



# NÁVRH INTEGROVANÉHO DVOUSTUPŇOVÉHO PLANETOVÉHO PŘEVODU V NÁBOJI KOLA JEDNOKOLKY

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství  
*Autor práce:* **Kamil Bartoš**  
*Vedoucí práce:* Ing. Robert Voženílek, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Mechanical Engineering ■

## Bachelor thesis

*Study programme:* B2301 – Mechanical Engineering  
*Study branch:* 2301R000 – Mechanical Engineering

*Author:* **Kamil Bartoš**  
*Supervisor:* Ing. Robert Voženílek, Ph.D.





## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl především poděkovat panu Ing. Robertovi Voženílkovi, Ph.D., za odborné a organizační vedení při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, přátelům a také všem ostatním, kteří mě ve studiu podporovali.

## **Abstrakt**

V této bakalářské práci se budu zabývat vývojem dvoustupňového planetového převodu v náboji kola jednokolky. Navrhnou svůj vlastní kompletní jednokolku s řešením pro dosažení větší rychlosti jízdy. Dále zde představím, co to je taková jednokolka a k čemu vlastně slouží. Představím také běžně používané typy převodů v cyklistice a historii jejich vzniku. Hlavní předmět práce - planetovou převodovku - budu konstruovat dle získaných znalostí na vysoké škole, ale také dle vlastních zkušeností z cyklistiky, kde se více-rychlostní náboje běžně používají. Uspořádání náboje bude navrženo tak, aby umožňovalo upnutí kotoučové brzdy, použití šlapacích klik s normalizovaným drážkováním ISIS a zároveň vyhovovalo současným trendům v tomto sportu.

### **Klíčová slova:**

jednokolka, sjezd, náboj, více-rychlostní náboj, planetová převodovka, klika, hřídel

## **Abstract**

In this bachelor thesis I will present the development of the two-stage planetary gear of the unicycle hub. I will suggest my own complete unicycle with a solution for achieving higher speeds. I will also present what is such a unicycle and what for it is actually used. Moreover I will present commonly used types of gears in cycling and the history of its origin. The main subject of this work – the planetary gearbox – I will construct according to my knowledge gained at the university, but also according to my own experience with cycling, where multi-speed hubs are usually used. An arrangement of the hub will be designed to enable fixing of disc brake, a use of cranks with standardized ISIS grooving and as well to satisfy current trends in this sport.

### **Key words:**

unicycle, hub, downhill, speed-hub, planetary gearbox, crank, shaft

## Obsah

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Úvod.....                                                         | 12 |
| 2. Proč jsem si vybral toto téma? .....                              | 13 |
| 3. Převody používané v běžné cyklistice .....                        | 14 |
| 3.1. Jedno-rychlostní pohon.....                                     | 15 |
| 3.2. Kola s tzv. řazením retro-direct .....                          | 16 |
| 3.3. Řazení přehazovačkou .....                                      | 17 |
| 3.4. Planetové více-rychlostní náboje a šlapací středy .....         | 18 |
| 3.4.1. Vznik více-rychlostních nábojů .....                          | 18 |
| 3.4.2. Inspirace v oblasti více-rychlostních nábojů .....            | 20 |
| 3.4.3. Rozbor více-rychlostního náboje Sachs.....                    | 21 |
| 3.5. Výpočet převodového poměru.....                                 | 21 |
| 4. Jednokolka pro sjezd.....                                         | 25 |
| 5. Převodový poměr .....                                             | 26 |
| 6. Rychlost .....                                                    | 28 |
| 7. Měření rychlosti jízdy .....                                      | 29 |
| 8. Planetová převodovka.....                                         | 31 |
| 9. Můj vlastní 3D návrh jednokolky .....                             | 32 |
| 10. Prvotní návrh náboje s dvoustupňovou planetovou převodovkou..... | 33 |
| 11. Výpočtová zpráva .....                                           | 34 |
| 11.1. Výpočet převodového poměru.....                                | 34 |
| 11.2. Výpočet podmínky o počtu stupňů volnosti .....                 | 37 |
| 11.3. Výpočet montážní podmínky planetového soukolí .....            | 37 |
| 11.4. Výpočet velikosti ozubených kol.....                           | 37 |
| 11.5. Vstupní síly.....                                              | 38 |
| 11.6. Řadící mechanismus a přenesení momentu.....                    | 38 |
| 11.6.1. Minimální délka drážkování hřídele .....                     | 41 |
| 11.7. Návrh optimalizace ovládání řadícího mechanismu.....           | 41 |
| 12. Analýza napětí .....                                             | 44 |
| 13. Mazání .....                                                     | 47 |
| 14. Těsnění.....                                                     | 47 |

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 15. Použité součástky.....                              | 48 |
| 16. Design náboje a ostatních součástí .....            | 49 |
| 17. Závěr .....                                         | 50 |
| 18. Seznam použitých internetových zdrojů.....          | 51 |
| 19. Seznam použité literatury .....                     | 51 |
| 20. Přílohy.....                                        | 52 |
| Příloha 1: Obrázky součástí navrhované jednokolky ..... | 52 |
| Příloha 2: Má první jednokolka .....                    | 56 |
| Příloha 3: Jednokolka jak ji neznáte .....              | 57 |
| Příloha 4: Zajímavosti a doprava na jednom kole .....   | 58 |



## Seznam ilustrací

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 1: Klasický náboj jednokolky s osazením ISIS [9] .....                                        | 12 |
| Obrázek 2: Jedno-rychlostní převod .....                                                              | 15 |
| Obrázek 3: Schéma řazení retro-direct [2].....                                                        | 16 |
| Obrázek 4: Schéma řazení u běžného jízdního kola [10] .....                                           | 17 |
| Obrázek 5: Vlastní náboj značky Sturmey-Archer .....                                                  | 18 |
| Obrázek 6: 14-rychlostní náboj od výrobce Rohloff [1].....                                            | 19 |
| Obrázek 7: Náboj Schlumpf / KH s planetovou převodovkou [1] .....                                     | 19 |
| Obrázek 8: Pohled do náboje Sachs torpeda 5 .....                                                     | 20 |
| Obrázek 9: Schéma více-rychlostního náboje Sachs torpeda pentasport 5 .....                           | 21 |
| Obrázek 10: Schéma prvního převodového stupně .....                                                   | 22 |
| Obrázek 11: Schéma druhého převodového stupně.....                                                    | 23 |
| Obrázek 12: Jednokolka 26 palců pro sjezd [7].....                                                    | 25 |
| Obrázek 13: Porovnání průměrů kol a ujeté vzdálenosti na jedno otočení .....                          | 26 |
| Obrázek 14: Porovnání velikostí kol 24 a 36 palců [7] .....                                           | 27 |
| Obrázek 15: Různé délky klik [7].....                                                                 | 28 |
| Obrázek 16: Schéma planetového převodu .....                                                          | 31 |
| Obrázek 17: Vlastní návrh kompletní jednokolky .....                                                  | 32 |
| Obrázek 18: Převodovka z aku-vrtačky a model ze stavebnice Lego Technic.....                          | 33 |
| Obrázek 19: Pohled na návrh planetového soukolí v mém náboji .....                                    | 36 |
| Obrázek 20: Zobrazení rozsahu posunutí hřídele .....                                                  | 38 |
| Obrázek 21: Původní navrhované řešení zubové spojky .....                                             | 39 |
| Obrázek 22: Optimalizovaná zubová spojka .....                                                        | 40 |
| Obrázek 23: Umístění řadicí páčky na řídítkách (vlevo) a návrh řazení na sedlové trubce (vpravo)..... | 42 |
| Obrázek 24: Ovládací prvek řazení pomocí řetízku na více-rychlostním náboji .....                     | 42 |
| Obrázek 25: Optimalizace řadicího mechanismu .....                                                    | 43 |
| Obrázek 26: Průběh napětí v zatížené sestavě klik se středovou osou .....                             | 44 |
| Obrázek 27: Detailní pohled na namáhanou oblast .....                                                 | 45 |
| Obrázek 28: Zobrazení průběhu posunutí na klíce po zatížení.....                                      | 45 |
| Obrázek 29: Designový návrh pro namáhanou oblast kliky .....                                          | 46 |

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| Obrázek 30: Těsnící kroužek na hřideli .....    | 47 |
| Obrázek 31: Pohled na rozložený náboj .....     | 49 |
| Obrázek 32: Řez kolem s pohledem na ráfek ..... | 49 |

## Seznam použitých veličin a zkratek

| Značka     | Název                                 | Jednotky  |
|------------|---------------------------------------|-----------|
| $i$        | Převodový poměr                       | [ - ]     |
| $z_i$      | Počet zubů ozubeného kola             | [ z ]     |
| $z_c$      | Počet zubů centrálního ozubeného kola | [ z ]     |
| $z_k$      | Počet zubů korunového ozubeného kola  | [ z ]     |
| $z_s$      | Počet zubů satelitu ozubeného kola    | [ z ]     |
| $s_i$      | Satelit planetového soukolí           | [ - ]     |
| $c_i$      | Centrální kolo planetového soukolí    | [ - ]     |
| $k_i$      | Korunové kolo planetového soukolí     | [ - ]     |
| $u_i$      | Unašeč planetového soukolí            | [ - ]     |
| $\omega_i$ | Úhlová rychlost                       | [ rad/s ] |
| $\omega_c$ | Úhlová rychlost centrálního kola      | [ rad/s ] |
| $\omega_k$ | Úhlová rychlost korunového kola       | [ rad/s ] |
| $\omega_s$ | Úhlová rychlost satelitu              | [ rad/s ] |
| $\omega_u$ | Úhlová rychlost unašeče               | [ rad/s ] |
| $o$        | Obvod kola                            | [ m ]     |
| $l$        | Ujetá dráha                           | [ m ]     |
| $v$        | Rychlost jednokolky                   | [ m/s ]   |
| $f$        | Frekvence šlapání                     | [ 1/s ]   |
| $S$        | Počet stupňů volnosti                 | [ ° ]     |
| $n$        | Počet členů                           | [ - ]     |
| $p$        | Posuvná vazba                         | [ - ]     |
| $V$        | Valivá vazba                          | [ - ]     |
| $r$        | Rotační vazba                         | [ - ]     |
| $O$        | Obecná vazba                          | [ - ]     |
| $D, d$     | Geometrický průměr                    | [ mm ]    |
| $m_m$      | Modul ozubení                         | [ - ]     |
| $M_k$      | Krouticí moment                       | [ Nm ]    |
| $m$        | hmotnost                              | [ kg ]    |
| $k$        | Koeficient bezpečnosti                | [ - ]     |

## 1. Úvod

Tato práce si klade za cíl v rámci strojních technologií navrhnout zdokonalení jednokolky jako předmětu pro sport a zábavu. Hlavním znakem tohoto typu kola je stálý šlapací převodový poměr 1:1. Kliky jsou pevně spjaty s nábojem kola, a tak je zapotřebí stále šlapat, abychom se pohybovali. A to i při jízdě z kopce, kdy tak pohyb kola brzdíme.

Rád bych navrhl vlastní technické řešení pro dosažení větší rychlosti na takovémto jednokole. Mělo by se jednat o snadno řiditelnou dvoustupňovou převodovku, která by nabízela mimo běžný převodový poměr 1:1 také převodový poměr 2:3. Nacházela by se přímo v náboji kola a využívala by planetových převodů. Výhodou by také byla univerzálnost tohoto náboje, aby se dal pouze jednoduše zaměnit za klasický náboj. Rozměry pro usazení ložisek, rozteč vidlice i šlapací osa zůstanou stejné velikosti. Vlastnosti geometrie jednokolky a jízdních vlastností tím zůstanou zachovány.

Před samotným návrhem nového náboje popíši, proč je nejvhodnějším řešením použití planetového převodu pro jednokolku a jaké jsou dnes jiné možnosti pro změnu rychlosti v cyklistice. Návrh bude doprovázen nejen kinematickými výpočty soukolí jednokolky, ale i ověřením převodových poměrů daných u konkrétního typu převodovky.

Při sestavování převodovky se budu setkávat s řadou problémů, které budou v této konstrukci řešeny a budou zde popisována jejich alternativní řešení.



**Obrázek 1:** Klasický náboj jednokolky s osazením ISIS [9]

## **2. Proč jsem si vybral toto téma?**

Na jednokolce jsem začal jezdit před několika lety. Můj první takový stroj bylo kolo vlastní výroby. Neměl jsem zkušenosti s žádným originálním výrobkem, a tak jsem s konstrukcí postupoval pouze podle ilustrací z internetu. Jednokolka byla plně funkční a postupem času jsem na ní zdokonaloval nejrůznější technické součásti.

Pro mě byla jednokolka rekreační záležitost a bral jsem ji jako dobrý způsob pro zdokonalení rovnováhy a zpestření mého prioritního sportu, sjezdu na horském kole. Neznal jsem nikoho, kdo by na něčem podobném jezdil. Sledoval jsem pouze videa s americkým jezdcem Krisem Holmem, který se tomuto sportu vrcholově věnoval jako jeden z prvních a dokázal na jednokolce jezdit sjezd na strmých přírodních svazích a skákat přes trialové překážky. Tento člověk je i dnes hlavním představitelem jízdy na jednokolce. Vlastní také firmu, která nese jeho jméno a vyrábí špičkové jednokolky pro všechny druhy jízdy.

Před osmi lety jsem svojí vlastnoručně vyrobenou jednokolku zapůjčil mému kamarádovi Jakubovi Rulfovi, který se začal tomuto sportu také věnovat. Po krátké době si zakoupil už originální jednokolku a spolu jsme na těchto strojích zkoušeli skákat a jezdit v lese. Kamarádovi se tento sport zalíbil natolik, že se mu začal plně věnovat a pravidelně trénovat. Při svých prvních závodech ve sjezdu dokonce zvítězil a porazil i zahraniční jezdce. Nyní je mistrem Evropy a opakovaně i několika našich sousedních států. Ovšem jeho největším úspěchem je první místo na mistrovství světa v Itálii z roku 2012. V letošním roce se opět chystá obhájit svůj sjezdový titul v kanadském Montrealu.

Ve své práci budu prezentovat také svůj vlastní návrh jednokolky, která bude konstruována s nejvyššími nároky na jízdu v terénu tak, aby vyhovovala mně i mému kamarádovi dle našich získaných zkušeností v praxi.

