v okamžiku jeho pádu ještě stále jel na kole v dostatečné vzdálenosti od něj [63].

V roce 2018 probíhá další testovací období.

### 8.2 SERVISNÍ NÁROČNOST

Kromě otázky bezpečnosti jsou velmi diskutovaným problémem také vyšší nároky na servisní vozy při použití kotoučových brzd. Velký problém je to zejména pro vozy neutrální pomoci, které by nyní měly být schopné pokrýt celé spektrum kombinací vyskytujících se v pelotonu, přičemž jejich kapacita je pochopitelně omezena. Dochází tak k situacím jako např. na Tour de France 2017, kdy bylo dopředu oznámeno, že servisní vůz bude vybaven pouze koly s kotouči průměru 160 mm a některým jezdcům tedy nebude schopen pomoci.

Problémem je také fakt, že než vůbec k výměně dojde, musí být zjištěno, čím je kolo osazeno – zda je kotouč průměru 140 mm nebo 160 mm, zda je použit rychloupínák nebo pevná osa, zda je pevná osa široká 12 mm nebo 15 mm atp.

Další nevýhodou využití kotoučových brzd je samotný čas výměny. Zatímco u kotoučových brzd s rychloupínákem je čas prakticky stejný jako u RB, výměna kola s pevnou osou je poma-

---

<sup>9</sup> World Tour je seriál silničních závodů nejvyšší úrovně, kterého se zúčastňují týmy spadající do nejvyšší kategorie World Teams a vybrané týmy spadající do kategorie Professional Continental Teams, které obdrží divokou kartu. Seriál je pořádán UCI [75].

lejší. U rychloupínáku stačí povolit páčku a vyndat kolo, zatímco u pevné osy je třeba vyšroubovat osu, vyndat ji a teprve poté vyndat kolo, přičemž při opětovném nasazení se pochopitelně vše musí provést v opačném pořadí znovu.

### 8.3 SHRNUÍ

Ačkoliv situace zpočátku vypadala, že jediným, kdo opravdu chce zavést kotoučové brzdy do World Tour, jsou jejich výrobci a tedy sponzoři týmů, dnes se již situace jeví odlišně. YouTube kanál Global Cycling Network zabývající se silniční cyklistikou se každoročně táže náhodně vybraných profesionálů, jaký je jejich názor na kotoučové brzdy. Zatímco v letech 2015 [64] a 2017 [65] byly názory převážně neutrální, letos poprvé [66] je většina dotázaných vnímá kladně jako budoucnost cyklistiky. Jako hlavní problém zmiňují jezdci především situaci, kdy jsou v pelotonu přítomny jak RB, tak HKB – např. v dešti jezdec s HKB zastaví rychleji než jezdec RB, což může vést k nebezpečným situacím či dokonce pádům.

## 9 NUMERICKÁ SIMULACE ZATÍŽENÍ RÁMU A VIDLICE

### 9.1 MATERIÁL

Materiálem rámu jsou tažené trubky ze slitiny hliníku 7020-T6. Slitiny hliníku řady 7xxx obsahují jako hlavní legující prvek zinek [67]. Konkrétní složení je uvedeno v tabulce 9.1.

Tabulka 9.1: Legující prvky slitiny hliníku 7020 [67]

Legující prvek	Množství ve slitině [%]
Zn	4–5
Mg	1–1,4
Fe	0,4
Si	0,35
Cu	0,2
Cr	0,1–0,35
Mn	0,05–0,5

Tepelná úprava T6 značí rozpouštěcí žhání s následným umělým stárnutím [68]. Slitina má modul pružnosti (Youngův modul) 70 GPa, Poissonův poměr 0,33 a smluvní mez kluzu  $R_{p0,2} = 280$  MPa.

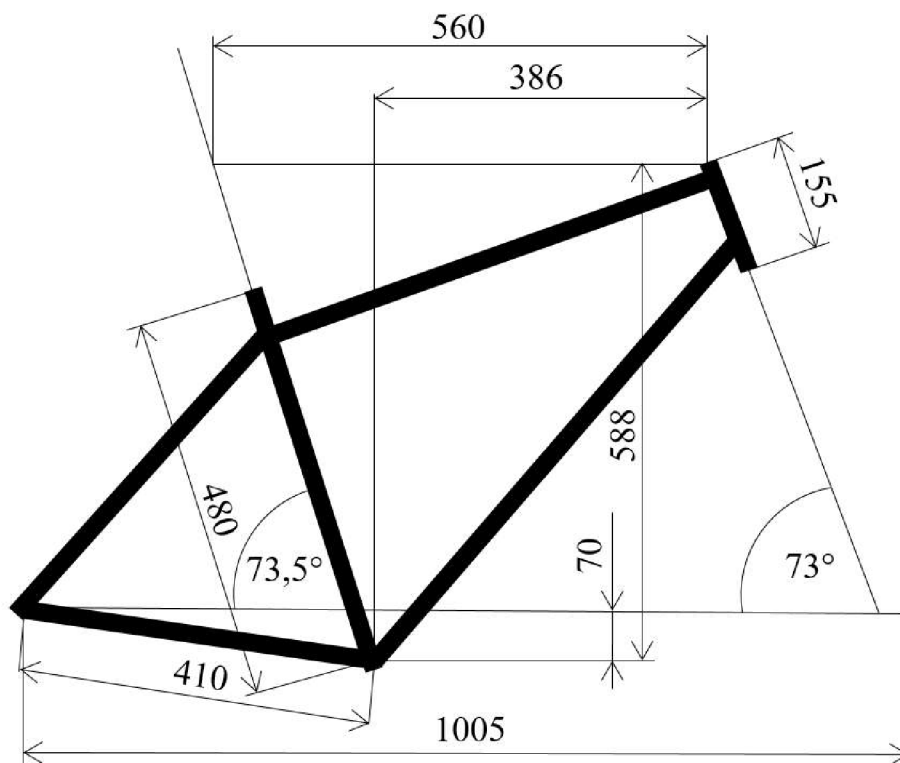
Vidlice je modelována stejně jako rám ze slitiny hliníku 7020-T6. Pro rychloupínáky je zvolena nerezová austenitická chrom-niklová ocel 1.4541 (X6CrNiTi18–10) s modulem pružnosti 200 GPa a Poissonovým poměrem 0,28 [69].

### 9.2 GEOMETRIE

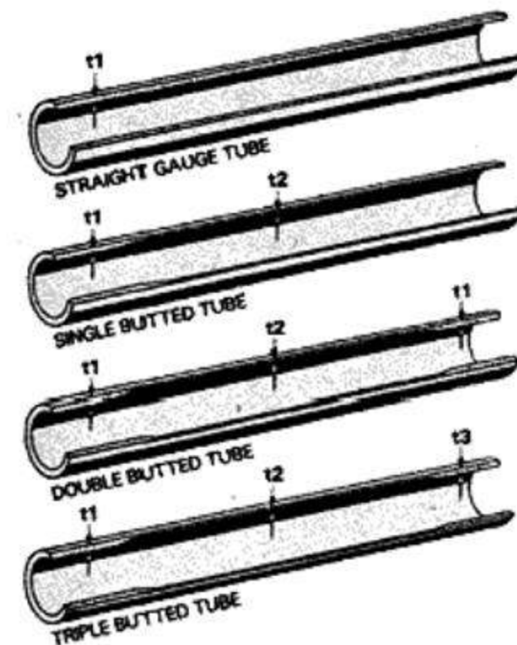
Rám svou geometrií odpovídá rámu RR od české firmy RB<sup>10</sup> ve velikosti 55. Rozměry jsou uvedeny na obrázku 9.1. Rámové trubky mají kruhový průřez, který se však liší v závislosti na typu trubky – záleží, zda se jedná o trubku sedlovou, hlavovou atp. Jednotlivé trubky se liší také tloušťkou, neboť jsou dvakrát zeslabované – každá trubka má po své délce dvě různé tloušťky stěny. Pro představu jsou na obrázku 9.2 zobrazeny různé možnosti zeslabování trubek v porovnání s trubkou nezeslabovanou.

<sup>10</sup> V tomto případě se nejedná o zkratku ráfkových brzd (RB), nýbrž o název české firmy RB z Jezdkovic u Opavy zabývající se především výrobou rámu ze slitiny hliníku 7020-T6.





Obrázek 9.1: Geometrie rámu RB RR [70]



Obrázek 9.2: Zeslabování trubek – shora: nezeslabovaná, jednou zeslabovaná, dvakrát zeslabovaná a tříkrát zeslabovaná trubka [71]

Veškeré průřezy a tloušťky trubek rámu jsou uvedeny v tabulce 9.2. Údaje byly poskytnuty firmou RB [72].

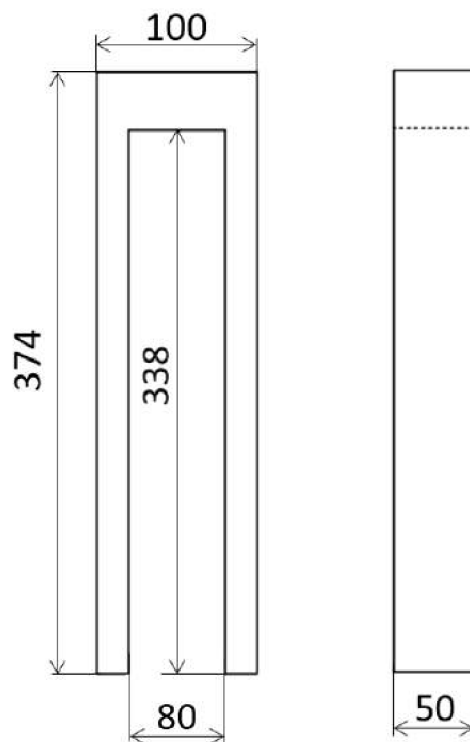
Tabulka 9.2: Průřezy trubek rámu [72]

Typ trubky	Průměr trubky [mm]	Část trubky	Tloušťka stěny[mm]
Řetězové vzpěry	22	–	2
Sedlové vzpěry	22	–	1
Hlavová	40	–	3
Horní rámová	38	u sedlové trubky	1,5
		střed	2
		u hlavové trubky	1,5
Sedlová	35	u horní rámové trubky	2
		střed	1,5
		u středového složení	2
Dolní rámová	44	u středového složení	2
		střed	1,5
		u hlavové trubky	2

Jedinou odlišností při modelování rámu pro RB a HKB bylo zohlednění faktu, že rám určený pro RB má oproti rámu pro HKB navíc mezi sedlovými vzpěrami umístěný můstek pro uchycení čelisti zadní brzdy. Tomuto můstku byl přiřazen průřez sedlové vzpěry.

Geometrie rámu je zjednodušená – jsou zanedbány veškeré návačky (např. pro třmeny brzd či košíky na lahve), závity, patky a otvor pro středové složení. Dále jsou zanedbány koncové části hlavové a sedlové trubky.

Vidlice byla modelována taktéž zjednodušeně a to sice jako součást rámu. Kontakt krku vidlice s hlavovou trubicí nebyl uvažován. Geometrie vidlice je znázorněna na obrázku 9.3. Rychloupínáky byly modelovány jakožto dva válce.

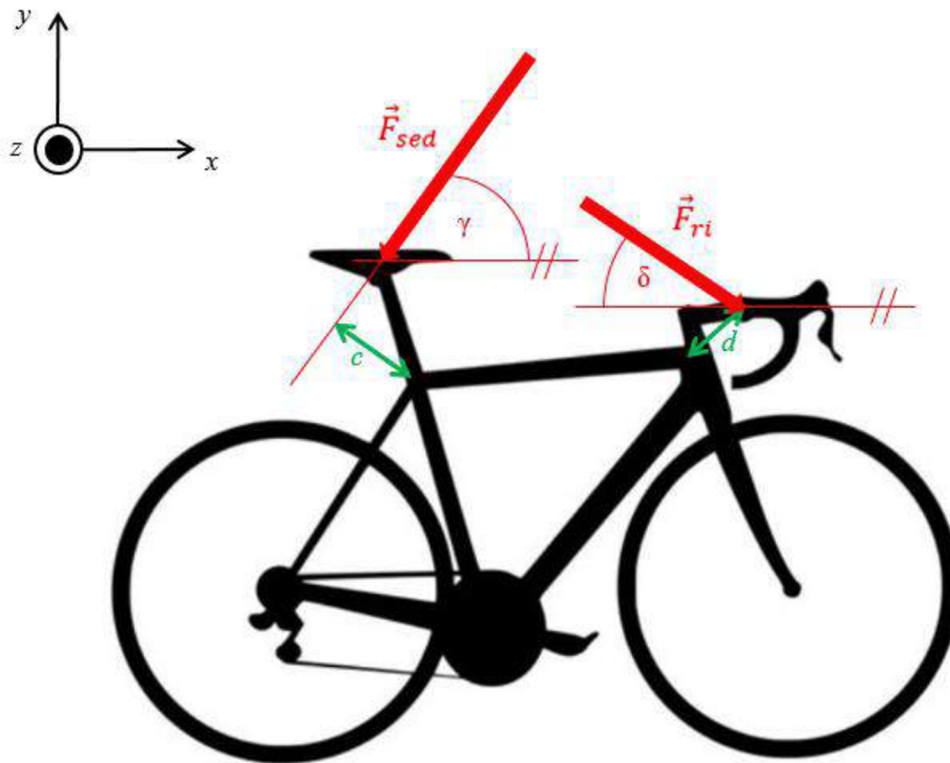


Obrázek 9.3: Geometrie vidlice

### 9.3 ZATÍŽENÍ

Při simulaci se předpokládá, že cyklista jede přímým směrem po rovině a po celou dobu jízdy v sedle. Setrvačné síly od brzdění a vlastní tíha rámu s vidlicí nejsou uvažovány.

Cyklista jede ve sportovní pozici, kdy trup svírá s vodorovnou rovinou úhel  $\gamma = 40^\circ$  a úhel  $\delta$  mezi rukama cyklisty a vodorovnou rovinou činí  $20^\circ$ . Cyklista má pod řídítky jednu 10 mm podložku, představec je délky 120 mm a vysunutí sedlovky činí 250 mm. Situace je znázorněna na obrázku 9.4.



Obrázek 9.4: Síly působící na sedlo a řídítka [72]

Při řešení úlohy je nutné nejprve zjistit zatížení od cyklisty přímo na rám, tzn. ekvivalentně nahradit vliv sedla, sedlovky, podložek pod představcem, představce a řídítek. Uvažujme hmotnost cyklisty  $m_c = 70$  kg. 15 kg z této hmotnosti nesou pedály ( $m_{pe} = 15$  kg), přičemž zbylých 55 kg je rozděleno v poměru 60:40 mezi sedlo a řídítka. Pro hmotnost na řídítkách platí:

$$m_{ri} = 0,4 \cdot 55 = 22 \text{ kg} \quad (9.1)$$

Pro hmotnost na sedle platí:

$$m_{sed} = 0,6 \cdot 55 = 33 \text{ kg} \quad (9.2)$$

Pro sílu  $F_{ri}$  působící na řídítka platí:

$$F_{ri} = \frac{m_{ri}g}{\sin \delta} = \frac{22 \cdot 9,81}{\sin 20^\circ} \approx 631 \text{ N} \quad (9.3)$$

Sílu  $F_{sed}$  působící na sedlo následně získáme ze vztahů:

$$F_{ri} \cos \delta = F_{sed} \sin \gamma \cot \gamma \quad (9.4)$$

$$F_{ri} \cos \delta = F_{sed} \sin \gamma \frac{\cos \gamma}{\sin \gamma} \quad (9.5)$$

$$F_{sed} = \frac{F_{ri} \cos \delta}{\cos \gamma} = \frac{631 \cos 20^\circ}{\cos 40^\circ} \approx 774 \text{ N} \quad (9.6)$$

Nositelka síly  $F_{sed}$  neprochází přímo místem, kde je sedlová trubka spojena se sedlovými vzpěrami a horní rámovou trubkou, proto se při náhradě musí uvažovat vzniklý moment  $M_{se}$ , pro který platí:

$$M_{se} = F_{sed}c = 774 \cdot 229,27 \approx 177\,455 \text{ Nmm} \quad (9.7)$$

kde  $c$  je rameno síly, jak znázorněno na obrázku 9.4. Tato hodnota byla odměřena v programu ANSYS na základě zadané geometrie.

Identická situace nastává u síly  $F_{ri}$ , kde je taktéž nutno uvažovat vzniklý moment  $M_{ri}$ , pro který platí:

$$M_{ri} = F_{ri}d = 631 \cdot 117,25 \approx 73\,985 \text{ Nmm} \quad (9.8)$$

Hodnota  $d$  byla stejně tak jako hodnota  $c$  odečtena v programu ANSYS na základě zadané geometrie.

Síly  $F_{sed}$  a  $F_{ri}$  je dále nutné rozložit do složek v osách  $x$  a  $y$ :

$$F_{sedx} = F_{sed} \cos \gamma = 774 \cos 40^\circ \approx 593 \text{ N} \quad (9.9)$$

$$F_{sedy} = F_{sed} \sin \gamma = 774 \sin 40^\circ \approx 498 \text{ N} \quad (9.10)$$

$$F_{rix} = F_{ri} \cos \delta = 631 \cos 20^\circ \approx 593 \text{ N} \quad (9.11)$$

$$F_{riy} = F_{ri} \sin \delta = 631 \sin 20^\circ \approx 216 \text{ N} \quad (9.12)$$

Pro sílu  $F_{pe}$  působící na pedály platí:

$$F_{pe} = m_{pe}g = 15 \cdot 9,81 \approx 147 \text{ N} \quad (9.13)$$

Na rám s vidlicí dále působí síly od brzdění. Dle [73] se maximální hodnota zpomalení u silničního kola při brzdění oběma brzdami na suché vozovce pohybuje mezi  $3,5 - 4,8 \text{ m/s}^2$ . Pro výpočet bude uvažována hodnota zpomalení  $b = 4,8 \text{ m/s}^2$ . Je-li hmotnost kola  $m_k = 8 \text{ kg}$ , platí pro výslednou brzdnou sílu:

$$F_{bv} = (m_c + m_k)b = (70 + 8)4,8 \approx 374 \text{ N} \quad (9.14)$$

Za předpokladu rozložení hmotnosti v poměru 60:40, jak je uvedeno výše, má brzdná síla  $F_{bp}$  na předním kole hodnotu:

$$F_{bp} = 0,4F_{bv} = 0,4 \cdot 374 \approx 150 \text{ N} \quad (9.15)$$

Brzdná síla  $F_{bz}$  na zadním kole činí:

$$F_{bz} = 0,6F_{bv} = 0,6 \cdot 374 = 224 \text{ N} \quad (9.16)$$

Pro brzdňý moment obecně platí:

$$M = F_b r, \quad (9.17)$$

kde  $r$  je rameno brzděné síly, tedy poloměr kola, který pro silniční kolo činí přibližně  $r = 330$  mm. Pro brzděný moment na předním kole tedy platí:

$$M_p = F_{bp}r = 150 \cdot 330 = 49\,500 \text{ Nmm} \quad (9.18)$$

Analogicky pro brzděný moment na zadním kole platí:

$$M_z = F_{bz}r = 224 \cdot 330 = 73\,920 \text{ Nmm} \quad (9.19)$$

### 9.3.1 RÁFKOVÉ BRZDY

Působení sil při použití RB je zobrazeno na obrázku 9.5.