Osobně mě tento sport stále baví, a proto jsem si ho zvolil i jako téma pro svou bakalářskou práci. Věřím, že to bude zároveň prospěšný krok pro zkvalitnění a zvýšení úrovně jízdy na jednokolce.

### 3. Převody používané v běžné cyklistice

Jedná se o převody používané na jízdním kole s pohonem kol, která jsou poháněna pedály. Pro dosažení lepších jízdních vlastností a snížení námahy jezdce používáme celou řadu druhů řadicích členů a převodovek. V dnešní době se však především používají řazení kol pomocí tzv. přehazovačky.

První jízdní kolo, tzv. „kostitřas“, případně nazývaný drezína, který sestrojil v roce 1813 německý baron Karl Wilhelm Friedrich Christian Ludwig Drais von Sauerbronn, bylo postaveno ze dřeva a loukoťových kol. Poháněno bylo pouze odrážením nohou o zem. Nedalo se na něm tedy pohybovat příliš rychle. Pro usnadnění pohonu drezíny byly na předním kole časem sestrojeny pedály, ale při malém obvodu kola jezdec opět nedosahoval příliš velké rychlosti. Proto bylo koncem 19. století přední kolo zvětšeno a vzniklo vysoké kolo. Výška kola a s ním spojená nestabilita však přinášela řadu problémů a navíc kolo bylo nebezpečné. Zanedlouho bylo vynalezeno již nízké kolo s jednoduchým převodem.

Později v roce 1904 vynalezl německý technik Ernst Sachs volnoběžný náboj, který použil u jízdního kola. [4]

V roce 1933 vymyslel italský cyklistický závodník a vynálezce Tullio Campagnolo první přehazovačku pro kolo s více pastorky na zadním kole. Jako jiný typ pohonu, ale již touto dobou existovala kola s planetovými více-rychlostními náboji. [11]

Jelikož vývoj dopravních prostředků byl často spojován s válečnými potřebami, kvůli větší dostupnosti automobilů po druhé světové válce zájem o jízdní kolo poklesl. Ovšem v 70. letech obliba kol začala opět stoupat a děje se tak až do dnešní doby. A to nejen pro běžné potřeby lidí se přemísťovat, ale hlavně pro sportovní vyžití a s ním spojený způsob zdravého života.

#### **Dělení převodů podle typu pohonu:**

- Jedno-rychlostní s volnoběhem nebo bez volnoběhu
- Kola s tzv. řazením retro-direct
- Řazení přehazovačkou

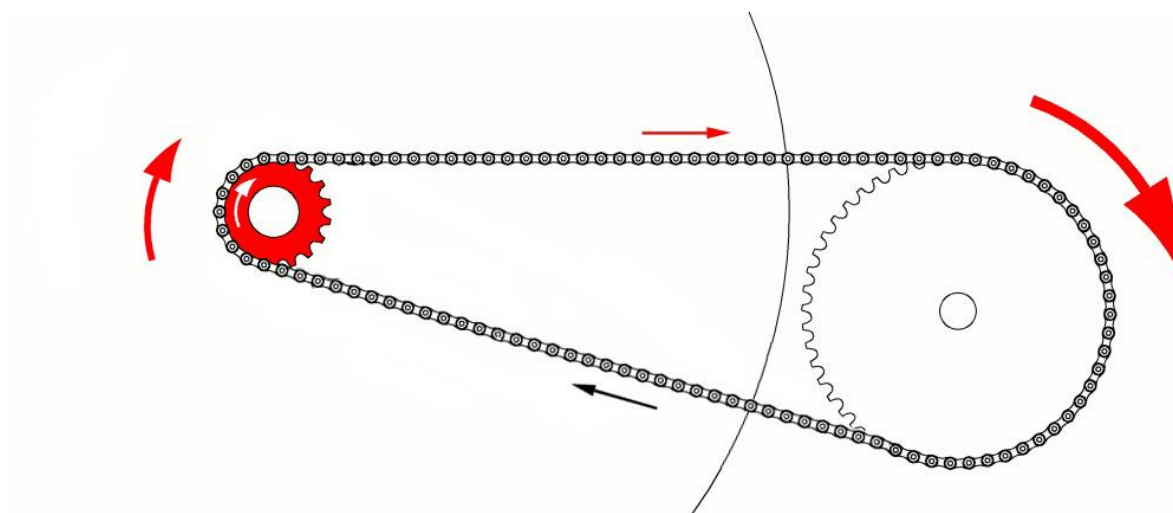
- Planetové více-rychlostní náboje a šlapací středy
- Ostatní typy řazení

### 3.1. Jedno-rychlostní pohon

Jedná se o nejjednodušší způsob pohonu jízdního kola pomocí článkového řetězu, volnoběžného pastorku a převodníku umístěného na klice. Stálý převodový poměr  $i$  je dán počtem zubů na výstupu ku vstupu.

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (1)$$

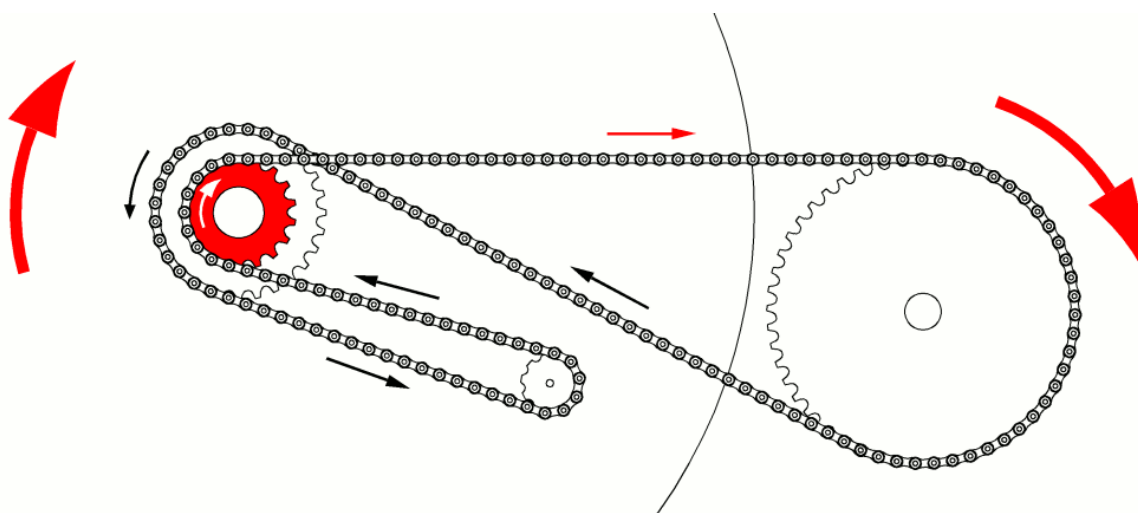
První konstrukce neměly volnoběžný pastorek (cvrčka), a tak bylo nutné neustále šlapat ,a to i při jízdě z kopce, což bylo velmi nepraktické řešení. Na následujícím obrázku je zobrazení jedno-rychlostního převodu.



**Obrázek 2:** Jedno-rychlostní převod

### 3.2. Kola s tzv. řazením retro-direct

Velmi starý, ale zato jednoduchý systém použití dvou rychlostí bez řadicího členu je právě systém retro-direct. Vymyslel ho francouzský vynálezce Paul de Martin de Viviés začátkem 20. století. Důmyslnost tohoto převodu spočívá ve dvou rozdílně velkých volnoběžných kolečkách na zadním kole. Při šlápnutí do pedálů vpřed je poháněno zadní kolo přes menší kolečko a převod je více do rychla, zatímco se druhé větší kolečko volně protáčí na volnoběžce. V opačném případě při nestandardním šlápnutí vzad se pohyb kola přenáší přes kolečko větší. To nám usnadní zejména rozjezdy a jízdu do kopce. Ačkoliv se zdá pohyb šlápnutí vzad velmi nepřírozený, jednoduchá konstrukce velice usnadní jízdu na kole oproti jedno-rychlostnímu řešení. Jízdní kolo zůstává tiché a plynulé přenášení síly na zadní kolo při změně smyslu otáčení vyvolává pocit lehkosti a elegance jízdy. [2]



Obrázek 3: Schéma řazení retro-direct [2]

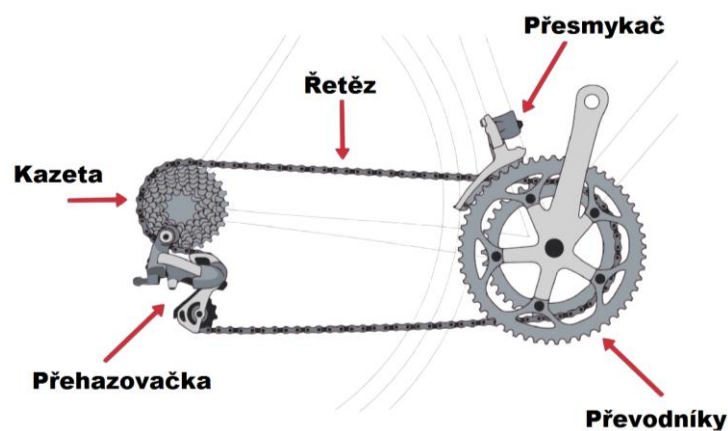


### 3.3. Řazení přehazovačkou

Dnes nejrozšířenějším způsobem řazení na běžném jízdním kole je řazení převodů pomocí přehazovačky. Ta je ovládána páčkami na rámu či řídítkách kola přes ocelová lanka vedená bovdeny. Jedná se o způsob, který původně vymyslel Ital Tulio Campagnolo a dlouhou dobu si udržel v této oblasti prvenství. V 80. letech 20. století však převzala celkovou nadvládu nad cyklistickými komponentami japonská firma Shimano, která si razila cestu svým revolučním modelem řazení pomocí dvoupáček. Oproti tomu americká firma SRAM šla cestou grip shift, což je způsob ovládání přehazovačky pomocí otočné rukojeti na řídítkách. V současné době nabízejí tito tři výrobci celou řadu nejrůznějších typů řazení. [11]

Napínání lanka způsobuje pohyb ramínka přehazovačky a tak dochází na zadní více-kolečkové kazetě k přehazování převodů. Jednotlivá kolečka mají v postranní části zkonstruovaný náběh, a tak je možné článkovým řetězem řadit i při neustálé zátěži na pedálu.

Konstrukce zadní kazety z počátku umožňovala řazení pouze na dva až tři převody. Postupným trendem byla snaha řetěz zmenšovat a na zadní převodovou kazetu umístit co nejvíce ozubených koleček. Dostupné jsou dnes kazety se 7 až 11 rychlostmi pro různé kategorie cyklistiky. Přesmykač kola podobně umožňuje řadit převody i v přední části hnacího ozubeného tácu. Zde jsou umístěny dle potřeby jezdce maximálně 3 další převody, které lze do určité míry kombinovat s převody na zadní kazetě, tak aby nedocházelo k překřížení řetězu.



Obrázek 4: Schéma řazení u běžného jízdního kola [10]

### 3.4. Planetové více-rychlostní náboje a šlapací středy

V této kapitole se budu zabývat běžně používanými více-rychlostními náboji pro jízdní kola a vysvětlím zde, na jakém principu fungují.

#### 3.4.1. Vznik více-rychlostních nábojů

U běžných jízdních kol se planetové více-rychlostní náboje používají již dlouhou dobu. Začátky těchto nábojů sahají do konce 19. století, kdy vznikala první jízdní kola dnešní koncepce. Z počátku se jednalo pouze o dvou či tří-rychlostní náboje. Mezi nejvýznamnější výrobce tehdy patřil Sturmey-Archer z Velké Británie, kde si bicykly s tímto druhem řazení lidé velmi oblíbili. Také v Německu výrobce Fichtel & Sachs aplikoval své převodovky do zadních nábojů kol již začátkem 20. století. Od druhé poloviny 20. století se začali objevovat náboje čtyř i více-rychlostní od těchto značek. Ze země vycházejícího slunce přinesl na trh Shimano dokonce náboj sedmi-rychlostní. Sachs předává v 90. letech svou výrobu v této oblasti cyklistické značce Sram ze Spojených států amerických a na trh se také dostává další významný producent dnešní doby německý Rohloff.

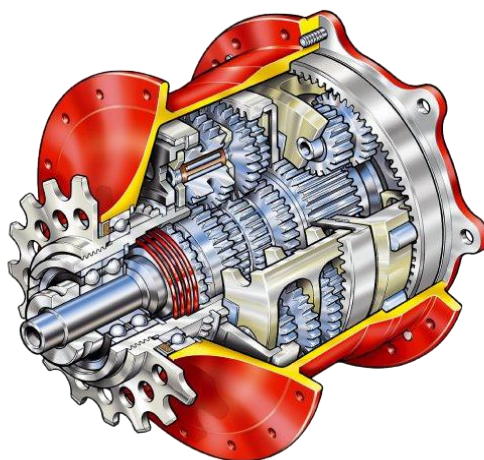
V naší zemi již není tento typ řazení příliš znám. V minulých desetiletích se ale také taková kola běžně na trhu objevovala.

Často jsou pro svou nenáročnou údržbu využívána v zemích Holandska, Německa a Velké Británie. Řada nábojů z padesátých let, a dokonce i starší, svoji majitelé na kolech stále používají a nevykazují i po tak dlouhé době žádné poruchy. [3]



**Obrázek 5:** Vlastní náboj značky Sturmey-Archer

Pro zajímavost jsem přidal ilustraci s řezem v Rohloff 14-rychlostním náboji. Je zde vidět opravdu složitý systém planetových převodovek. Cena této převodovky se pohybuje kolem 26 tis. Kč.



**Obrázek 6:** 14-rychlostní náboj od výrobce Rohloff [1]

Na trhu se již před několika lety objevila také převodovka pro jednokolky od německého výrobce SCHLUMPF INNOVATIONS. Tato firma úzce spolupracuje s výrobcem jednokolek KH (Kris Holm) a dodává jí své náboje s řazením. Jsou tak jediní společníci na trhu, kteří mají tento systém. [1]

Jejich zařízení je ale velmi nedostupné a vyrábí se jen na zakázku. Například v naší republice je minimální čekací lhůta dodání cca. 6 měsíců. Další nevýhodou je, že cena takového náboje převyšuje několikrát cenu samotné jednokolky a pohybuje se kolem 22 tis. Kč.