Obrázek 9.5: Síly vzniklé brzděním ráfkovými brzdami [74]

Při zanedbání výšky pláště, kterou ovlivňuje mnoho faktorů (mj. rozměr pláště, hmotnost jezdce, tlak v plášti, jízda ze sedla), dostáváme pro sílu  $F_{rp}$  působící na vidlici a sílu  $F_{rz}$  působící na můstek zadní brzdy:

$$F_{rp} = F_{bp} = 150 \text{ N} \quad (9.20)$$

$$F_{rz} = F_{bz} = 224 \text{ N} \quad (9.21)$$

Tyto síly však nepůsobí přímo v místě uchycení brzdové čelisti k rámu, proto je třeba provést ekvivalentní náhradu podobně jako u sil působících na říditka a sedlo. Vzdálenost mezi nositelkou síly  $F_{rp}$ , resp.  $F_{rz}$ , od osy procházející šroubem připevňujícím brzdovou čelist k rámu je, jak je zobrazeno na obrázku 9.5, označena  $x_r$ . Odměření této vzdálenosti na modelu v programu GIMP obdržíme  $x_r = 40,5$  mm. Vzniklé momenty mají tedy velikost:

$$M_{rp} = F_{rp}x_r = 150 \cdot 40,5 = 6\,075 \text{ Nmm} \quad (9.22)$$

$$M_{rz} = F_{rz}x_r = 224 \cdot 40,5 = 9\,072 \text{ Nmm} \quad (9.23)$$

Síla  $F_{rp}$  svírá s osou  $x$  úhel  $14^\circ$ , síla  $F_{rz}$  svírá s osou  $x$  úhel  $30^\circ$ . Po rozložení sil  $F_{rp}$  a  $F_{rz}$  do složek souřadnicového systému dostáváme:

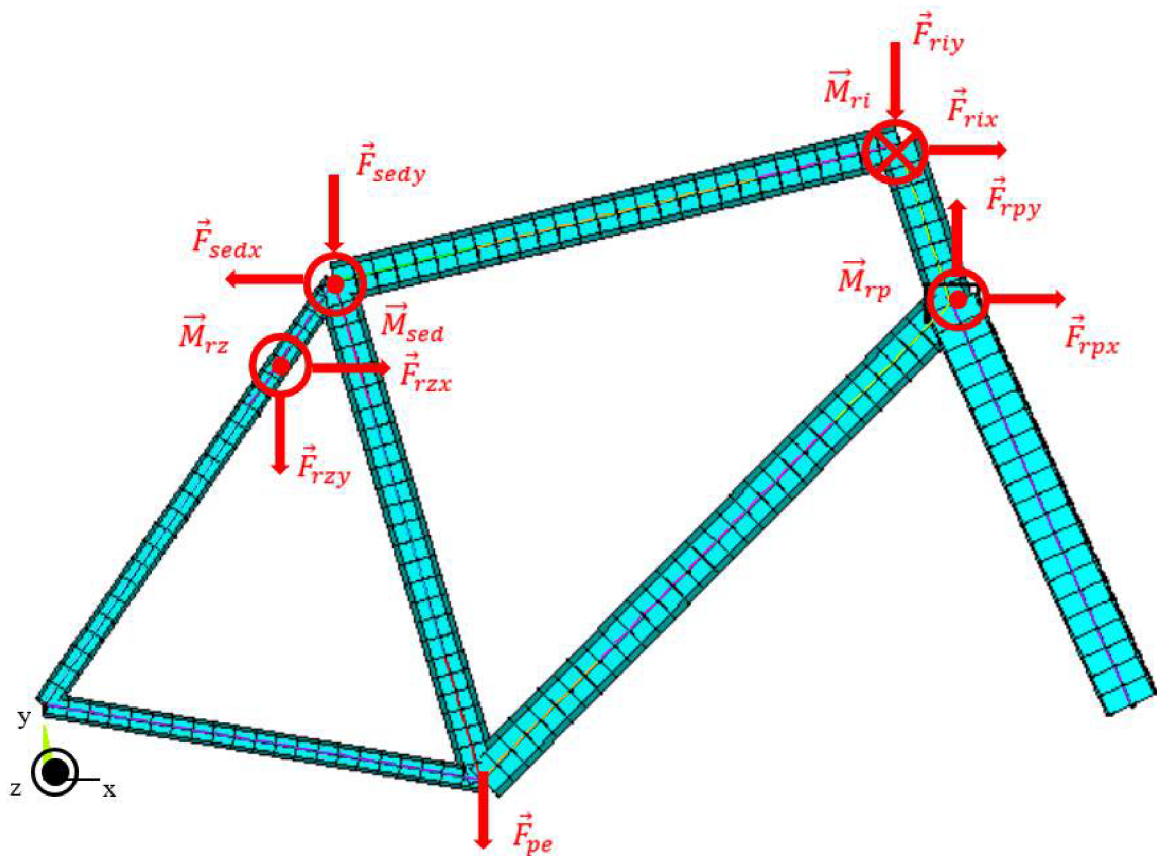
$$F_{rpx} = F_{rp} \cos 14^\circ = 150 \cos 14^\circ \approx 146 \text{ N} \quad (9.24)$$

$$F_{rpy} = F_{rp} \sin 14^\circ = 150 \sin 14^\circ \approx 36 \text{ N} \quad (9.25)$$

$$F_{rzx} = F_{rz} \cos 30^\circ = 224 \cos 30^\circ \approx 194 \text{ N} \quad (9.26)$$

$$F_{rzy} = F_{rz} \sin 30^\circ = 224 \sin 30^\circ = 112 \text{ N} \quad (9.27)$$

Výsledné silové působení na model pro RB je znázorněno na obrázku 9.6.



Obrázek 9.6: Silové působení na model pro ráfkové brzdy

### 9.3.2 HYDRAULICKÉ KOTOUČOVÉ BRZDY

Působení sil při použití HKB je obecně zobrazeno na obrázku 9.7.



Obrázek 9.7: Síly vzniklé brzděním hydraulickými kotoučovými brzdami [75]

V případě HKB je nejprve třeba zjistit, jak velká je tečná síla na kotouči. Za předpokladu kotouče o poloměru  $r_{kot} = 70$  mm pro tečnou sílu  $F_{kp}$  na předním kotouči platí:

$$\begin{aligned} M_p &= r_{kot} F_{kp} \\ 49\,500 &= 70 F_{kp} \\ F_{kp} &\approx 707 \text{ N} \end{aligned} \quad (9.28)$$

Pro tečnou sílu  $F_{kz}$  na zadním kotouči pak za předpokladu, že přední kotouč má stejný poloměr jako kotouč zadní, platí:

$$\begin{aligned} M_z &= r_{kot} F_{kz} \\ 73\,920 &= 70 F_{kz} \\ F_{kz} &\approx 1\,056 \text{ N} \end{aligned} \quad (9.29)$$

Síla  $F_{kp}$  svírá s osou  $x$  úhel  $50^\circ$ , síla  $F_{kz}$  svírá s osou  $x$  úhel  $75^\circ$ . Po rozložení sil  $F_{kp}$  a  $F_{kz}$  do složek souřadnicového systému dostáváme:

$$F_{kpx} = F_{kp} \cos 50^\circ = 707 \cos 50^\circ \approx 454 \text{ N} \quad (9.30)$$

$$F_{kpy} = F_{kp} \sin 50^\circ = 707 \sin 50^\circ \approx 542 \text{ N} \quad (9.31)$$

$$F_{kzx} = F_{kz} \cos 75^\circ = 1056 \cos 75^\circ \approx 273 \text{ N} \quad (9.32)$$



$$F_{kzy} = F_{kz} \sin 75^\circ = 1056 \sin 75^\circ \approx 1\,020 \text{ N} \quad (9.33)$$

Nositelky sil  $F_{kp}$  a  $F_{kz}$  neprocházejí místem uchycení třmenů k rámu, je proto třeba zahrnout také momenty, které vzniknou, nahradíme-li tyto síly ekvivalentně v místě uchycení třmenů k rámu. Vzdálenost nositelky  $F_{kp}$  od místa uchycení předního třmenu k rámu  $x_{kp}$  je rovna 13,5 mm, vzdálenost nositelky  $F_{kz}$  od místa uchycení zadního třmenu k rámu  $x_{kz}$  je rovna 27 mm. Situace je znázorněna na obrázku 9.8.



Obrázek 9.8: Vzdálenost nositelek tečných sil na kotouči od uchycení třmenu k rámu [75]

V případě přední brzdy vznikají momenty v záporném směru osy  $x$  a v kladném směru osy  $y$ , pro jejichž velikost platí:

$$M_{kpx} = F_{kpy} x_{kp} = 542 \cdot 13,5 \approx 7\,317 \text{ Nmm} \quad (9.34)$$

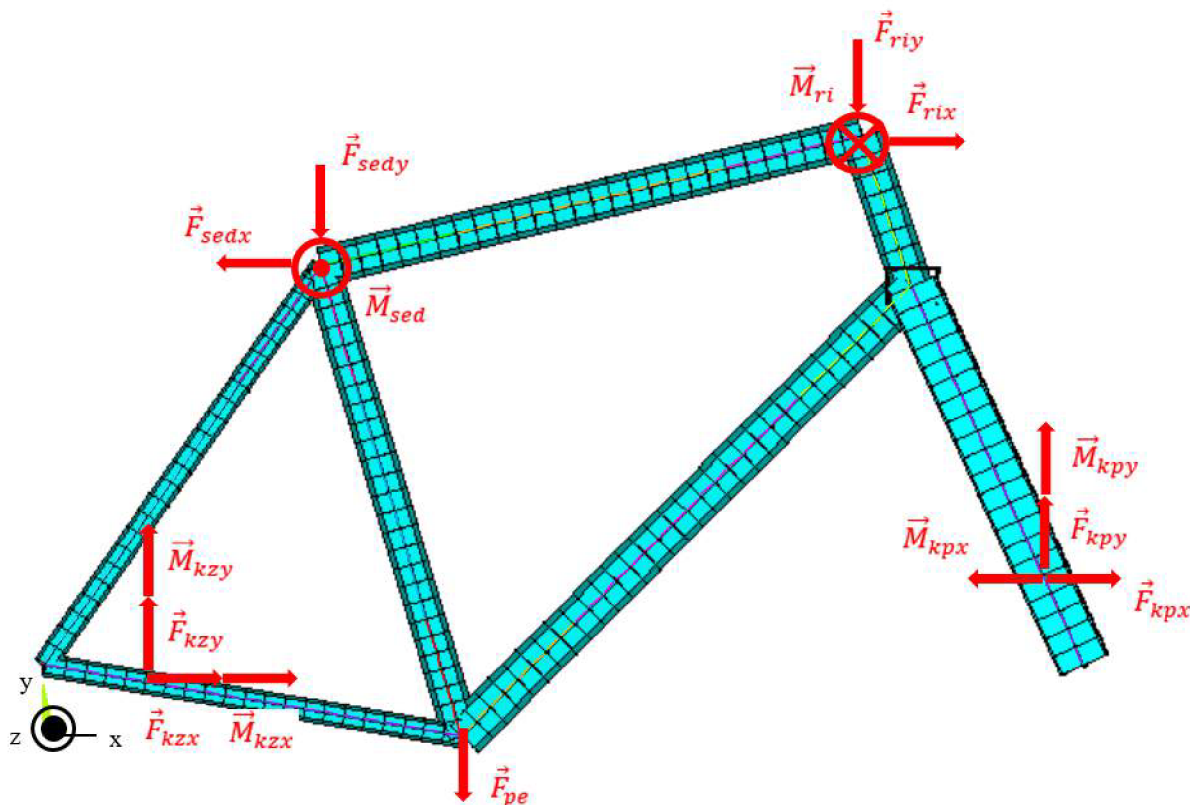
$$M_{kpy} = F_{kpx} x_{kp} = 454 \cdot 13,5 \approx 6\,129 \text{ Nmm} \quad (9.35)$$

V případě zadní brzdy vznikají momenty v kladném směru osy  $x$  a v kladném směru osy  $y$ , pro jejichž velikost platí:

$$M_{kzx} = F_{kzy}x_{kz} = 1020 \cdot 27 = 27\,540 \text{ Nmm} \quad (9.36)$$

$$M_{kzy} = F_{kzx}x_{kz} = 273 \cdot 27 = 7\,371 \text{ Nmm} \quad (9.37)$$

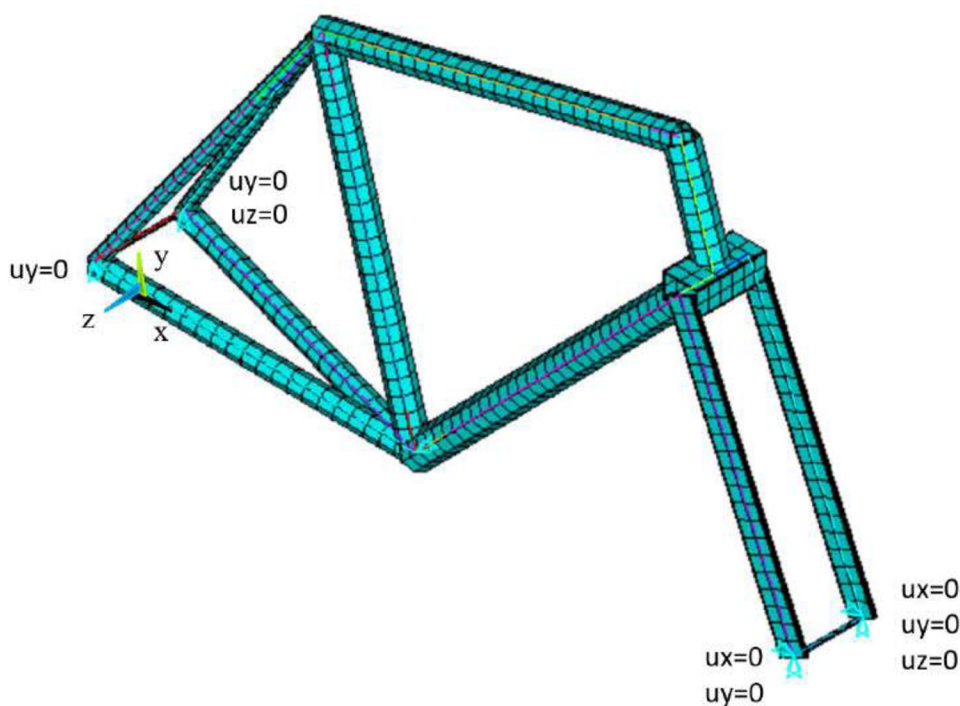
Výsledné silové působení na model pro HKB je znázorněno na obrázku 9.9.



Obrázek 9.9: Silové působení na model pro hydraulické kotoučové brzdy (pozn.: třmeny se nacházejí na levé straně)

## 9.4 VAZBY

Zavazbení modelu je provedeno dle obrázku 9.10. Bodům, ve kterých se propojují sedlové vzpěry s řetězovými, je zamezeno pohybu v ose  $y$ . Koncovým bodům nohou vidlice, ve kterých je uložen přední rychloupínák, je zamezen posuv v osách  $x$  a  $y$ . Zároveň je bodům na levé straně obou rychloupínáků zamezeno v pohybu v ose  $z$ .



Obrázek 9.10: Zavazbení modelu

## 9.5 Síť

Model byl vyhodnocován v programu ANSYS Mechanical APDL 19.0 (studentská licence). Síť modelu je tvořena 3D prvky BEAM188, které jsou vhodné pro analýzu zde používaných štíhlých prutů. Prvek je založen na Timošenkově teorii lomu, která zahrnuje účinky smykové deformace. Element je dvouuzlový a v každém uzlu má šest stupňů volnosti – v každém uzlu jsou umožněny posuvy v osách  $x$ ,  $y$ ,  $z$  a rotace kolem všech těchto os. Matice tuhosti má tedy rozměr  $12 \times 12$ .

Průřezy prvku byly použity různé v závislosti na místě výskytu na modelu – rychloupínáky mají plné kruhové průřezy, rámové trubky mezikruhové průřezy a pro nohy a krk vidlice byly použity duté obdélníkové průřezy.

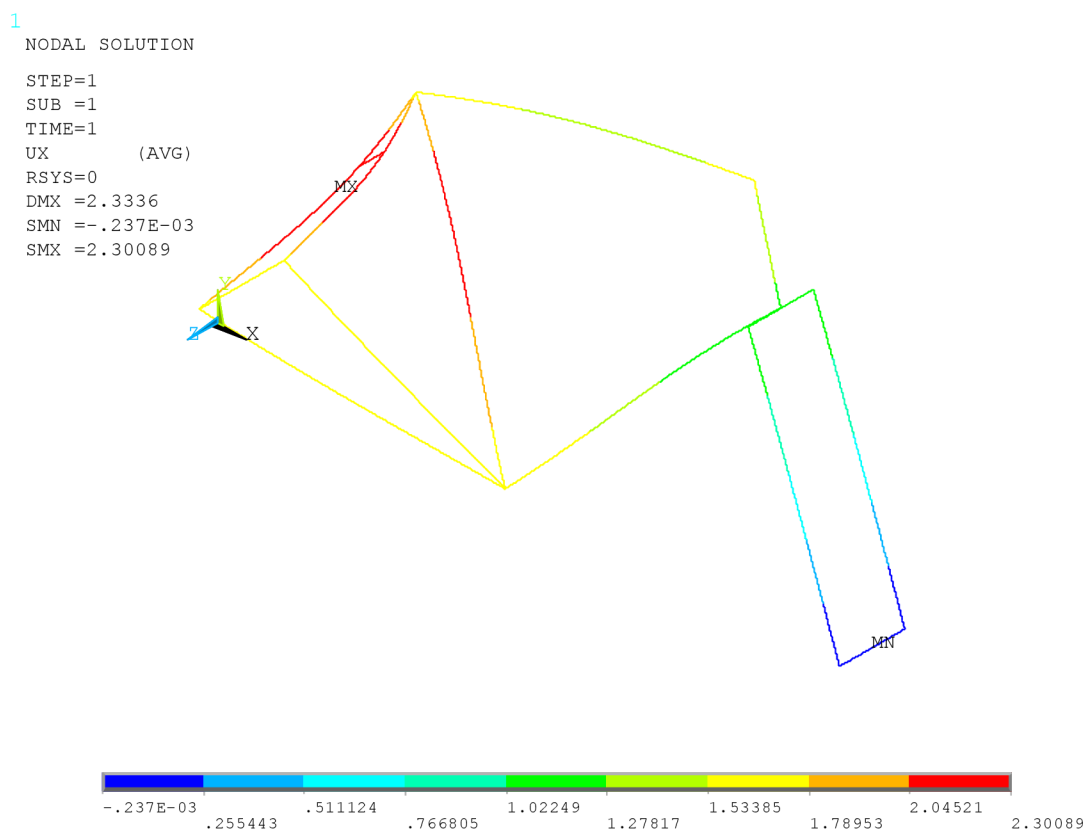
Délka elementu 0,15 mm byla zvolena s ohledem na maximální možný počet uzlů (32 000), který dovoluje využít studentská licence. Počet uzlů<sup>11</sup> na modelu s RB činí 31 732, na modelu s HKB pak 31 476. Počet prvků na modelu s RB je 31 737, na modelu s HKB 31 480.

<sup>11</sup> Síť na obrázcích 9.6, 9.9 a 9.10 je pouze ilustrační pro zobrazení reálných konstant, tedy průřezů, a neodpovídá délce elementu 0,15 mm.