**Obrázek 7:** Náboj Schlumpf / KH s planetovou převodovkou [1]

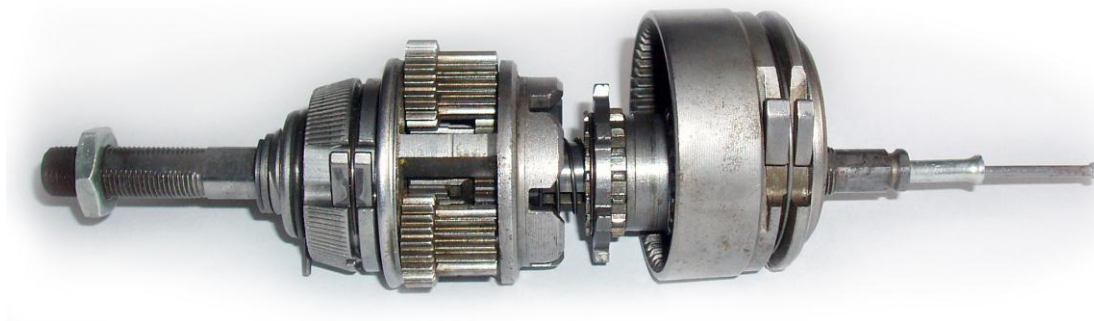
### 3.4.2. Inspirace v oblasti více-rychlostních nábojů

Protože je cyklistika mou celoživotní zálibou a více-rychlostní náboje mě zaujaly na tolik, že jsem začal vymýšlet svou vlastní koncepci speciálně pro jednokolky, opatřil jsem si také několik druhů více-rychlostních nábojů pro běžné jízdní kolo. Německý výrobce Rohloff nabízí především velmi kvalitní konstrukce a celkové provedení nábojů s velmi dobrou životností i pro použití na horských či sjezdových kolech. Jejich prodejní cena je na našem trhu však natolik vysoká, že se s nimi příliš často nesetkáme. Ostatní výrobci nabízejí své produkty s o něco menším počtem převodů než zmíněný Rohloff se 14-rychlostmi, ale zato za dostupné ceny blízké se kompletům šlapacího ústrojí běžného horského kola. Jejich kvalita je pro běžného uživatele nadměru dostačující.

V současné době mám na jednom ze svých kol tří-rychlostní náboj Sturmey-Archer. Jízdní kolo značky Peugeot na kterém je umístěn pochází z roku 1971 a náboj perfektně funguje. Na své malé rozměry a relativně nízkou hmotnost nabízí převodové rozměry 0,54 ; 1 ; 1,75. Což je ideální rozsah převodů pro běžné použití v městském provozu, kde nejsou tak náročné podmínky.

Další náboje, které vlastním je pěti a sedmi-rychlostní Sachs, které mají podstatně větší rozsah převodových poměrů.

Také dle poznatků získaných z konstrukce těchto nábojů jsem navrhl vlastní náboj pro jednokolku. Na následujícím obrázku je pohled na vnitřek zmíněné převodovky Sachs torpédo 5.

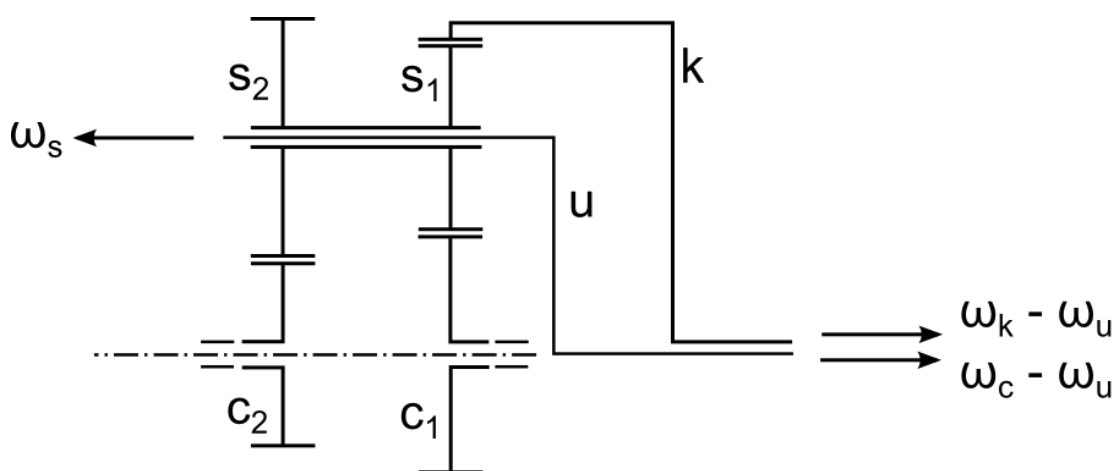


**Obrázek 8:** Pohled do náboje Sachs torpédo 5

### 3.4.3. Rozbor více-rychlostního náboje Sachs

Náboj Sachs torpedo pentasport 5 se vyráběl od roku 1992 a nabízel pět převodových stupňů na planetovém soukolí o poměrech 0,67 ; 0,78 ; 1 ; 1,28 ; 1,5. Tento typ náboje je jeden z těch, který mám a tak jsem se rozhodl, že na něm ukážu princip přenášení točivého momentu z pastorku na zadní kolo.

Základní konstrukce planetových převodovek ve více-rychlostních nábojích pro jízdní kola sestává z převodového poměru, který je dán přenášením točivého momentu unašeče na korunové kolo při zastavení centrálního kola a opačně z korunového kola na unašeč při zastaveném centrálním kole. Požadovaný smysl otáčení tak zůstává ve stejném směru. Následující schéma ukazuje sestavení planetové převodovky ve více-rychlostním náboji.



**Obrázek 9:** Schéma více-rychlostního náboje Sachs torpedo pentasport 5

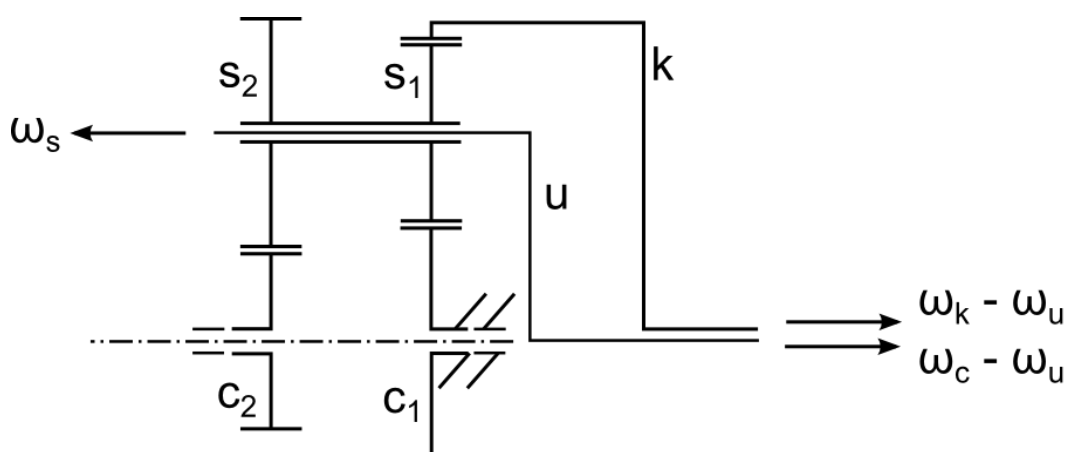
### 3.5. Výpočet převodového poměru

Výpočet kinematického schématu lze vyřešit pomocí několika typů postupů. Pro toto soukolí jsem užil efektivní metodu záměny soukolí (planetového za předlohové), která zjišťuje převodové poměry vyjádřené pomocí počtu zubů.

## 1. rychlostní stupeň:

Převodový poměr je dán z unašeče na korunové kolo při zastavení centrálního kola č. 1.

počty zubů:  $Z_{c1} = 30$   
 $Z_k = 60$



Obrázek 10: Schéma prvního převodového stupně

Vyjádření převodového poměru prvního rychlostního stupně:

$$\frac{\omega_k - \omega_u}{\omega_{c1} - \omega_u} = - \frac{Z_{s1}}{Z_k} \cdot \frac{Z_{c1}}{Z_{s1}} \quad (2)$$

$$\frac{\omega_k}{\omega_u} = 1 + \frac{Z_{c1}}{Z_k} \quad (3)$$

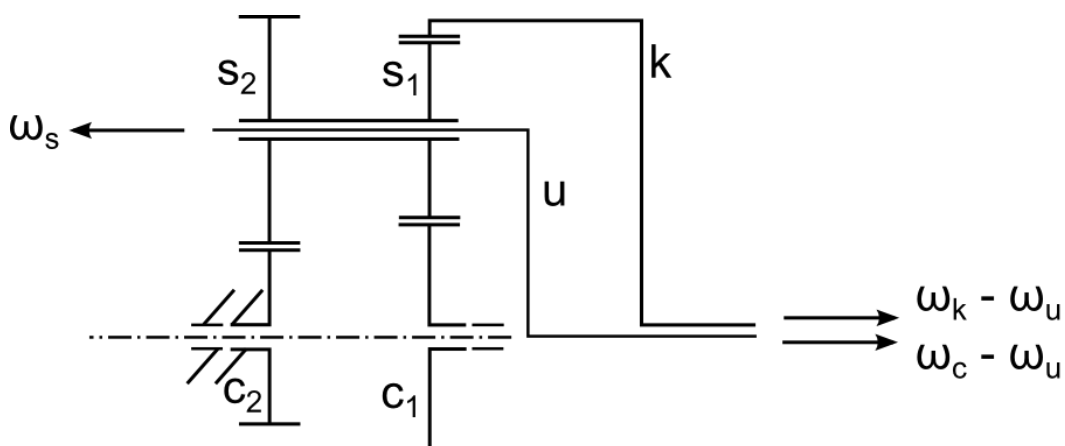
$$i_{uk}^{c1} = \frac{\omega_u}{\omega_k} = \frac{1}{1 + \frac{Z_{c1}}{Z_k}} = \frac{1}{1 + \frac{30}{60}} = \frac{2}{3} = \underline{\underline{0,66}} \quad (4)$$

Hodnota převodového poměru vyhovuje zjištěné hodnotě pro konkrétní převodovku.

## 2. rychlostní stupeň:

Převodový poměr je dán z unašeče na korunové kolo při zastavení centrálního kola č. 2.

počty zubů:  $Z_{s1} = 15$      $Z_{s2} = 21$   
 $Z_k = 60$      $Z_{c2} = 24$



Obrázek 11: Schéma druhého převodového stupně

Vyjádření převodového poměru druhého rychlostního stupně:

$$\frac{\omega_k - \omega_u}{\omega_{c2} - \omega_u} = - \frac{Z_{s1}}{Z_k} \cdot \frac{Z_{c2}}{Z_{s2}} \quad (5)$$

$$\frac{\omega_k}{\omega_u} = 1 + \frac{Z_{s1}}{Z_k} \cdot \frac{Z_{c2}}{Z_{s2}} \quad (6)$$

$$i_{uk}^{c2} = \frac{\omega_u}{\omega_k} = \frac{1}{1 + \frac{Z_{s1}}{Z_k} \cdot \frac{Z_{c2}}{Z_{s2}}} = \frac{1}{1 + \frac{15 \cdot 24}{60 \cdot 21}} = \frac{7}{9} = \underline{\underline{0,7\bar{7}}} \quad (7)$$

Hodnota převodového poměru vyhovuje zjištěné hodnotě pro konkrétní převodovku.

### 3. rychlostní stupeň:

Převodový poměr je dán přímým přenesením momentu na korunové kolo, které je výstupem z převodovky. Převodový poměr  $i = 1$

### 4. rychlostní stupeň:

Převodový poměr je dán z korunového kola na unašeč při zastavení centrálního kola číslo 2. Jedná se o převrácený poměr druhého rychlostního stupně.

$$\begin{array}{ll} \text{počty zubů:} & Z_{s1} = 15 \quad Z_{s2} = 21 \\ & Z_k = 60 \quad Z_{c2} = 24 \end{array}$$

Vyjádření převodového poměru čtvrtého rychlostního stupně:

$$\frac{\omega_k - \omega_u}{\omega_{c2} - \omega_u} = -\frac{Z_{s1}}{Z_k} \cdot \frac{Z_{c2}}{Z_{s2}} \quad (8)$$

$$i_{ku}^{c2} = \frac{\omega_k}{\omega_u} = 1 + \frac{Z_{s1}}{Z_k} \cdot \frac{Z_{c2}}{Z_{s2}} = 1 + \frac{15 \cdot 24}{60 \cdot 21} = \frac{9}{7} = \underline{\underline{1,28}} \quad (9)$$

Hodnota převodového poměru vyhovuje zjištěné hodnotě pro konkrétní převodovku.

### 5. rychlostní stupeň:

Převodový poměr je dán z korunového kola na unašeč při zastavení centrálního kola číslo 1. Jedná se o převrácený poměr prvního rychlostního stupně.

$$\begin{array}{ll} \text{počty zubů:} & Z_{c1} = 30 \\ & Z_k = 60 \end{array}$$

$$\frac{\omega_k - \omega_u}{\omega_{c1} - \omega_u} = -\frac{Z_{c1}}{Z_k} \quad (10)$$

$$i_{ku}^{c1} = \frac{\omega_k}{\omega_u} = 1 + \frac{Z_{c1}}{Z_k} = 1 + \frac{30}{60} = \frac{3}{2} = \underline{\underline{1,50}} \quad (11)$$

Hodnota převodového poměru vyhovuje zjištěné hodnotě pro konkrétní převodovku.



#### 4. Jednokolka pro sjezd

Jednokolka pro sjezd, neboli také nazývaná MUNI (mountain), je potřebně upravená pro tyto podmínky. Má obvykle větší 24 nebo 26 palcové kolo s hrubým vzorkem a silnou pneumatikou, která zajišťuje lepší držení kola na kluzké, valivé zemi a také tlumí rázy. Větší průměr kola usnadňuje lépe zvládat terénní nerovnosti a zároveň pomáhá pohybovat se větší rychlostí.

Pevný převod na takovémto kole je 1:1, což znamená, že při jednom otočení kliky (šlápnutí) se nám kolo otočí pouze jednou. Větší rychlosti jsme tak doposud mohli dosáhnout pouze větším obvodem kola nebo změnou délky klik.

Aby jezdec nemusel z kopce brzdít rychlost pouze pomalým a namáhavým šlapáním do pedálů, většinou si pomáhá hydraulickou ráfkovou brzdou nebo brzdou kotoučovou ovládanou brzdovou pákou pod sedadlem na rámu jednokolky. Rám je často zesílen v oblasti šlapacího středu, klik, podkově sbíhajících se nohou a sedlové trubky. Sedlo bývá měkčí, aby tlumilo rázy od nerovného povrchu. Pedály mají větší dosedací plochu a hrubé výstupky, aby měly lepší kontakt s podrážkou boty.



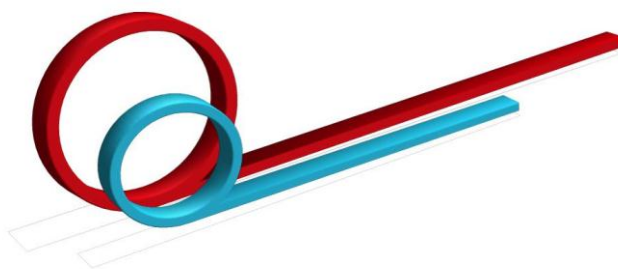
**Obrázek 12:** Jednokolka 26 palců pro sjezd [7]

## 5. Převodový poměr

Jak už jsem se zmínil, běžné jednokolky mají stálý převodový poměr, a tak hraje velkou roli především velikost kola<sup>1</sup>, pokud se snažíme dosáhnout větší rychlosti. Na následujícím obrázku jsem se pokusil naznačit, jak se bude lišit ujetá dráha kola, po jednom otočení pedálu.

- V prvním případě schématu modré barvy je znázorněno kolo o běžném průměru 24 palců. Ujetá dráha kola na jedno šlápnutí do pedálu je 2,06 metrů.
- V druhém případě se jedná o kolo s průměrem 36 palců. Tato kola se také vyrábí, ale jejich použití je spíše pro maratony a cestování na delší trasy. Pro jízdu v terénu je takto velké kolo málo obratné, a tak ani nemá význam pro ně vyrábět hrubé vzorky. Jeho obvod je 3,09 metrů.

Ideální kombinací by tak byla jednokolka, která by měla řazení v náboji s převodovým poměrem do rychla 2:3, a tak by se kolo po jednom šlápnutí do pedálů chovalo ve skutečnosti jako kolo s větším průměrem.



**Obrázek 13:** Porovnání průměrů kol a ujeté vzdálenosti na jedno otočení

---

<sup>1</sup> Velikost průměrů kol se v cyklistice uvádí v palcích, dnes jsou využívána kola 20, 24, 26, 28(29) a 36 palců. Nově používaný rozměr je také v poslední době velikost 27,5 palce.

Na dalším obrázku můžeme vidět skutečné porovnání velikostí jednokolek od výrobce KH. Je zde patrný značný rozdíl velikostí ráfků 24 a 36 palců. Pokud bychom měli na menší MUNI jednokolce v náboji kola převodovku s poměrem řazení 2:3, jízda by byla jako na druhém velkém kole (vpravo).



**Obrázek 14:** Porovnání velikostí kol 24 a 36 palců [7]

## 6. Rychlost

Velikost kola není ale jediný faktor, který ovlivňuje rychlost, jakou jsme schopni jet na jednokolce. Použitím vhodné délky klik můžeme dosáhnout různých rychlostí. Reálně jsme schopni dosahovat různé frekvence šlapání v závislosti právě na délce klik.

Pokud máme delší kliky, pedály na které působíme, konají pohyb po delší kruhové dráze. Musíme zdvihat výše kolena a i naše tělo se více hýbe ze strany na stranu, což způsobuje neefektivní pohyb a snižuje naši stabilitu. Ale má to i svou výhodu a tou je usnadnění jízdy do kopce. Proto si jezdec volí obvykle optimální délku klik i podle profilu tratě. Šlapací kliky, které se používají na běžná kola, se pro jednokolku využít nedají. Držáky pro převodník na pravé klice jsou nám zde nepotřebné a ani použití dvou levých klik nelze. Závity pedálů v klice jsou rozdílné pro levou a pravou stranu, aby se za jízdy nepovolovaly. Proto se vyrábějí speciální kliky právě pro jednokolky a to v různých délkách od 110 mm do 170 mm a v rozdílné kvalitě zpracování pro různé druhy použití. K zajištění kliky na šlapací ose se dnes využívá nejčastěji normalizované drážkování ISIS namísto klasického čtyřhranu. A to kvůli většímu namáhání oproti běžnému kolu, kde se nám hmotnost jezdce rozloží na více místech rámu.



**Obrázek 15:** Různé délky klik [7]

## 7. Měření rychlosti jízdy

Do práce jsem také zahrnul praktický pokus, při kterém jsem zjišťoval maximální možnou frekvenci šlapání a také jakou rychlostí jsme schopni se při ní pohybovat. Výsledné hodnoty jsou průměr vycházející ze tří měření. Pro větší rozsah hodnot jsem začlenil do pokusu více typů zkušebních drah.

Pokus byl proveden na kolech o průměru 20, 24 a 26 palců s použitím různé délky klik. U nejmenšího kola byly kliky délky 125 mm, u většího 150 mm a u 26 palcového kola kliky délky 145 mm.

Skutečné obvody těchto kol se mohou vzájemně lišit podle druhu použitého pláště. Jeho rozměr se u kola udává pouze ve standardních průměrech stanovených na nafouknutém plášti a druhým rozměrem je jeho šířka. Oba údaje se nejčastěji uvádí v palcích. Při měření byly použity pláště o rozměrech 20x2,25 (  $o_1=1612\text{mm}$  obvod), 24x3,0 ( $o_2=2050\text{ mm}$ ) a 26x3,0 ( $o_3=2210\text{ mm}$ ). Všechny tyto pláště mají velmi hrubý dezén a jejich rozměry patří k těm největším pro použití na stanovených ráfcích tak, aby docházelo k maximálnímu útlumu vibrací při jízdě.

Měření jsem prováděl s mým již zmíněným kamarádem, který dělal testovacího jezdce. Nejprve jsme měřili na asfaltovém povrchu. Na vytyčené trase 30 m jízdu po rovině, poté s kopce a do kopce. Nakonec ještě jízdu s kopce ve velmi náročném terénu, který odpovídal závodním úsekům při sjezdu.

**Použité vzorce:**

$$v = \frac{l}{t} \quad (12)$$

$$f = \frac{v}{o} \quad (13)$$

**Zjištěné hodnoty jsem uvedl do tabulky:**

| Typ kola:       | Jízda po rovině - asfalt |             |              |             | Jízda s kopce - asfalt |             |              |             |
|-----------------|--------------------------|-------------|--------------|-------------|------------------------|-------------|--------------|-------------|
|                 | $t_p$ [s]                | $v_p$ [m/s] | $v_p$ [km/h] | $f_p$ [o/s] | $t_p$ [s]              | $v_p$ [m/s] | $v_p$ [km/h] | $f_p$ [o/s] |
| <b>20 palců</b> | 6,3                      | 4,8         | 17,3         | <b>3,0</b>  | 5                      | 6           | 21,6         | <b>3,7</b>  |
| <b>24 palců</b> | 4,8                      | 6,3         | 22,7         | <b>3,0</b>  | 4,3                    | 7           | 25,2         | <b>3,4</b>  |
| <b>26 palců</b> | 4,6                      | 6,5         | 23,5         | <b>3,0</b>  | 4,1                    | 7,3         | 26,3         | <b>3,3</b>  |
|                 | Jízda do kopce - asfalt  |             |              |             | Jízda s kopce - terén  |             |              |             |
|                 | $t_p$ [s]                | $v_p$ [m/s] | $v_p$ [km/h] | $f_p$ [o/s] | $t_p$ [s]              | $v_p$ [m/s] | $v_p$ [km/h] | $f_p$ [o/s] |
| <b>20 palců</b> | 8,4                      | 3,6         | 13           | <b>2,2</b>  | 10,2                   | 2,9         | 10,4         | <b>1,8</b>  |
| <b>24 palců</b> | 7                        | 4,3         | 15,5         | <b>2,1</b>  | 7,5                    | 4           | 14           | <b>1,9</b>  |
| <b>26 palců</b> | 5,6                      | 5,4         | 19,3         | <b>2,42</b> | 6,9                    | 4,3         | 15,7         | <b>2</b>    |

Tento test jsem uvedl pro zajímavost, aby bylo vidět, jakých rychlostí lze na jednokolce dosáhnout a také proto, abych zjistil otáčky hřídele na vstupu do navrhované převodovky. Hodnoty jsou orientační a týkají se výkonného jezdce, který mi asistoval. Budou použity i ve výpočtech pro více-rychlostní náboj.

Jak lze z údajů tabulky vidět, hodnoty frekvence šlapání jsou dle očekávání na jednotlivých typech zkušební dráhy podobné a rychlost pohybu kola je tedy přímo úměrná frekvenci. Cílem převodovky tak bude nejen dosažení větší rychlosti, ale také snížením tohoto kmitočtu na hranici, kdy nedochází k velkému energetickému výdeji jezdce.

Při aplikaci mnou navrhované převodovky by se dalo dosáhnout větších rychlostí. Ve skutečnosti by převody a množství ložisek v náboji sice vedly ke ztrátám výkonosti, ale teoreticky lze dosáhnout o 1/3 vyšších rychlostí.

U jednokolky 24 palců s převodovkou by se tak dalo pohybovat rychlostí 25 - 40 km/h. Pro maratonové, cyklokrosové i sjezdové ježdění by to bylo ideální řešení. Dle zkušeností se ale ukazuje, že využití by měla převodovka také u dnes často používané 26 palcové jednokolky, kde by se dalo dosahovat rychlostí ještě o něco vyšších.

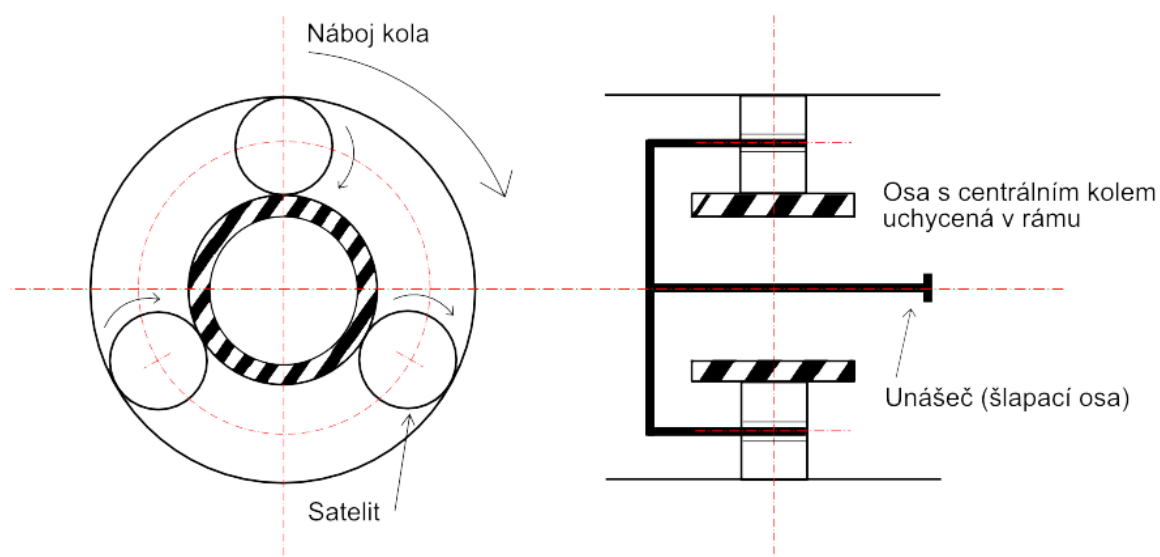
## 8. Planetová převodovka

Tento typ převodovky se výborně hodí pro umístění v náboji kola jednokolky. Právě její výhodou je malá velikost a kompaktnost. Na jednokolce je umístění v náboji asi nejlepším technickým řešením.

Tato převodovka má také jednodušší řazení. Kola mohou být při změně převodového stupně ve stálém záběru a přenášet točivý moment. Řadit je ale možné i v případě zastavení šlapacího ústrojí. Tím, že se hnací moment přenáší přes několik satelitů na korunové kolo a reakční síly jsou menší, je možné použít menšího modulu ozubení. Velkou výhodou je nepochybně větší životnost a nenáročná údržba. Přínosem je i snadné dosažení velkého převodového poměru vzhledem k rozměrům převodovky. Soustavou planetových převodovek bychom také mohli zajistit i více než dva převody.

Planetová převodovka má ale i své nevýhody. Těmi jsou vysoká cena, složitější zpracování v případě použití více převodových stupňů a navíc zvýšení hmotnosti samotného stroje oproti klasickému náboji. [13]

Na této ilustraci jsem se pokusil naznačit jednoduché schéma planetové převodovky v náboji kola jednokolky.



**Obrázek 16:** Schéma planetového převodu

## 9. Můj vlastní 3D návrh jednokolky

Nejprve jsem se zabýval spíše studií jednokolky než samotným předmětem práce, dvoustupňovou převodovkou. Myslím, že pro představu o jednokolce a o tom jaké problémy nese, je to velmi důležité.

Pomocí programu SolidWorks 2013 jsem vymodeloval kompletní jednokolku. Některé díly jsem sestavoval podle originálních součástí, které se na mém kole nacházejí. Většina součástí je ale mým vlastním návrhem. Případně jsem se nechal inspirovat i věcmi z běžného odvětví cyklistiky, s kterou mám taktéž dlouholetou zkušenost. Při modelování jsem myslel na to, aby součásti byly vyrobitelné a souhlasily s normalizovanými rozměry.

Níže pohled na mou jednokolku modelovanou v programu SolidWorks. Nachází se na ní navrhnutý dvou-rychlostní náboj a má prvky sjezdového kola.