## 9.6 VÝSLEDKY

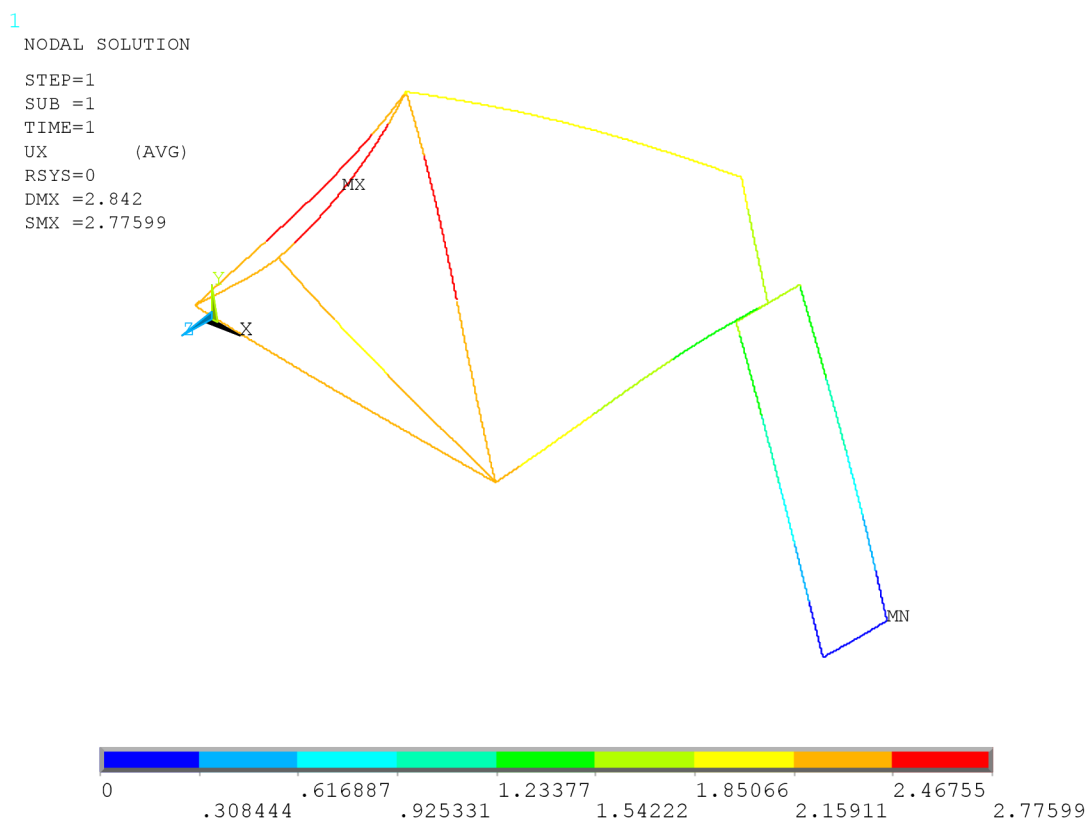
Co se týká bezpečnosti vzhledem k meznímu stavu pružnosti, u modelu s RB má maximální redukované<sup>12</sup> napětí hodnotu kolem 60 MPa, přičemž tato hodnota se vyskytuje v oblasti spojení sedlové trubky se sedlovými vzpěrami. U modelu s HKB se nejvyšší napětí (přibližně 150 MPa) vyskytuje na rychloupínácích, nicméně toto je způsobené zavazbením modelu, neboť ve skutečnosti rychloupínáky žádnou hmotnost nenesou a slouží pouze k zajištění kola před vypadnutím. V ostatních místech hodnota redukovaného napětí přibližně odpovídá hodnotám u modelu s RB. Bezpečnost vzhledem k meznímu stavu pružnosti se tak pohybuje v hodnotách dostatečně vysokých ( $k > 4$ ). Z hlediska hodnocení bezpečnosti je však mnohem důležitější hodnocení svarů a cyklického namáhání, které však není předmětem této práce, a proto bude v následujícím pojednáno pouze o deformacích.

Posuvy v ose  $x$  jsou znázorněny na obrázcích 9.11 a 9.12. V této ose jsou u RB stejně tak jako u HKB největší posuvy v místech sedlových vzpěr a horní polovině sedlové trubky. U RB jsou výrazné posuvy navíc patrné i na můstku zadní brzdy. V těchto exponovaných místech dosahují maxima u RB hodnoty 2,3 mm a u HKB 2,78 mm. Větší hodnota posuvu u HKB v oblasti sedlových vzpěr může být způsobena absencí můstku pro zadní brzdu, který se chová jako výztuha. U RB i HKB lze větší posuvy pozorovat také v dolní polovině sedlové trubky a u HKB pak navíc v oblasti řetězových vzpěr.



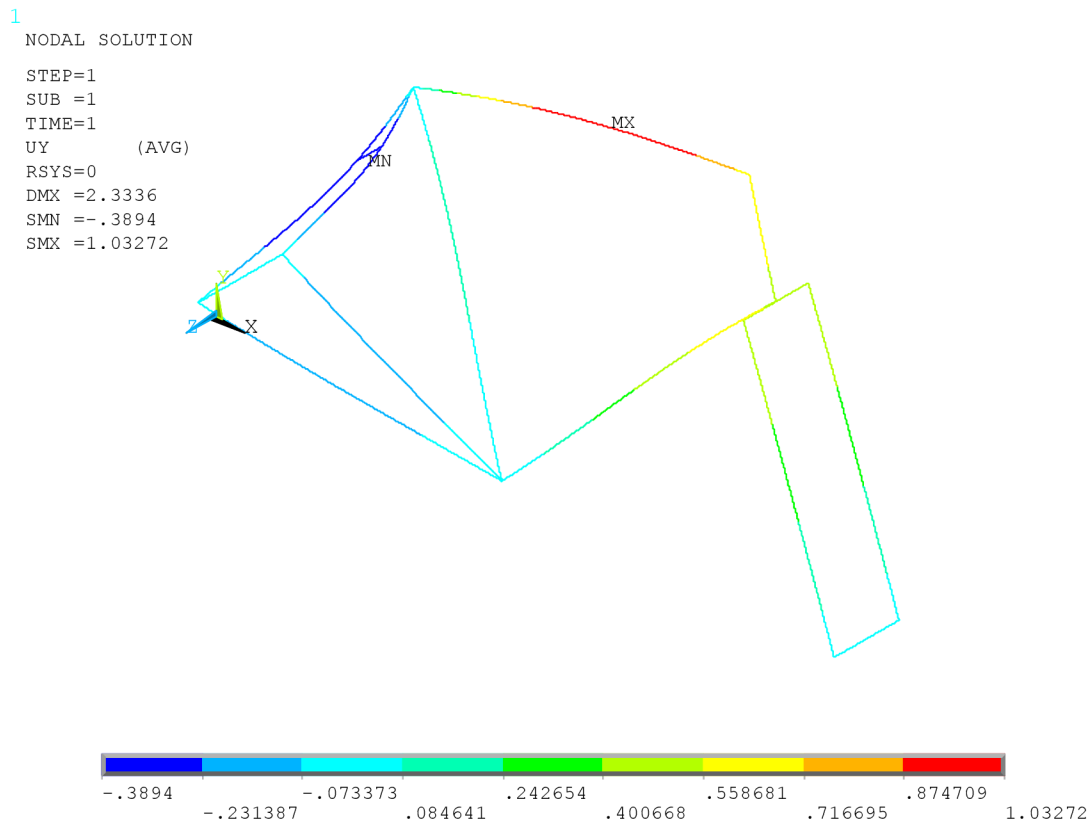
Obrázek 9.11: Posuvy v ose  $x$  – ráfkové brzdy

<sup>12</sup> Dle metody HMM.

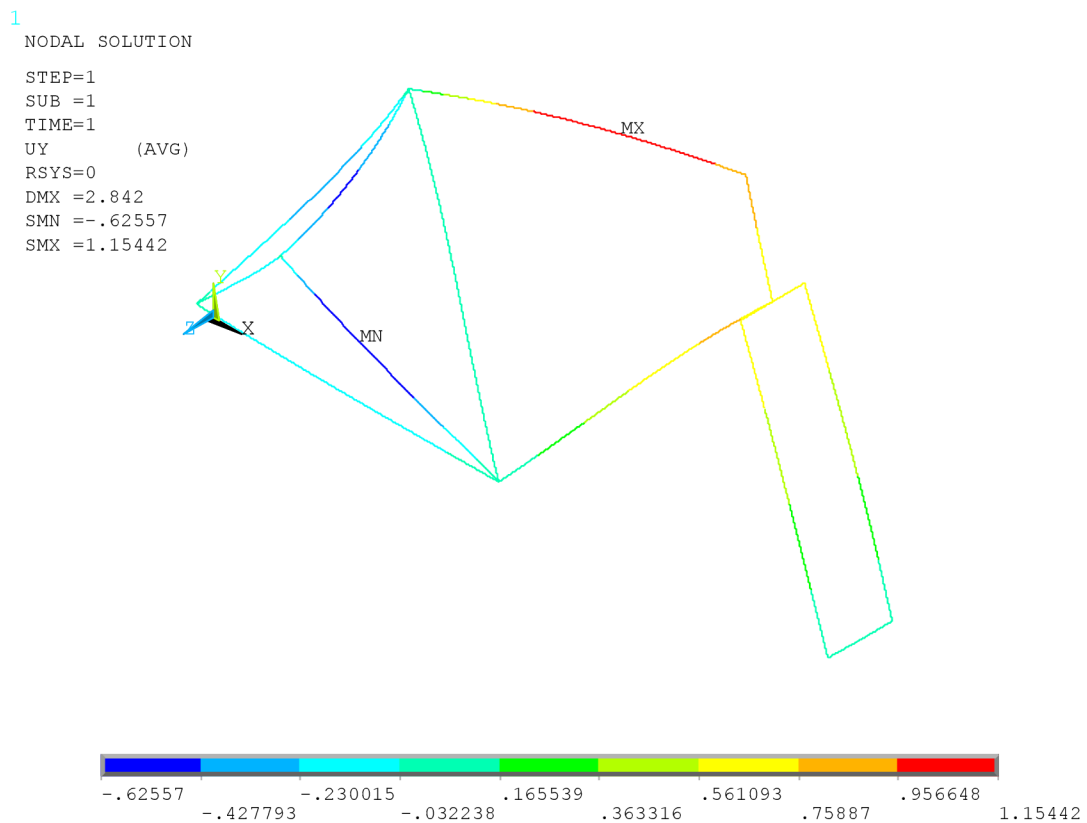


Obrázek 9.12: Posuvy v ose x – kotoučové brzdy

Posuvy v ose y jsou znázorněny na obrázcích 9.13 a 9.14. V ose y lze maxima posuvů pozorovat u obou modelů ve střední části horní rámové trubky – u RB posuv dosahuje až 1,03 mm, u HKB až 1,15 mm. Posuv je tedy v obou případech největší v části horní rámové trubky, která je zeslabovaná. Odlišnost v namáhání rámu s RB a HKB lze pozorovat v místech řetězových a sedlových vzpěr – zatímco u RB jsou výraznější posuvy na sedlových vzpěrách a na můstku zadní brzdy, u HKB dochází k větším posuvům na levé řetězové vzpěře, což je místo, kde je uchycen k rámu třmen zadní brzdy.

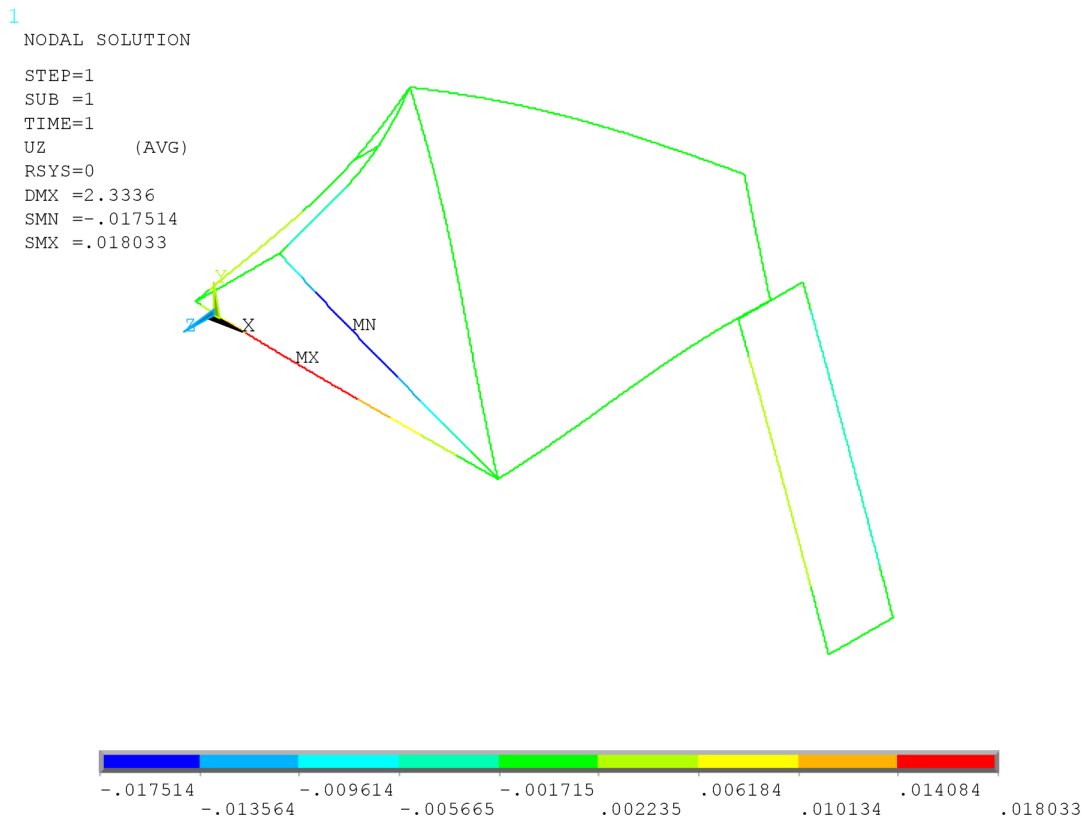


Obrázek 9.13: Posuvy v ose y – ráfkové brzdy

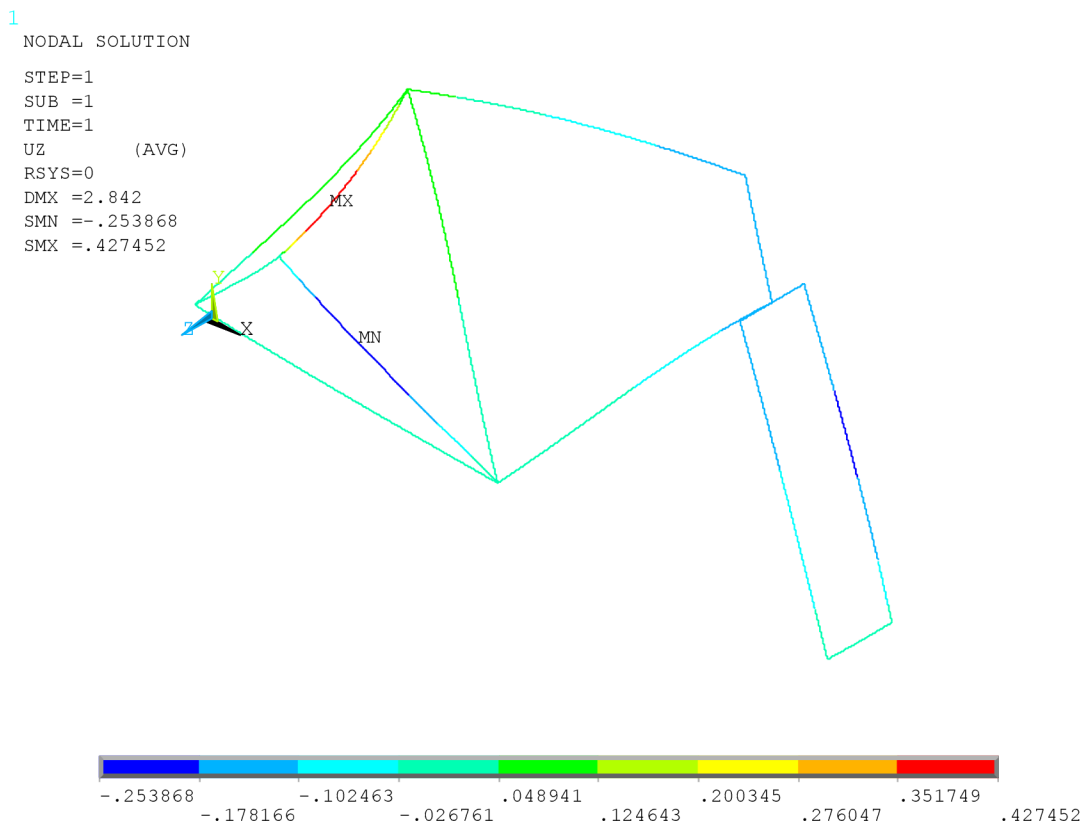


Obrázek 9.14: Posuvy v ose y – kotoučové brzdy

Posuvy v ose z jsou znázorněny na obrázcích 9.15 a 9.16. V ose z jsou v případě modelu s RB veškeré posuvy zanedbatelné hodnoty. U modelu s HKB je situace odlišná – opět je jasně patrné nesymetrické namáhání. Největší posuv (0,43 mm) je na levé zadní sedlové vzpěře, další výraznější posuvy jsou patrné v místech uchycení třmenů – na levé zadní řetězové vzpěře a levé noze vidlice.



Obrázek 9.15: Posuvy v ose z – ráfkové brzdy



Obrázek 9.16: Posuvy v ose z – kotoučové brzdy



## 10 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo provést rešeršní studii na téma využití hydraulických kotoučových brzd u silničních kol, porovnat tento typ brzd s brzdami ráfkovými a následně provést numerickou simulaci zatížení rámu a přední vidlice pro oba výše zmíněné typy brzd.

Rešeršní část je složena majoritně z kapitol zabývajících se podrobně vlastnostmi hydraulických kotoučových brzd se zvláštním důrazem na porovnání těchto vlastností s brzdami ráfkovými. Tyto kapitoly se zabývají přenosem brzdné síly, brzdovými segmenty, seřizováním vzdálenosti brzdových destiček a špalků od dosedací plochy, využitím širších plášťů, hmotností a aerodynamikou. Dále je zařazena kapitola, která se podrobně věnuje dostupnosti sad pro hydraulické kotoučové brzdy a pořizovacím nákladům a to opět s důrazem na porovnání se situací u ráfkových brzd. Poslední kapitola rešeršní části se pak týká aktuálního stavu využití hydraulických kotoučových brzd ve World Tour, přičemž zmiňuje specifické problémy, které přináší užití těchto brzd na profesionální, resp. obecně řečeno závodní, úrovni.

Hlavní poznatky z rešeršní části se dají ve zkratce shrnout následovně. Hydraulické kotoučové brzdy nepřinášejí zvýšení brzdného účinku, neboť omezujícím faktorem je vždy adheze pláště. Důvody, proč se kotoučové brzdy začínají u silničních kol používat, jsou především dva. Prvním je lepší účinek těchto brzd za mokra a druhým lepší modulace brzdné síly. Mezi další výhody lze zařadit samočinné seřazení vzdálenosti brzdových destiček od brzdné plochy a také možnost využití širších plášťů. Nevýhody hydraulických kotoučových brzd by bylo vhodné uvažovat s přihlédnutím k typu cyklisty, který je využívá. Zatímco závodník bude řešit vyšší hmotnost, horší aerodynamiku a problémy vznikající v mixovaném pelotonu, kdy závodník s hydraulickými kotoučovými brzdami bude mít jiný průběh brzdění než závodník s brzdami ráfkovými, rekreační cyklista bude spíše uvažovat nad vyššími pořizovacími náklady a náročnější údržbou.