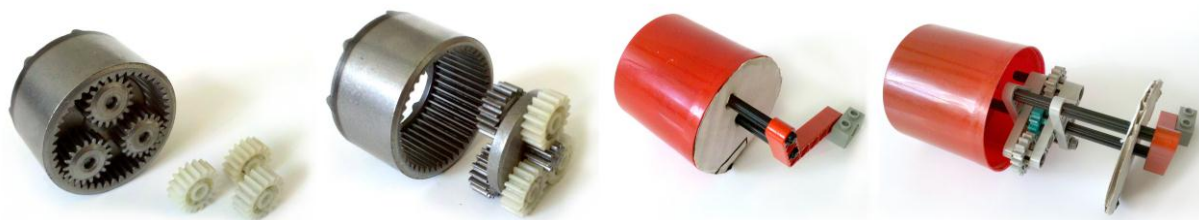
**Obrázek 17:** Vlastní návrh kompletní jednokolky



## 10. Prvotní návrh náboje s dvoustupňovou planetovou převodovkou

Jak už jsem zmínil, na trhu je dnes pouze jeden výrobce těchto řadících nábojů pro jednokolky. Z několika obrázků tohoto originálního náboje a jeho popisu jsem se snažil pochopit, jak by asi mohl fungovat.

Abych ale mohl začít podobný náboj vymýšlet, nejprve jsem se musel seznámit s principem planetového převodu. Běžně používaný je v některých automobilových automatických převodovkách s hydrodynamickým měničem. Dozvěděl jsem se ale, že tento typ převodů je i v běžné akumulátorové vrtačce. První praktické poznatky jsem získal zde, při manipulaci s ní. Po rozebrání jsem začal přemýšlet nad tím, jak by měla být jednotlivá kola v převodovce umístěna, abych docílil správného přenesení točivého momentu v požadovaném směru. Pomohl jsem si ještě sestavením malého modelu náboje ze stavebnice LEGO Technic, ve které jsou ozubená kola. V programu SolidWorks, v kterém jsem navrhl i veškeré další součásti, jsem si také zkoušel nejprve vytvořit jednoduchý pohyblivý model.



**Obrázek 18:** Převodovka z aku-vrtačky a model ze stavebnice Lego Technic

Později se mi podařilo získat již popisované tři druhy více rychlostních nábojů pro běžná jízdní kola. Znalosti získané ze zkoumání těchto převodovek jsem taktéž využil pro vlastní návrh dvou-stupňového náboje pro jednokolku.

Když jsem zjistil, jak by měla ozubená kola sedět, už mi jen zbývalo spočítat správnou velikost jednotlivých kol a počet zubů, aby se převod otáčel v požadovaném převodovém poměru 2:3.

## 11. Výpočtová zpráva

V této části práce se budu zabývat výpočty pro navrhovanou planetovou převodovku. Nejprve vyjádřím kinematické závislosti a vstupní síly působící na hlavní středovou hřídel náboje. Zaměřím se také na problematiku některých konstrukčních prvků v převodovce a napětovou analýzu.

### 11.1. Výpočet převodového poměru

U planetového převodu stejných rozměrů můžeme mít tři různé převodové poměry a také opačný smysl otáčení. Pro převod v náboji je nejvhodnějším řešením, aby středové centrální kolo bylo zajištěno proti otočení a kolem něj obíhaly hlavní osou hnané satelity. Tím zajistíme, aby velké korunové kolo s vnitřním ozubením mělo správný směr otáčení, protože jeho vnější plocha bude nalisována do náboje kola.

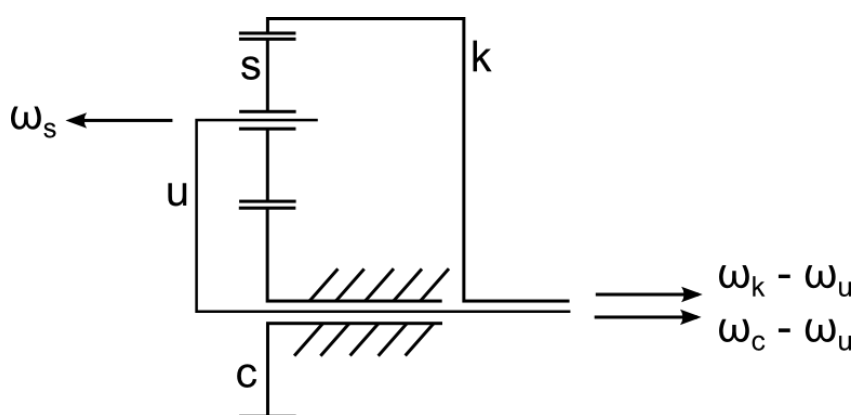
Výpočet:

- nejprve jsem si nakreslil schéma zařazené převodovky a vyjádřil vhodný vzorec<sup>2</sup> pro přenesení otáček na vnější korunové kolo se stejným smyslem otáčení, za podmínky  $\omega_c=0$
- do vzorce jsem si dosadil počty zubů tak, aby mi vycházel požadovaný převodový poměr 2:3

---

<sup>2</sup> Výpočet kinematického schématu lze vyřešit pomocí několika typů postupů. Užil jsem pro toto soukolí efektivní metodu záměny soukolí (planetového za předlohové), která zjišťuje převodové poměry vyjádřené pomocí počtu zubů.

Schéma převodovky:



Vyjádření vztahu pro převodový poměr:

$$\frac{\omega_k - \omega_u}{\omega_c - \omega_u} = -\frac{Z_s}{Z_k} \cdot \frac{Z_c}{Z_s} \quad (14)$$

$$\frac{\omega_k}{\omega_u} = 1 + \frac{Z_c}{Z_k} \quad (15)$$

$$i_{uk}^c = \frac{\omega_u}{\omega_k} = \frac{1}{1 + \frac{Z_c}{Z_k}} \quad (16)$$

$i_{uk}^c$ ...převodový poměr z unašeče na korunové kolo při zastaveném centrálním kole.

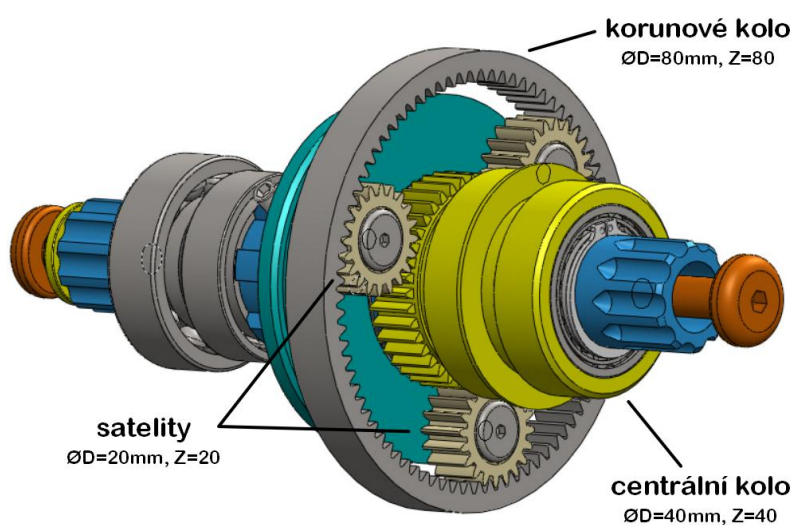
Pro převodovku jsem si zvolil počty zubů centrálního kola  $Z_c = 40$  zubů a  $Z_k = 80$ .

Počet zubů na satelitu vychází z podmínky počtu zubů na jednoduchém planetovém soukolí:

$$Z_k = Z_c + 2Z_s \Rightarrow Z_s = \frac{Z_k - Z_c}{2} = \frac{80 - 40}{2} = 20 \quad (17)$$

Počet zubů jsem si zvolil stejný jako velikost průměru roztečné kružnice, aby mi ze vztahu  $m = D/Z$  pro modul vycházelo vhodné číslo  $m = 1 \rightarrow h_{\text{výška zubu}} = m + 1,25$  (mm).

Na následujícím obrázku je předešlé schéma převedeno do podoby modelu vnitřní části náboje. Zde je již jasně patrné, jak bude přes planetové soukolí přenášeny kroutící moment. Korunové kolo nám představuje náboj kola, který má stejný smysl otáčení jako hnaná hřídel.



**Obrázek 19:** Pohled na návrh planetového soukolí v mém náboji

Při vymodelování ozubených kol, se mi zdála velikost zubů optimální k poměru velikosti ostatních součástí v náboji, zejména šlapací osy, která má stejnou délku jako originální. Ve více-rychlostních nábojích v jízdních kolech je použito ozubení kol s menším modulem  $m_m=0,75$ . Otáčky v mém návrhu převodovky nedosahují ovšem tak vysokých hodnot při stejném momentovém zatížení a proto je vhodné užít právě větší modul ozubení.

### 11.2. Výpočet podmínky o počtu stupňů volnosti

Pro tuto podmínku platí, že planetová soukolí jsou obecné diferenciály, které mají dva stupně volnosti.

$$S = 3 \cdot (n-1) - 2 \cdot (p+V+r) - O = 3 \cdot (5-1) - 2 \cdot (0+0+4) - 2 = 2^\circ \quad (18)$$

### 11.3. Výpočet montážní podmínky planetového soukolí

$$\frac{Z_k + Z_c}{Z_s} = \text{celé číslo} \Rightarrow \frac{80 + 40}{20} = 6 \quad (19)$$

Vyhovuje!

### 11.4. Výpočet velikosti ozubených kol

Průměr ozubených kol vychází ze vztahu

$$D = m \cdot Z \quad (20)$$

tedy

$$D_k = m \cdot Z_k = 1 \cdot 80 = 80 \text{ mm} \quad (21)$$

$$D_s = m \cdot Z_s = 1 \cdot 20 = 20 \text{ mm} \quad (22)$$

$$D_c = m \cdot Z_c = 1 \cdot 40 = 40 \text{ mm} \quad (23)$$

Tloušťku zubu volím 6,5 mm. Shodné rozměry jsou používány také v běžně používaných více-rychlostních převodovkách.

### 11.5. Vstupní síly

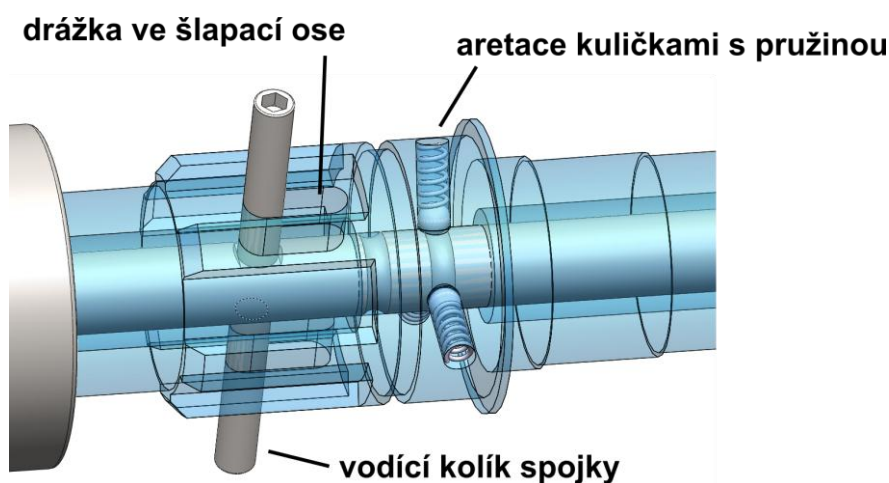
Kroutící moment na hřídeli jsem uvažoval z hmotnosti průměrného jezdce o váze 75 kg, který působí na šlapací kliky o délce ramene 155 mm. Dále jsem zavedl bezpečnostní koeficient  $k=2$ , kterým vynásobím výsledný působící moment. Tímto zjednodušením nahrazuji komplikovaný výpočet, který by byl třeba pro přesné vyjádření působící síly na pedály kola například v okamžiku doskoku jezdce z větší výšky. Bylo by nutno taktéž uvést jednotlivé deformace součástí a zrychlující síly.

Vztah pro výpočet kroutícího momentu  $M_k$ :

$$M_k = \frac{M}{2} \cdot k = \frac{m \cdot g}{2} \cdot r \cdot k = \frac{75 \cdot 9,81}{2} \cdot 0,155 \cdot 2 = 114 Nm(24)$$

### 11.6. Řadící mechanismus a přenesení momentu

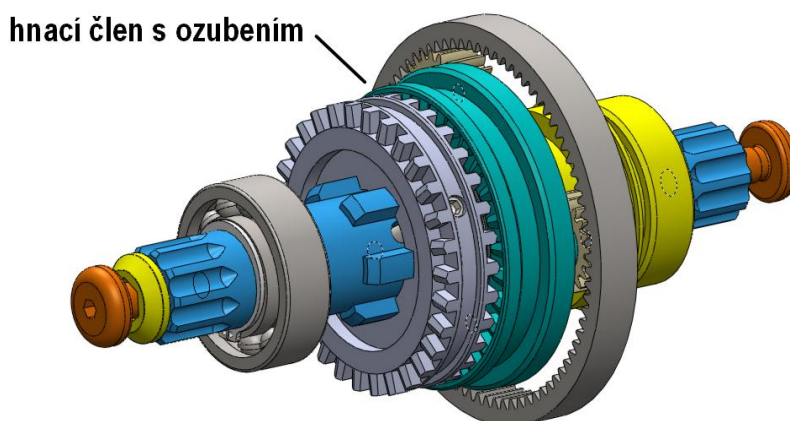
Aby mohl mít náboj dvojstupňový řadící mechanismus pro zapojení převodu 1:1 nebo 2:3, musí být v náboji posuvný řadící člen. Nejvhodnějším a nejjednodušším konstrukčním řešením bylo navrhnout dutou šlapací osu. Skrz ní prochází posuvná hřídel s aretací. Rozsah posunu je omezen drážkou ve šlapací ose a zajištění hřídele proti samovolnému posunutí je řízeno přitlakem kuličky na pružině do žlábků hřídele. Při vymýšlení způsobu aretace jsem si pomohl vlastním návrhem z konstrukčního cvičení.



Obrázek 20: Zobrazení rozsahu posunutí hřídele

Tímto způsobem je vyřešen posuvný člen. Ten je dále propojen se zubovou spojkou pomocí vodícího dvojstranného kolíku. Aby byl moment ze šlapací hřídele převeden na spojkou, navrhl jsem posun spojky po ose v rovnobokém normalizovaném drážkování střední řady ČSN 014942 o rozměrech 6 x 26 x 32 x 6.