V části práce věnující se numerické simulaci zatížení byl nejprve vypracován zjednodušený model rámu a přední vidlice ze slitiny hliníku. Následně byly z obecných vztahů platných pro brzdění vypočteny zatěžující síly, resp. momenty, a zvoleno vhodné zavazbení modelu. Z výsledků je patrné, že rám pro hydraulické kotoučové brzdy je znatelně více namáhán v oblasti řetězových a sedlových vzpěr a bylo by vhodné zvážit vyztužení rámu v těchto místech (např. přidáním materiálu). Taktéž by bylo vhodné provést tuto simulaci i pro rámy, resp. vidlice, z jiných materiálů, jako je především dnes hojně využívaný karbon. Takováto analýza by však byla s ohledem na anizotropii karbonu již náročnější.

Na závěr lze říci, že hydraulické kotoučové brzdy své místo v silniční cyklistice jistě mají. Jako každé řešení přinášejí jak své výhody, tak i nevýhody, přičemž však nelze obecně říci, zda jsou horší nebo lepší než brzdy ráfkové, neboť vždy záleží na konkrétních podmínkách užití. Do budoucna lze očekávat výraznější rozšíření těchto brzd v celé, ať už rekreační či závodní, silniční cyklistice. Není však pravděpodobné, že by v následujících letech došlo k úplnému nahrazení ráfkových brzd tímto typem, neboť vždy budou existovat specifické typy silničních kol (např. dětská kola), ve kterých nevýhody hydraulických kotoučových brzd budou natolik citelné, že k nahrazení ráfkových brzd nedojde.

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] JONES, C. *Velká modrá kniha o servisu jízdních kol: příručka Park Tool nejen pro amatérské mechaniky : 2. vydání*. 1. české vyd. Praha: Pedalsport, 2009. ISBN 978-80-254-5926-3.
- [2] Inner wire guide. *Jagwire – number one cable and housing brand* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://jagwire.com/guides/inner-wire>
- [3] LÉBR, Tomáš. Visíme na lankách. *VELO*. Praha: V-Press, 2001, 4(1), 50–52. ISSN 1213–113X.
- [4] MAIER, Oliver, Benedikt GYÖRFI, Jürgen WREDE, Timo ARNOLD a Alessandro MOIA. In-depth analysis of bicycle hydraulic disc brakes. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2017, (95), 310-323. ISSN 0888-3270.
- [5] ŠOB, František. *Hydromechanika*. Brno: CERM, 2002. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2037-5.
- [6] Technologies: Pro hydraulic hose. *Jagwire – number-one cable and housing brand* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://jagwire.com/products/hydraulic-hose/mountain-pro-hydraulic-hose>
- [7] Technologies: Super supreme hose. *Alligator Cables* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://www.alligatorcables.com/product-SUPER-SUPREME-sup-TM--sup--%C3%B85-5MM-hydraulic-hose-super-supreme.html>
- [8] GILLES, Tim. *Automotive service: inspection, maintenance, repair*. 4th ed. Clifton Park, NY: Delmar, Cengage Learning, 2012. ISBN 978-1111128616.
- [9] KUČERA, Marián a Miroslav ROUSEK. Objemové zmeny materiálov tesniacich prvkov v ekologicky priaznivejších hydraulických olejoch. *Hydraulika a pneumatika*. 2006, 7(1–2), 50-55. ISSN 1335-5171.
- [10] MERILL, Glen. *Automotive Fundamentals Course: learning the inner workings of an automobile: Brake system fundamentals*. b.r. Dostupné také z: [https://books.google.cz/books?id=gGtHfrXf86sC&pg=PP2&lpg=PP2&dq=Automotive+Fundamentals:+glen+meril&source=bl&ots=gOVfcNKK-M&sig=yBmcuClg-J5MzAyqAXD6Z4Cb-TY&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwiE7\\_Xxg-XZAhXJDSwKHfAUBTsQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Automotive%20Fundamentals%3A.%20glen%20meril&f=false](https://books.google.cz/books?id=gGtHfrXf86sC&pg=PP2&lpg=PP2&dq=Automotive+Fundamentals:+glen+meril&source=bl&ots=gOVfcNKK-M&sig=yBmcuClg-J5MzAyqAXD6Z4Cb-TY&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwiE7_Xxg-XZAhXJDSwKHfAUBTsQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Automotive%20Fundamentals%3A.%20glen%20meril&f=false)
- [11] 49 CFR 571.116. *Motor vehicle brake fluids*. GPO, 2011.

- [12] MANSELL, Alex. DOT brake fluid vs. mineral oil. *Epic brake bleeding solutions* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://www.epicbleedsolutions.com/blog/dot-brake-fluid-vs-mineral-oil/>
- [13] Minerální olej. *Bike-forum: největší web o kolech* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.bikeforum.cz/hledani?q=miner%C3%A1ln%C3%AD+olej>
- [14] Dealer's manual. *Shimano: Hydraulic disc brake* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://si.shimano.com/pdfs/dm/DM-BR0008-08-ENG.pdf>
- [15] Service manual. *SRAM: HydroR system* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: [https://sram-cdn-pull-zone-gsdesign.netdna-ssl.com/cdn/farfuture/\\_4MldhWdEehFueSOZDSKDNgrkxCn4dYw2AOco-\\_6AxI/mtime:1501622447/sites/default/files/techdocs/gen0000000005217\\_hydror\\_rev\\_b.pdf](https://sram-cdn-pull-zone-gsdesign.netdna-ssl.com/cdn/farfuture/_4MldhWdEehFueSOZDSKDNgrkxCn4dYw2AOco-_6AxI/mtime:1501622447/sites/default/files/techdocs/gen0000000005217_hydror_rev_b.pdf)
- [16] TAICH, Tomáš. Všudypřítomné kotouče. *VELO*. Praha: V-Press, 2004, 7(5), 82–90. ISSN 1213–113X.
- [17] Products: Pro Bleed Kit. In: *SRAM: AVID* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.sram.com/avid/products/pro-bleed-kit>
- [18] Road hydraulic brake bleed guide. *SRAM* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: [https://sram-cdn-pull-zone-gsdesign.netdna-ssl.com/cdn/farfuture/gt34kZXpyRIxNSx3ejC-WU52ozez-t6Zab18-q8HIYw/mtime:1372788150/sites/default/files/techdocs/95-5018-002-000\\_rev\\_a\\_road\\_hydraulic\\_brake\\_hose\\_length\\_adjustment\\_and\\_bleed\\_guide.pdf](https://sram-cdn-pull-zone-gsdesign.netdna-ssl.com/cdn/farfuture/gt34kZXpyRIxNSx3ejC-WU52ozez-t6Zab18-q8HIYw/mtime:1372788150/sites/default/files/techdocs/95-5018-002-000_rev_a_road_hydraulic_brake_hose_length_adjustment_and_bleed_guide.pdf)
- [19] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. *Automobily: Podvozky*. 4. vydání. Brno: Avid, spol. s r. o., 2012. ISBN 978-80-87143-24-7.
- [20] PANKRATZ, Blake. Brake pads: A break down of what you need to know. *Pinkbike* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.pinkbike.com/news/brake-pad-information-2009.html>
- [21] Buyers guide: Mountain bike disc brakes explained. In: *Rahox brakes* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://blog.rahoxbrakes.com/2014/08/buyers-guide-mountain-bike-disc-brakes.html>
- [22] Mavic Crosstrail wheelset. In: *Papa wheelies: Product* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://papa-wheelies.com/product/features/mavic-crosstrail-wheelset-156116-1-28237.htm>
- [23] HÁJÍČEK, Štěpán. Rivalové odnepaměti. *VELO*. Praha: V-Press, 2006, 9(9), 72-73. ISSN 1213-113X.

- [24] GRAPPE, F., R. CANDAU, B. BARBIER, M. HOFFMAN, A. BELLI a J.-D. ROUILLON. Influence of tyre pressure and vertical load on coefficient of rolling resistance and simulated cycling performance. *Ergonomics* [online]. 1999, **42**(10), 1361-1371 [cit. 2018-04-05]. DOI: 10.1080/001401399185009. ISSN 0014-0139. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/001401399185009>
- [25] WILSON, David Gordon, Jim. PAPADOPOULOS a Frank Rowland. WHITT. *Bicycling science*. 3rd ed. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2004. ISBN 9780262232371.
- [26] POERTNER, Joshua. Rolling Resistance and Impedance. In: *SILCA* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://silca.cc/blogs/journal/part-4b-rolling-resistance-and-impedance>
- [27] Grand Prix 4000 S II. *Continental: Tyres* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.continental-tires.com/bicycle/tyres/race-tyres/grand-prix-4000-s2>
- [28] Road: Groupsets. *Shimano* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://bike.shimano.com/en-EU/components/road.html>
- [29] Meilenstein. *Lightweight: Wheels* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://lightweight.info/gb/en/meilenstein>
- [30] Roval CL 50. *Specialized: Wheels* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.specialized.com/cz/cs/roval-cl-50-wheelset/p/134230?color=239056-134230>
- [31] Cosmic Pro Carbon. *Mavic: Wheels* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://shop.mavic.com/en-int/cosmic-pro-carbon-rr0824.html#1028=3283>
- [32] Paradigm Comp TLR. *Bontrager: Wheels* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: [https://www.trekbikes.com/cz/cs\\_CZ/vybaven%C3%AD/cyklistick%C3%A9-komponenty/zapleten%C3%A1-kola-v%C3%BDplety/zapleten%C3%A1-kola-a-v%C3%BDplety-na-silni%C4%8Dn%C3%AD-kola/silni%C4%8Dn%C3%AD-kola-bontrager-paradigm-comp-tlr/p/14251/](https://www.trekbikes.com/cz/cs_CZ/vybaven%C3%AD/cyklistick%C3%A9-komponenty/zapleten%C3%A1-kola-v%C3%BDplety/zapleten%C3%A1-kola-a-v%C3%BDplety-na-silni%C4%8Dn%C3%AD-kola/silni%C4%8Dn%C3%AD-kola-bontrager-paradigm-comp-tlr/p/14251/)
- [33] Aksium. *Mavic: Wheels* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://shop.mavic.com/en-int/aksium-rr0700.html#1028=3283>
- [34] *The Lugano charter* [online]. In: . Lugano: UCI, b.r. [cit. 2018-04-05].
- [35] *Clarification guide of the UCI technical regulation* [online]. In: . UCI, b.r. [cit. 2018-04-05].
- [36] Are disc a drag?. *VeloNews*. Boulder, Colorado: Pocket Outdoor Media, 2015, **44**(1), 58–59.