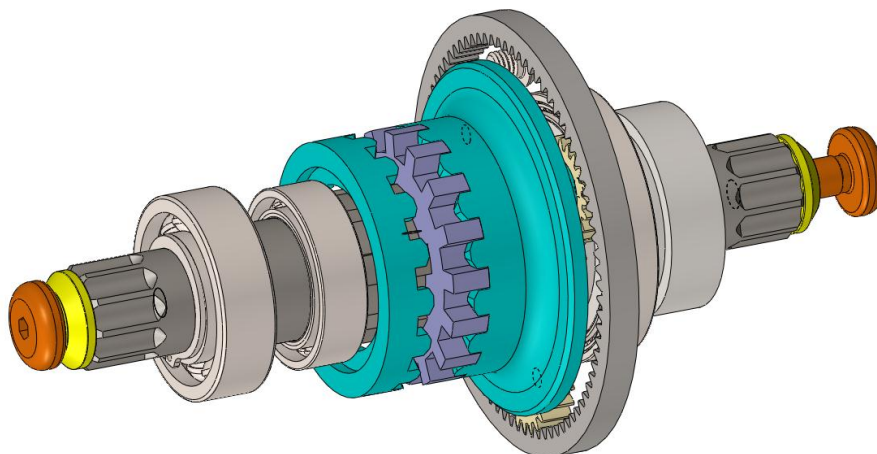
Zubovou spojkou jsem nejprve navrhl podle zubové spojky v synchronizačním zařízení automobilové převodovky. Výhodou je zde náběh zubů, a tak i plynulejší přechod mezi převody.



**Obrázek 21:** Původní navrhované řešení zubové spojky

Avšak v porovnání s používanou zubovou spojkou v náboji Sachs torpedo 5 mi přišlo toto řešení zbytečně složité. Rozhodl jsem se tedy vymodelovat podobné řešení. Jednodušší koncepce by taktéž usnadnila její výrobu, kde je menší počet zubových mezer a snížila by se i hmotnost spojky.

Na následujícím obrázku je vidět nový návrh zjednodušené zubové spojky.



**Obrázek 22:** Optimalizovaná zubová spojka

Řazení se tedy provádí přesunutím hřídele vždy na opačnou stranu náboje. To zvládne jezdec na jednokolce zvednutím patřičné nohy a zatlačením do řadícího šroubu v ose středu. Hlava řadícího šroubu má na vnější straně zaoblení, aby nedošlo k poranění nohy při jízdě. Dráha přesunutí je v rozmezí 8 mm a mezi oběma převody je mezera pro „neutrál“, aby nedošlo k zablokování kola a celého řadícího mechanismu. Při řazení je nejprve nutností zpomalit, či úplně zastavit otáčení kola. Zkušenější jezdec by přeřazení zvládl s minimální ztrátou stability.

Pokud je spojka zařazena v ozubení hnacího členu, otáčí se satelity a moment se přenáší dále na korunové kolo. To je nalisováno v plášti náboje, a tedy se nám otáčí celé kolo v požadovaném převodovém poměru.

Při nutnosti přeřadit zpět a srovnat tak otáčky kola s hnanou hřídelí provedeme řadící operaci na opačnou stranu. Spojku spojíme se samotným nábojem a planetový převod se bude otáčet na prázdko, bez přenášení momentu.



### 11.6.1. Minimální délka drážkování hřídele

Volím rovnoboké drážkování střední řady ČSN 014942 o rozměrech 6 x 26 x 32 x 6.

Rozměry drážkování:

$$d = 26 \text{ mm}$$

$$D = 32 \text{ mm}$$

$$n = 6$$

$$p_d = 55 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{dovolený tlak na boky zubů}$$

Minimální délka drážkování:

$$l_{\min} = \frac{8 \cdot M_K}{(D^2 - d^2) \cdot p_d \cdot n} = \frac{8 \cdot 114000}{(32^2 - 26^2) \cdot 55 \cdot 6} = 7,9 \text{ mm} \quad (25)$$

Drážkování vyhovuje při dostatečném vytvrzení boků, protože posuvný člen má délku drážkování 8 mm.

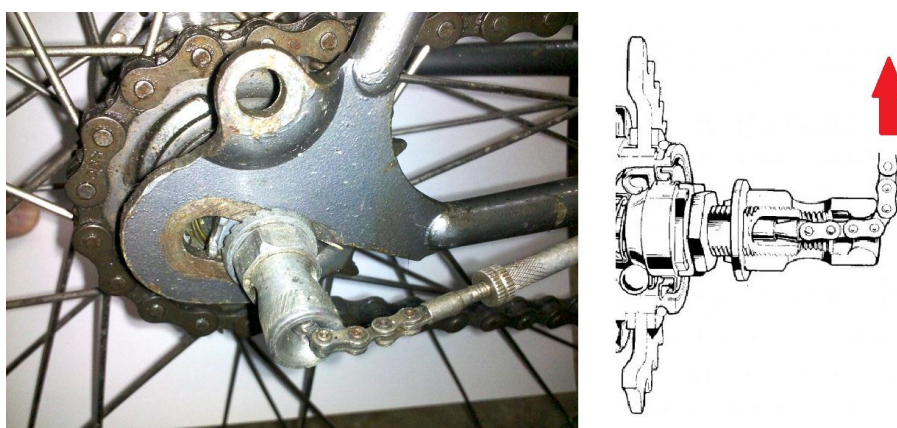
### 11.7. Návrh optimalizace ovládání řadícího mechanismu

Pro zjednodušení ovládání řadícího mechanismu jsem se pokoušel navrhnout také řešení, které by vedlo k přesunu posuvné hřídele v náboji pomocí lanka, podobně jako je tomu u běžně používaných více-rychlostních nábojů u jízdních kol. Tam je ovládací páčka umístěna na řidítkách kola, aby byla lépe ovladatelná. U jednokolky by bylo nejvhodnější připevnění pod sedadlo, podobně jako je umístěna brzdová páka.



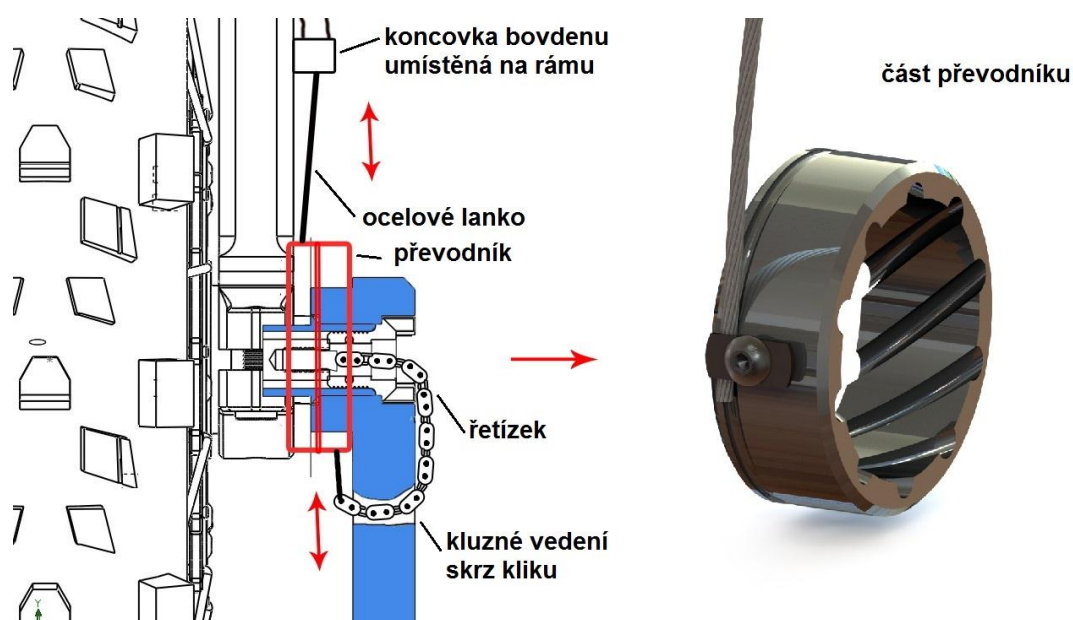
**Obrázek 23:** Umístění řadicí páčky na řídítkách (vlevo) a návrh řazení na sedlové trubce (vpravo)

Problematické je ale vedení ocelového lanka směrem k posuvné hřídeli v ose šlapacího středu. U běžného kola je volný prostor pro navedení vnější stranou rámu. Lanko je před nábojem napojeno na ohebný řetízek, který je ukončen šroubem do posuvné hřídele. Toto řešení ale nelze stejně aplikovat u jednokolky, protože otáčející se kliky brání v umístění vedení. Nedostatek volného prostoru taktéž znesnadňuje vložení dalších řadicích prvků. Popisovaný způsob řazení u běžných více-rychlostních nábojů je zobrazen na další ilustraci. Jedná se o již zmiňovaný náboj Sturmey-Archer 3.



**Obrázek 24:** Ovládací prvek řazení pomocí řetízku na více-rychlostním náboji

Na následujícím obrázku jsem se pokusil načrtnout, jak by mohlo být vedení lanka umístěno. Nejdůležitějším prvkem by byl převodník posuvného pohybu z lanka na řetízek řazení. Ten by se skládal z rotační vačky, na které by bylo lanko od řetízku navinuto. Otáčením by se vačka v drážce posouvala směrem v ose rotace náboje. Tato vačka by se musela otáčet s klikou. Druhá část převodníku by byla řešena obdobně, ale umístěna by byla již na rámu, tak aby si zachovávala vazbu s ocelovým lankem upevněným na vidlici. Posuvný pohyb by se dal také vyvodit hydraulickým pístkem, podobně jako u brzdové soustavy.

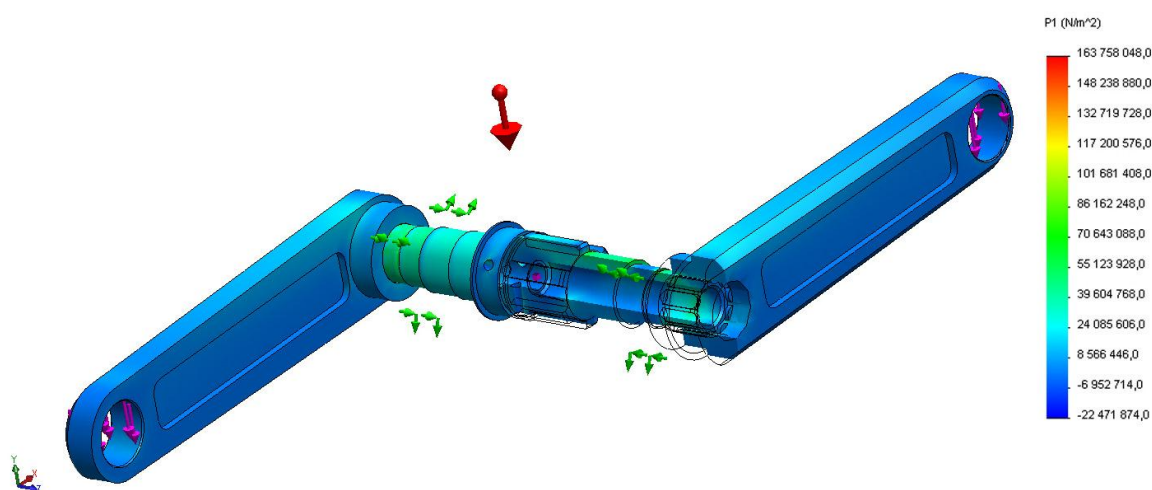


**Obrázek 25:** Optimalizace řadičího mechanismu

## 12. Analýza napětí

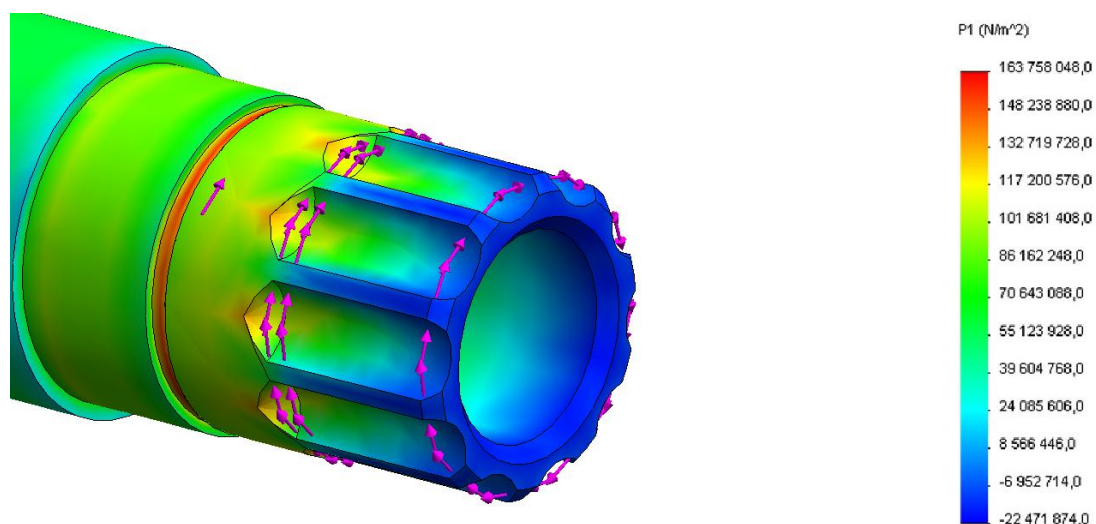
V programu SolidWorks Simulation jsem také provedl zatížení sestavy hlavní středové hřídele s klikami. Pro materiál hřídele jsem zvolil nástrojovou ocel ČSN 11500 (DIN 1.0050). Ta je vhodná pro výrobu podobných součástí, u kterých nedochází ke spojování svářením. Jeho mez kluzu je 275 MPa. Jako materiál klik jsem zvolil hliníkovou slitinu 7075. Ta je často používána v cyklistickém průmyslu. Kliky jsou zde tvářeny lisováním za studena. Okrajové podmínky pro uložení jsem zvolil v místě ložisek a osy pedálů jsem staticky zatížil průměrnou hmotností jezdce 75 kg.

Po zatížení došlo k mírnému vypružení součástí. V místě vazby kliky s kroucenou hřídelí je napětí nejvyšší, ale v žádném místě nebyla překročena mez pevnosti. K největšímu posunutí v této sestavě došlo na konci kliky o hodnotu 0,71 mm.



**Obrázek 26:** Průběh napětí v zatížené sestavě klik se středovou osou

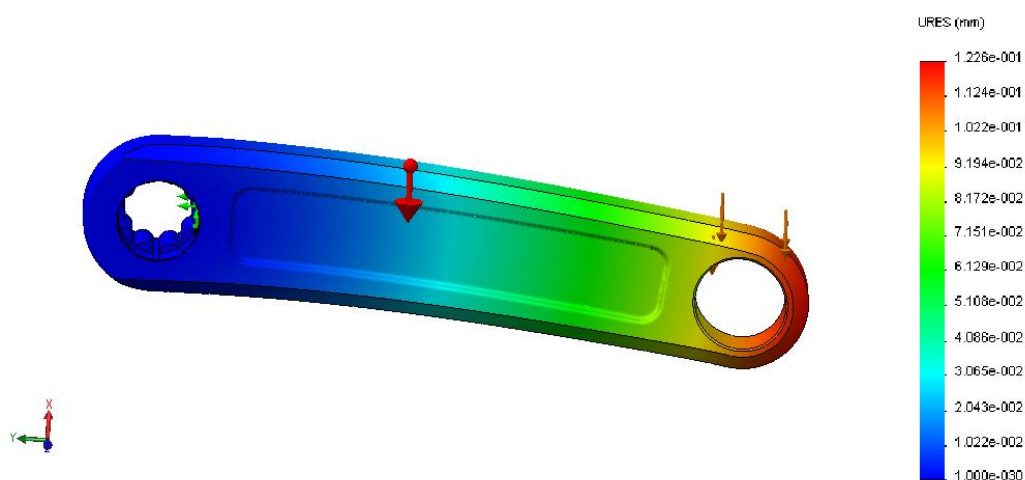
Na detailnějším pohledu níže je patrné, že tato oblast leží v místě pro pojistný kroužek. Maximální hodnota napětí je zde 163 MPa. Hodnota koeficientu bezpečnosti tak pro mez kluzu vyšla 1,8. Zlepšení pevnosti hřídele by se dalo docílit zmenšením jejího vnitřního průměru.



**Obrázek 27:** Detailní pohled na namáhanou oblast

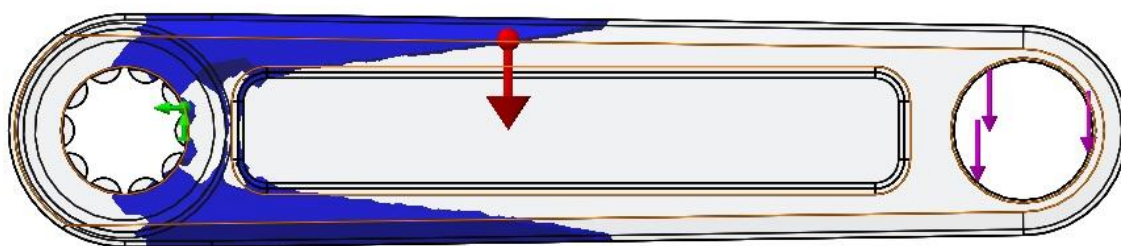
Výsledky analýzy dopadly dle teoretických předpokladů. Kromě toho i v praxi jsem se již setkal se smykovým lomem na hřídeli šlapací osy, ke kterému dochází bezprostředně po překročení maximální meze pevnosti nebo únavou materiálu.

Kličky připojené ke středové hřídeli jsem ještě samostatně podrobil analýze ohybového napětí. Na následujícím obrázku je patrný průběh posunutí po stejné hodnotě zatížení jako v předchozí analýze.



**Obrázek 28:** Zobrazení průběhu posunutí na klice po zatížení

Největší ohybové napětí působí dle následujícího obrázku ve vyznačené tmavě modré oblasti. Tento designový návrh vychází z analýzy ohybového napětí. Pro zlepšení tuhosti kliky by bylo v této oblasti vhodné doplnit vyztužení. Například v místě přechodu válcové oblasti do plochy kliky.



**Obrázek 29:** Designový návrh pro namáhanou oblast kliky

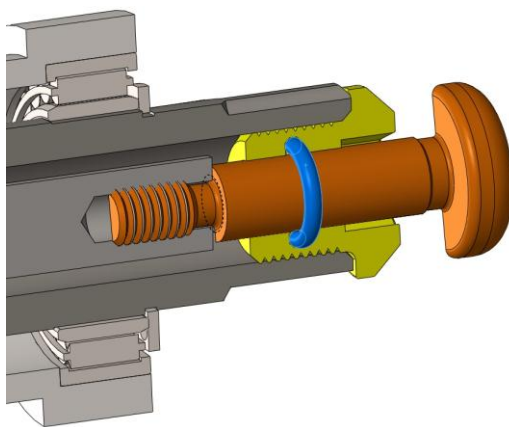
### 13. Mazání

V náboji jsou použita zapouzdřená ložiska, která nepotřebují mazání a evolventní ozubená kola by se měla odvalovat. Otáčky náboje nejsou tak velké jako v automobilové převodovce. Otáčky dle prováděného pokusu vyšly maximálně 220 otáček za minutu. Ale i přesto by v náboji vznikaly jisté třecí síly, například také z translačního pohybu posuvné osy, nedokonalého odvalování, tření u zubové spojky, či v kluzných ložiskách satelitů ozubených kol.

Místo mazání převodovým olejem bych použil jemnou vazelínu pro převodovky. S ní by mělo být mazání dostatečné. Celek nebude poté navíc nutno tak dokonale utěšňovat. V bočním krytu náboje je vytvořen kontrolní otvor pro sledování kvality vazelíny. Otvor je zašroubován krycím šroubem a po ujetí většího množství kilometrů lze tak kontrolovat kvalitu maziva.

### 14. Těsnění

Při jízdě v prašném nebo vlhkém prostředí by se mohlo stát, že se do náboje dostanou z okolí nežádoucí částice. Z těchto důvodů je pomocí gumového těsnícího O-kroužku o rozměru 8 x 1,8 posuvná hřídel těsněna. Mezi oba boční kryty bych na dosedací plochy uložil těsnící tmel nebo tenký těsnící papír, či pryž.



**Obrázek 30:** Těsnící kroužek na hřídeli



## 15. Použité součástky

Celá sestava náboje se skládá z 53 dílů, kde je 30 druhů odlišných součástek. Kompletní sestava jednokolky poté obsahuje celkem 199 dílů. Většina z nich je navrhnutá pouze pro tento mechanismus. Některé jsou však normalizované, což se týká hlavně použitých ložisek a šroubů. Normalizované součástky z toolboxu programu SolidWorks jsou obvykle dle normy EN ISO nebo DIN. Ostatní součásti mají normalizované prvky, jako jsou závity, drážky, či v cyklistice standardně používané rozměry.

Kusovník součástek náboje:

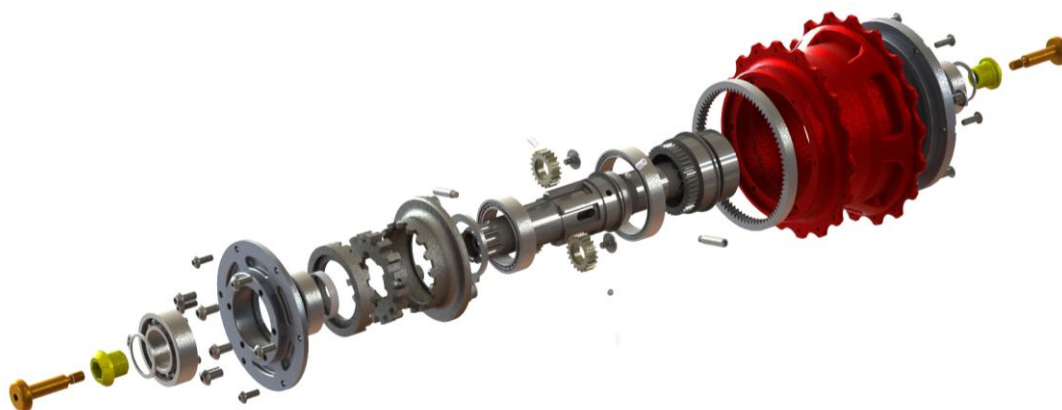
| Č. | NÁZEV DÍLU                      | POPIS                                | Množství |
|----|---------------------------------|--------------------------------------|----------|
| 1  | středová osa                    | s drážkováním ISIS                   | 1        |
| 2  | posuvná hřídel                  | vlastní díl                          | 1        |
| 3  | spojka zubová                   | vlastní díl                          | 1        |
| 4  | unašeč - tělo planet            | vlastní díl                          | 1        |
| 5  | uzávěr náboje - pravý           | vlastní díl                          | 1        |
| 6  | uzávěr náboje, kotouč - levý    | vlastní díl                          | 1        |
| 7  | distanční kroužek ložisek       | vlastní díl                          | 1        |
| 8  | plášť náboje                    | vlastní díl                          | 1        |
| 9  | osový pojistný šroub            | vlastní díl                          | 2        |
| 10 | zubové obložení                 | vlastní díl                          | 1        |
| 11 | vnější šroub řazení M6 x 11     | vlastní díl                          | 2        |
| 12 | ocelová kulička R2 ČSN 14109    | vlastní díl                          | 3        |
| 13 | pojistná pružina                | vlastní díl                          | 3        |
| 14 | ISO 3822                        | ložisko válečkové - centrální kolo   | 1        |
| 15 | ISO 3832                        | ložisko válečkové - tělo planet      | 1        |
| 16 | ISO 3725                        | ložisko válečkové - osa, centr.k.    | 1        |
| 17 | ISO 4745                        | ložisko válečkové - pravý uzávěr     | 1        |
| 18 | QU-AX 224212-RS                 | ložisko vidlice - středová osa, levé | 1        |
| 19 | ISO 4762 M4 x 25                | vodicí kolík spojky                  | 2        |
| 20 | ISO - Spur gear 1M 40T          | centrální ozubené kolo               | 1        |
| 21 | ISO - Spur gear 1M 20T          | planetové ozubené kolo               | 3        |
| 22 | ISO 10642 - M4 x 8              | šroub planetových kol                | 3        |
| 23 | ISO 15 RBB - 3825               | ložisko kuličkové - levý uzávěr      | 1        |
| 24 | ISO - Internal spur gear 1M 80T | korunové kolo                        | 1        |
| 25 | ISO 7380 - M4 x 10              | šroub - levý uzávěr                  | 6        |
| 26 | ISO 7380 - M4 x 12              | šroub - pravý uzávěr                 | 6        |
| 27 | Circlip DIN 471 - 22 x 1.2      | vysokopevnostní pojistný kroužek     | 2        |
| 28 | ISO 7380 - M6 x 6               | kontrolní šroub mazání               | 1        |
| 29 | B27.8M - 3DM1-32                | pojistný kroužek ložiska             | 1        |
| 30 | O-ring 8x1.8-A ISO 3601         | těsnicí kroužek                      | 2        |



## 16. Design náboje a ostatních součástí

Náboj jsem se také snažil navrhnout tak, aby jeho vzhled byl v celku zajímavý a vyhovoval dnešním dobovým nárokům uživatele. Průmyslové ztvárnění vnější části náboje je hlavní část, které se toto týká. Současně je odlehčena a zbavena přebytečného množství materiálu, tak aby byly zachovány pevnostní požadavky.

Hrany těchto součástí jsou většinou oblé, což by zajistě znesnadnilo výrobu, ale při použití dnešních technologických postupů odlévání a obrábění kovů si myslím, že by se i takto daly tyto díly vyrobit. Pro prvotní výrobu prototypu by ale bylo lépe ponechat součástem jednodušší tvary, se zanecháním důležitých styčných a normalizovaných rozměrů.



**Obrázek 31:** Pohled na rozložený náboj

Ráfek kola jsem odlehčil kruhovými otvory a u profilu jsem se nechal inspirovat dnes běžně vyráběnými ráfky. Navržený ráfek má současně postranní brzdou plochu pro možné použití špalkových hydraulických brzd.



**Obrázek 32:** Řez kolem s pohledem na ráfek

## 17. Závěr

Závěrem této práce bych chtěl zhodnotit její celkový přínos. Jak již bylo řečeno, jednokolka patří mezi mé záliby, a tak pro mě bylo zpracování tématu nejen povinností, ale i zábavou. Díky této práci jsem se blíže seznámil s tím, jak funguje planetový převod. Zjistil jsem, že jeho využití nese velké výhody, které konvenční typy převodovek nenabízí. Překvapivě to byl právě planetový převod, který byl jako jeden z prvních převodů použit v cyklistice. Zajímavé také bylo dozvědět se o tom, jak se přicházelo na nové nápady pro zrychlování a usnadňování jízdy na bicyklech.

Konstruování samotného náboje s převodovkou pro mě bylo něčím zcela novým. Věděl jsem, že aplikace více-rychlostního náboje do kola jednokolky je velká výzva, ale čím jsem se s prací dostával dále, povzbuzovalo mě to a přicházel jsem na nové nápady. Softwary, pomocí nichž jsme schopni dnes konstruovat podobné sestavy, nám dávají opravdu velkou škálu možností při tvorbě. Sám jsem se hodně zdokonalil a naučil v programu, ve kterém jsem jednokolku modeloval. Hlavně bych vyzdvihnul výhody okamžité vizualizace. Pomocí parametrického modelování jsem mohl neustále snadno upravovat geometrii součástí, provádět nejrůznější analýzy a přeměřovat prvky celého mechanismu tak, aby do sebe vše zapadalo podle požadavků.

Velmi přínosný pro mne také byl návrh a použití ostatních mechanismů v integrovaném náboji. Jednotlivé modely součástí jsem sestavoval do drobnějších podsestav a nakonec vytvořil celek schopný pohybu s reálně používanými součástmi a komponenty v cyklistice.

Snažil jsem se celou práci vytvořit tak, abych ve stanoveném rozsahu nahlédl do všech oblastí, které s tímto tématem nezbytně souvisí. Jsem si ale vědom toho, že jednotlivé kapitoly by se daly rozepsat detailněji. Už nyní přemýšlím nad tématem své budoucí diplomové práce a těším se, že tam bude nejen více prostoru pro tvorbu, ale třeba i praktickou realizaci popisované problematiky.

Pokud bude takovýto náboj s převodovkou lépe dostupný lidem v tomto sportu, myslím, že by o něj byl velký zájem, neboť taková jednokolka má lepší využití. Věřím, že tato práce bude nápomocná pro zdokonalení jízdních vlastností na jednokolce.