- [37] Specialized Bicycles: The wind tunnel: Disc vs Rim brakes. In: *YouTube* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=159&v=HXQuSnKkS-I](https://www.youtube.com/watch?time_continue=159&v=HXQuSnKkS-I)
- [38] OVERHOLT, Zach. First look Shimano Flat Mount hydraulic road disc brakes debut. *BikeRumor* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.bikerumor.com/2015/03/31/first-look-shimano-flat-mount-hydraulic-road-disc-brakes-debut-new-11-speed-105-level-hydro-shifter-more/>
- [39] The complete guide to Shimano road bike groupsets and their hierarchy. *Evans Cycles* [online]. 2018 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.evanscycles.com/coffeestop/advice/the-complete-guide-to-shimano-road-bike-groupsets-and-their-hierarchy>
- [40] Road: Groupsets. *SRAM* [online]. b.r. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.sram.com/sram/road/products>
- [41] Road racing: Groupsets. *Campagnolo* [online]. b.r. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: [https://www.campagnolo.com/WW/en/Groupsets/groupsets\\_for\\_racing\\_bicycles](https://www.campagnolo.com/WW/en/Groupsets/groupsets_for_racing_bicycles)
- [42] Groupset: UNO. *ROTOR* [online]. b.r. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://rotorbike.com/uno-groupset/>
- [43] Zapletená kola: Lightweight Meilenstein C Disc. *Kolokráč* [online]. b.r. [cit. 2018-05-09].
- [44] Zapletená kola: Lightweight Meilenstein C. *Kolokráč* [online]. b.r. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.kolokram.cz/zapletena-kola/15918-zapletena-kola-lightweight-meilenstein-c.html>
- [45] Zapletená kola: Specialized Roval CL 50. *Kola Svorada* [online]. b.r. [cit. 2018-05-09].
- [46] Zapletená kola: Specialized Roval CL 50 Disc. *Kola Radotín* [online]. b.r. [cit. 2018-05-09].
- [47] Wheels: Aksium Disc. *Mavic* [online]. b.r. [cit. 2018-05-09].
- [48] Wheels: Aksium. *Mavic* [online]. b.r. [cit. 2018-05-09].
- [49] Wheels: Cosmic Pro Carbon Disc. *Mavic* [online]. b.r. [cit. 2018-05-09].
- [50] Wheels: Cosmic Pro Carbon. *Mavic* [online]. b.r. [cit. 2018-05-09].
- [51] Silniční kola: Paradigm Comp TLR Disc. *Trek Bikes* [online]. b.r. [cit. 2018-05-09].
- [52] Silniční kola: Paradigm Comp TLR. *Trek Bikes* [online]. b.r. [cit. 2018-05-09].

- [53] *Katalog GIANT & LIV 2018*. 2017. Dostupné také z: <https://www.giant-bicycles.com/cz/news/katalog-giant-liv-2018-prohlizejte-stahujte/21759>
- [54] Silniční kola. *GHOST bikes* [online]. 2017 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.ghost-bikes.cz/produkty/silnicni-kola/22-23-28-0-0>
- [55] Silniční kola. *TREK bikes* [online]. 2017 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: [https://www.trekbikes.com/cz/cs\\_CZ/kola/silni%C4%8Dn%C3%AD-kola/c/B200/](https://www.trekbikes.com/cz/cs_CZ/kola/silni%C4%8Dn%C3%AD-kola/c/B200/)
- [56] Road bikes. *CANYON* [online]. 2017 [cit. 2018-04-06].
- [57] ZOLLINGER, Ulrich. Preliminary report on the forensic-medical analysis concerning an injury of VENTOSO Francisco. *World Federation Of The Sporting Goods Industry* [online]. Utzigen, b.r. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: [https://www.wfsgi.org/system/files/2017-02/Report\\_DiscBrakes\\_UZollinger.pdf](https://www.wfsgi.org/system/files/2017-02/Report_DiscBrakes_UZollinger.pdf)
- [58] Doull vs Kittel. In: *Twitter's image – hosting domain* [online]. b.r. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: [https://pbs.twimg.com/media/C5X\\_o79WYAERNZ8.jpg:large](https://pbs.twimg.com/media/C5X_o79WYAERNZ8.jpg:large)
- [59] LLOYD, Daniel. What's your opinion on disc brakes in the peloton? GCN asks the pros at the Vuelta A España. *Global Cycling Network* [online]. b.r. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=2iYYLhtDHpg>
- [60] LAST, Tom. Should disc brakes be allowed? GCN asks the pros. *Global Cycling Network* [online]. b.r. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=xvWBwhpm15w&t=1s>
- [61] CANNINGS, Jon. *What Do Professional Cyclists Really Think About Disc Brakes?: GCN Tech At The Tour Down Under* [online]. b.r. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=OX\\_EPa0ZuSM](https://www.youtube.com/watch?v=OX_EPa0ZuSM)
- [62] ČSN EN 573-3. *Hliník a slitiny hliníku - chemické složení a druhy tvářených výrobků: Část 3: Chemické složení*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 2004.
- [63] ČSN EN 754-2. *Hliník a slitiny hliníku - tyče a trubky tažené za studena: Část 2: Mechanické vlastnosti*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1999.
- [64] ČSN 41 7247. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1976.
- [65] *Geometrie rámu RB RR* [online]. b.r. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.rb-bike.cz/rb-bike-katalog/silnice/rr/ram/>
- [66] *Manufacturing processes and market trends continue to literally shape the bicycle frame: Butting* [online]. b.r. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://bikesportcorner.blogspot.cz/2012/08/what-to-look-for-in-frame.html>

- [67] *E-mailová korespondence s Petrem Heinikem z firmy RB: rb@rb-bike.cz* [online]. b.r. [cit. 27.4.2018].
- [68] *Car sticker: Share the road* [online]. b.r. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/17-8CM-12-2CM-Bicycle-Sticker-Life-On-2-Wheels-Bike-Share-The-Road-Car-Styling/32703660432.html>
- [69] KASANICKÝ, Gustáv. *Analýza nehod jednostopových vozidiel*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2000. ISBN 80-7100-598-3.
- [70] *Superior Road Issue* [online]. b.r. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://superiorbikes.eu/cz/2018/road-race/road-issue/matte-black-black-team-red>
- [71] Silniční kola: URC 70. *Kellys* [online]. b.r. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.kellysbike.com/cs/racing-c602/urc-70-p53539>
- [72] Campagnolo presents disc brakes componentry. *Campagnolo* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: [https://www.campagnolo.com/DE/en/CampyWorld/Products/campagnolo\\_disc\\_brake\\_project](https://www.campagnolo.com/DE/en/CampyWorld/Products/campagnolo_disc_brake_project)
- [73] *Všeobecná encyklopedie v osmi svazcích*. Vyd. 1. Praha: Diderot, 1999. Encyklopedie Diderot. ISBN 80-902555-9-0.
- [74] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel: jízdní odpory : hnací charakteristika : brzdění : odpruženost : říditelnost, ovladatelnost : stabilita*. 1. vyd. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5273-6.
- [75] *UCI: World Tour* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.uci.ch/road/ucievents/2018-road-uci-worldtour/360432018/>

## 12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CPA	Cyclistes Professionnels Associés – Asociace profesionálních cyklistů
HKB	hydraulické kotoučové brzdy
RB	Ráfkové brzdy
UCI	Union Cycliste Internationale – Mezinárodní cyklistická unie
WFSGI	World Federation of the Sporting Goods Industry – Světová federace průmyslu sportovního zboží
<i>b</i>	Zpomalení
<i>c</i>	Rameno síly $F_{sed}$
<i>d</i>	Rameno síly $F_{ri}$
$F_{bv}$	Výsledná brzdná síla
$F_{bp}$	Brzdná síla na předním kole
$F_{bz}$	Brzdná síla na zadním kole
$F_{kp}$	Tečná síla na předním brzdovém kotouči
$F_{kz}$	Tečná síla na zadním brzdovém kotouči
$F_{sed}$	Síla působící na sedlo
$F_{ri}$	Síla působící na řídítka
$F_{rp}$	Síla působící na vidlici (ráfkové brzdy)
$F_{rz}$	Síla působící na můstek zadní brzdy (ráfkové brzdy)
<i>g</i>	Tíhové zrychlení
$m_c$	Hmotnost cyklisty
$m_k$	Hmotnost kola
$m_{pe}$	Hmotnost nesená pedály
$m_{ri}$	Hmotnost na řídítkách
$m_{se}$	Hmotnost na sedle
$M$	Brzdňý moment
$M_p$	Brzdňý moment na předním kole
$M_z$	Brzdňý moment na zadním kole
$M_{se}$	Moment na sedle
$M_{ri}$	Moment na řídítkách
<i>r</i>	Poloměr ráfku, resp. kola
$r_{kot}$	Poloměr brzdového kotouče
<i>x</i>	Osa souřadnicového systému
$x_{kp}$	Rameno síly $F_{kp}$
$x_{kz}$	Rameno síly $F_{kz}$
$x_r$	Rameno síly $F_{rp}$ , resp. $F_{rz}$
<i>y</i>	Osa souřadnicového systému
<i>z</i>	Osa souřadnicového systému
$\gamma$	Úhel mezi trupem cyklisty a vodorovnou rovinou
$\delta$	Úhel mezi rukama cyklisty a vodorovnou rovinou



## 13 SEZNAM PŘÍLOH

K tištěné verzi této práce je přiložen CD-ROM obsahující tuto bakalářskou práci v elektronické podobě ve formátu PDF a makra použitá pro numerickou simulaci ve formátu TXT. K elektronické verzi této práce jsou přiložena tatáž makra. V obou případech jsou soubory zkomprimovány do formátu ZIP.