## 18. Seznam použitých internetových zdrojů

- [1] <http://www.rohloff.cz/> [navštíveno 20.10.2013]
- [2] <http://matej.boha.cz/retrodirect/> [navštíveno 5.4.2014]
- [3] [http://all-about-hubs.com/start.php?action=technische\\_infos\\_en](http://all-about-hubs.com/start.php?action=technische_infos_en) [navštíveno 22.11.2013]
- [4] <http://mivo2014.webnode.cz/historie-jizdnich-kol/> [navštíveno 12.3.2014]
- [5] <http://science.howstuffworks.com/gear7.htm> [navštíveno 7.11.2013]
- [6] <http://www.mitcalc.com/doc/gear5/help/cz/gear5txt.htm> [navštíveno 6.11.2013]
- [7] <http://www.einradversand.de/UNICYCLE-SPARES/> [navštíveno 19.10.2013]
- [8] <http://www.municycle.com.au/View.php?action=ProductDetail&Code=UNINGI RP> [navštíveno 12.2.2014]
- [9] <http://mtbs.cz/clanek/historie-mtb-dvoupacky/kategorie/retro-kola-komponenty/rubrika/bike-technika?page=1> [navštíveno 8.5.2014]
- [10] <http://www.choosemybicycle.com/in/en/bicycle-tips/gear-shifting-for-dummies> [navštíveno 26.4.2014]
- [11] <http://www.kolemkola.cz/cyklistika.html> [navštíveno 5.4.2014]

## 19. Seznam použité literatury

- [12] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů, 1. a 2.díl.* 4. vyd. Liberec:Technická univerzita v Liberci, 2010.
- [13] VLK, František. *Převody motorových vozidel.* 1. vyd. Brno, 2006.

## 20. Přílohy

Přílohy k mé práci jsou přiloženy v papírové podobě a v multimediální podobě na přiloženém DVD. Nachází se zde kompletní práce v PDF podobě, dále ilustrace zkonstruovaných návrhů s výrobními výkresy sestavy, některých součástí a také animace navrhovaného řazení v náboji kola, vytvořené v programu SolidWorks.

Pro obhajobu práce bude připravena jednokolka s klasickým nábojem a samotný více-rychlostní náboj, který jsem ve své práci popisoval. Na těchto součástech popíši nejen svůj vlastní mechanismus, ale i ostatní prvky kola.

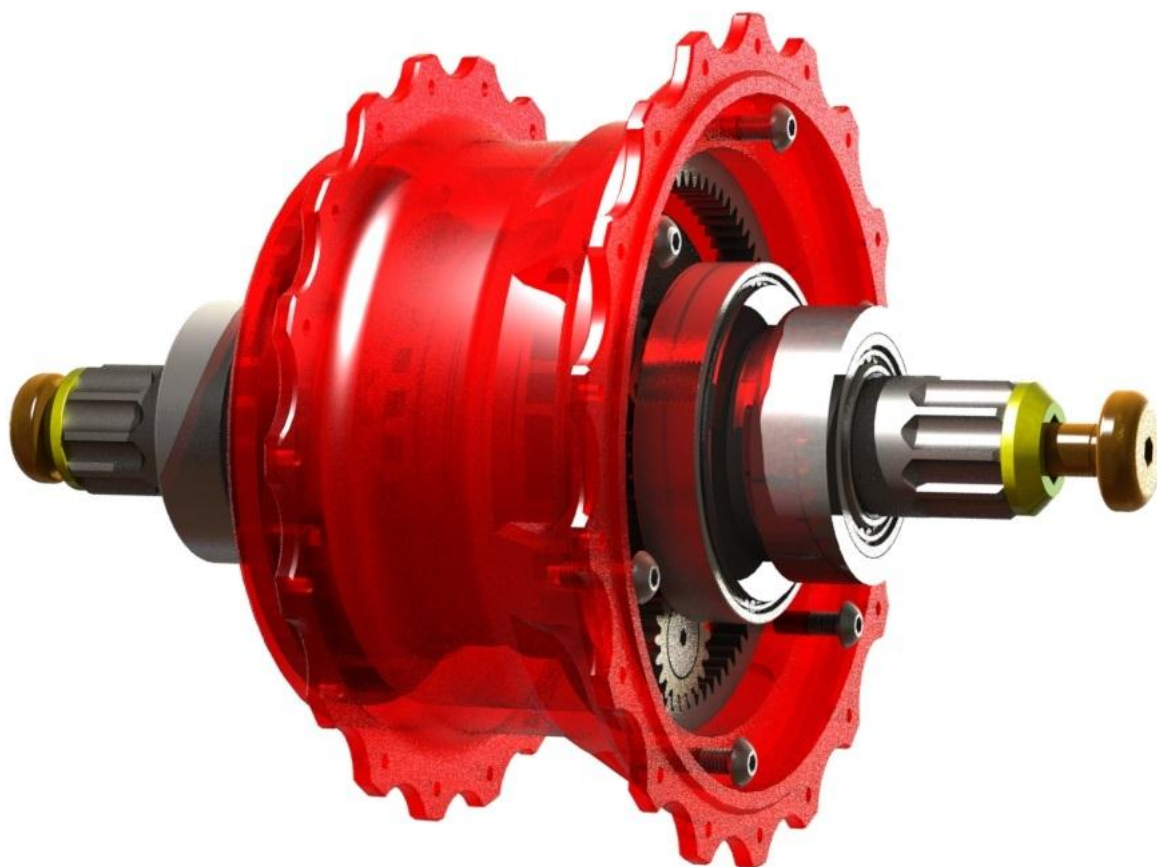
Dále jsem do příloh uvedl některé informace, které mě vedly ke vzniku této práce.

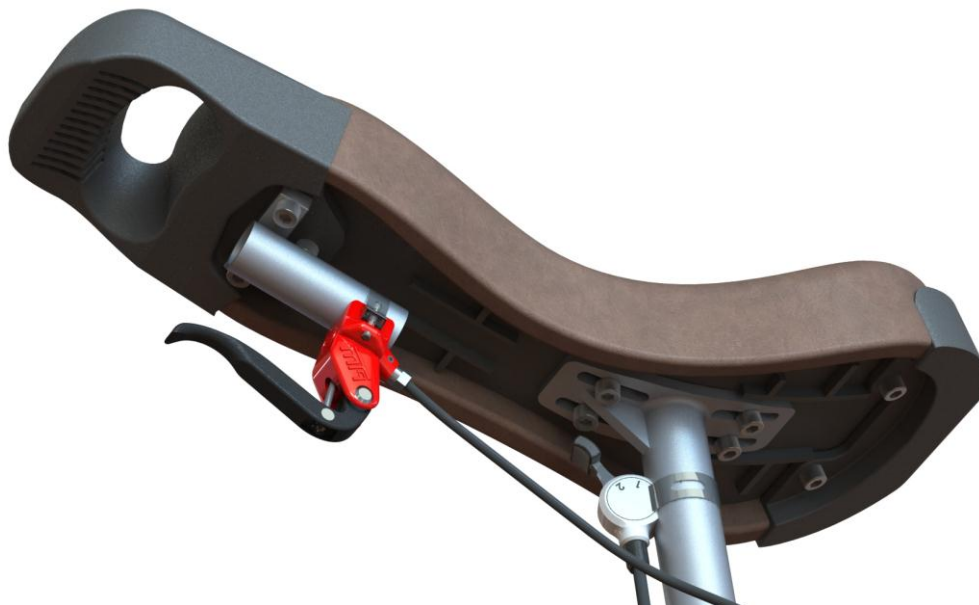
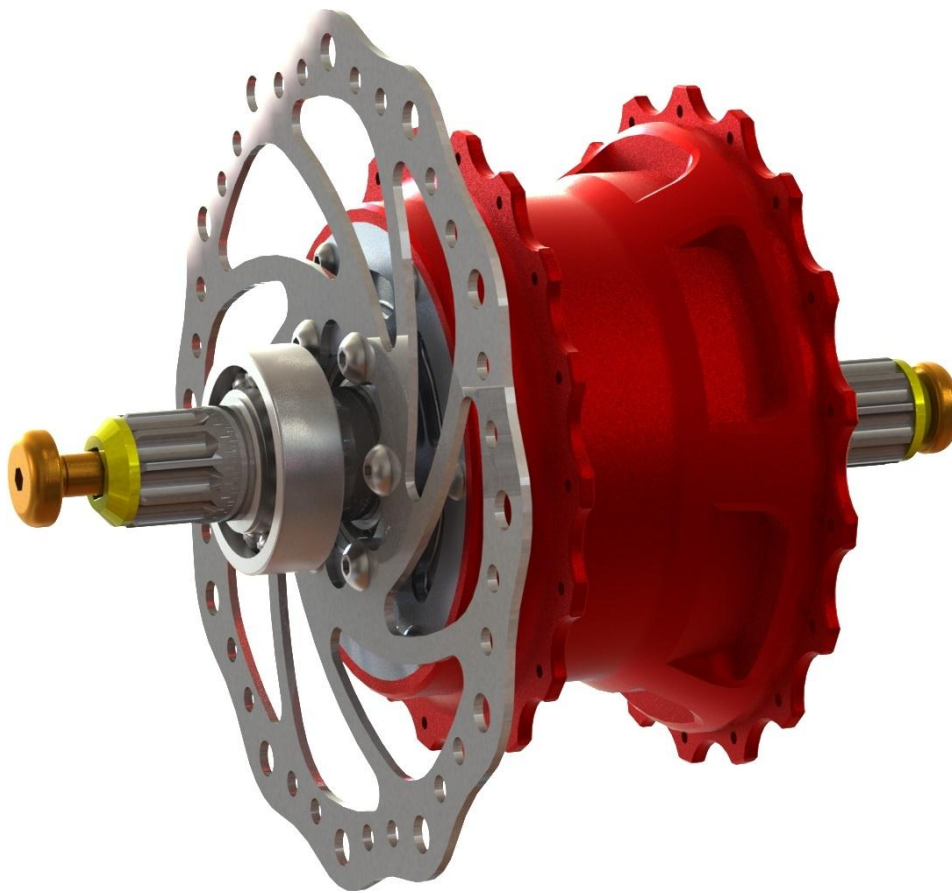
### Příloha 1: Obrázky součástí navrhované jednokolky











## **Příloha 2: Má první jednokolka**

Jednokolka je vyrobena převážně ze starého trialového kola. Má zkrácené kliky a žádný z dílů není originální. Vše je speciálně upraveno pro funkčnost tohoto stroje. Největší úpravy se týkají náboje kola, který musel být fixován proti otočení. Skrz něj prochází pevná šlapací osa, na které jsou z vnější strany umístěna ložiska. Tato ložiska sedí v tzv. „domečku“ - pouzdru v rámu. Samotný rám je vyroben z přední vidlice ocelového horského kola a sedlové trubky průměru 27 mm. Základem sedla se stal vhodně tvarovaný plech, změkčený tvrzeným molitanem a potažený umělou kůží.



Má první jednokolka o velikosti 20 palců



### Příloha 3: Jednokolka jak ji neznáte

Když se začne mluvit o jízdě na jednokolce, tak si většina lidí představí zmalované klauny v cirkuse, jak jezdí dokola a provádějí nejrůznější zábavné dovednosti. Jistě to k tomu také může patřit, ale dnes jde o něco více. Jízda na jednokolce, jak se provozuje nyní, je docela mladou záliba.

Řadí se mezi extrémní sporty a je to fyzicky velmi náročná činnost. Nabízí mnoho odvětví podobně jako běžná cyklistika. Jezdí se na nich dálkové silniční maratony, jsou jednokolky pro turistiku, freestylové (pro volný styl jízdy), streetové (do města), trialové i jednokolky sjezdové (downhillové).

Já se zabývám především tou poslední skupinou, a to jednolkami pro sjezd. Stejně tak jako se jezdí na velkých kolech sjezd z kopce dolů nejrůznějšími krkolomnými srázy přes přírodní lesní překážky, úzké lávky a kamení, tak se dá jezdit i na tomto jednoduchém kole. Dost lidí si nad tím láme hlavu a zdá se jim to nepochopitelné, ale opravdu to možné je. I přes velký handicap, který toto malé kolo má (a to že neustále šlapeme i z kopce a nelze zde mít tzv. „cvrčka“ neboli volnoběh), jezdci na jednolkách dosahují velmi dobrých naměřených časů i v porovnání s velkými koly.



Downhill na jednokolce v podání Jakuba Rulfa

## Příloha 4: Zajímavosti a doprava na jednom kole

V této práci bych chtěl navíc uvést i jiné podoby jednokolky. Protože „jednokolkaře“ tento sport opravdu baví svojí jedinečností v balancování na jednom kole, vymýšlejí stále nové stroje a na nich pilují své dovednosti. Samozřejmost, že jednokolka je spojována většinou s cirkusem, je v tomto případě oprávněná, a tak jiné druhy jednokolek můžeme najít právě zde.

### Jednokolka žirafa

První zajímavá jednokolka je tzv. „ŽIRAFA“. Charakteristická je svou velikostí, která může i několikanásobně svou výškou předčít klasickou jednokolku. Kvůli své délce a obtížnosti na ní jezdit nemá snad jiné využití než cirkusové a pro pobavení. Jako příbuzná by se k ní potom dala přirovnat jednokolka se dvěma koly, která jede opačným směrem než šlapeme. A také jednokolka se třemi koly opírajícími se nad sebou.



Jednokolky žirafy [10]

## Impossible wheel

Jak název napovídá, jezdit na tomto kole je snad nemožné. Jedná se vlastně o samotné kolo s klasickým nábojem, které má na krajích osy připevněné stupačky. Protože nemá ani šlapky, je to víceméně „odstrkovadlo“. Ale s trochou cviku se na něm opravdu jezdit dá. Záleží na počátečním náskoku, kterým získáme rychlost potřebnou k jízdě. A pokud dobře vyrovnaváme, lze kolo za jízdy urychlit i vlastní rukou.

## Vlastní výroba impossible wheel

Toto zvláštní „samokolo“ také vlastním. Popisoval jsem již ve stručnosti, jak jsem si vyrobil první jednokolku. Ze zbylého předního kola, které mi doma leželo jsem si před několika lety sestrojil právě takovýto Impossible wheel.



Vlastní výrobek impossible wheel

## Ultimate wheel

Je to vlastně jednokolka bez rámu a sedla. Jízda na ní je o to složitější, protože nemůžeme vyrovnavat kolo celým tělem, ani se ho přidržet rukou. Balancujeme pouze tím, jak přenášíme těžiště na pedály.



Ukázka ultimate wheel [9]