



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MODIFIKACE ULOŽENÍ KLIK NA JÍZDNÍM KOLE

MODIFICATION OF THE CRANK STORE ON A BICYCLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radim Kupčák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Radim Kupčák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2016/17

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:

Modifikace uložení klik na jízdním kole

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracování několika modifikací podložených autorovými zkušenostmi. Do výsledků je promítnuta snaha o využitelnost jak u jízdních kol pro rekreační zájmovou činnost, tak i pro závodní či profesionální sporty.

Cíle bakalářské práce:

1. Vysvětlení systémů uložení klik (historie, výroby firem, možné směry vývoje).
2. Návrh modifikovaného řešení.
3. Výsledný efekt modifikace.
4. Následné etapy realizace (kusová versus sériová výroba).
5. Technicko-ekonomické posouzení.
6. Diskuze výsledků.

Seznam literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.

FREIBAUER, Martin, Hana VLÁČILOVÁ a Milena VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2. vyd. Brno: Computer Press, a.s., 2010. 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.

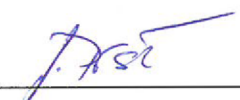
Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s.r.o. a Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s.r.o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

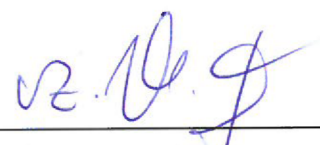
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 4. 11. 2016





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu



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

ABSTRAKT

První část této bakalářské práce se věnuje rešerši nejčastěji používaných materiálů ve veloprůmyslu. Srovnává je s ohledem na to, jaké mechanické vlastnosti konstruktérům komponentů jízdních kol nabízejí a jaké jsou jejich výhody a nevýhody. Součástí rešerše je i charakteristika nejčastěji použitých středových složení, od nejstaršího klínkového, až po nejmodernější typu press-fit. V praktické části byly navrženy kliky jízdního kola s ohledem na informace získané rešerší. Velký důraz byl kladen na volbu vhodného středového složení pro rekreační cyklistiku. Bylo provedeno dimenzování klik a následně popsána jejich výroba.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kliky, jízdní kolo, cyklistika, středové složení, frézování, ANSYS, metoda konečných prvků

ABSTRACT

In its first half this thesis describes most common materials used in the bicycle industry as well as various types and standards of bottom brackets and mentions their pros and cons. Starting with the oldest cotter pin type all the way to the most modern press fit bottom brackets. The major objective of the second part of this thesis is to design a crankset based on the research in the first half. One of the most important aspects of the design was to choose a suitable type of bottom bracket for non-competitive riding. Structural analysis using finite element method was done and the design was altered accordingly. In the end the process of manufacture was described.

KEY WORDS

Cranks, crankset, bicycle, cycling, bottom bracket, machining, ANSYS, finite element method

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUPČÁK, R. Modifikace uložení klik na jízdním kole. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 57 stran, 8 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Modifikace uložení klik na jízdním kole vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu použité literatury.

Datum

Radim Kupčák

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji všem, kteří mi byli při zpracování této bakalářské práce nápomocní.

Především děkuji vedoucímu práce Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Jiřímu Novákovi ml. za konzultace, které mi poskytl ve svém volném čase a za dohodu o následné výrobě klik.

V neposlední řadě patří díky mé rodině a blízkým za psychickou podporu.

OBSAH

ÚVOD.....	7
1 KLIKY A JEJICH FUNKCE	8
2 STRUČNÁ HISTORIE JÍZDNÍHO KOLA	9
3 MATERIÁLY VE VELOPRŮMYSLU	11
3.1 Ocel	11
3.2 Slitiny hliníku	13
3.3 Karbon	14
3.4 Srovnání materiálů	14
4 DRUHY STŘEDOVÝCH SLOŽENÍ.....	17
4.1 Šroubovaná středová složení s vnitřními ložisky, bez drážek	17
4.2 Šroubovaná středová složení s vnitřními ložisky, s drážkami.....	21
4.3 Šroubovaná středová složení s vnějšími ložisky	22
4.4 Druhy Závitů na miskách	24
4.5 Bezzávitové středové osy	24
4.6 Souhrn	27
5 DALŠÍ KRITÉRIA ROZDĚLENÍ KLIK.....	28
6 NÁVRH KLIK – ČÁST PRVNÍ.....	29
6.1 Volené parametry	29
6.2 Požadavky pro kompatibilitu.....	30
6.3 Požadavky na pevnost, únavu	32
7 NÁVRH KLIK – ČÁST DRUHÁ.....	34
7.1 Zadání pro pevnostní analýzu	35
7.2 Dimenzování pomocí MKP	38
7.3 Finální návrh.....	41
8 VÝROBA KLIK	42
8.1 Technologické problémy	42
8.2 Postup Výroby	43
8.3 Technicko Ekonomické zhodnocení	44
9 DISKUSE.....	45
9.1 Alternativní vyřešení spideru	45
9.2 Sériová výroba.....	46
9.3 Cílení na výkonnostní cyklistiku	46
ZÁVĚR.....	47
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	48

ÚVOD

Hlavní motivací pro volbu tohoto tématu byly především autorovy osobní zkušenosti při repasování historického silničního kola Favorit (obr. 1). Po mnoha úpravách a vylepšeních, které byly na bicyklu provedeny, zbýval poslední, opravdu slabý článek. Tím byly kliky na klínkovém středovém složení. Obtížná montáž, demontáž, nespolehlivost a malá trvanlivost klínkového systému přesvědčily autora k upgradu středového složení.

Sehnat komerčně dostupné kliky, které by při použití na retro kole nepůsobily nepatříčně, je obtížný úkol. Co se týče bazarových historických kousků, jsou v České republice nejvíce rozšířeny právě klínkové kliky. I proto, ale hlavně kvůli možnosti navrhnout vlastní kliky si autor zvolil toto téma.

Cílem bakalářské práce bylo rešeršně zpracovat materiály používané ve veloprůmyslu a jednotlivé typy středových složení. Na základě rešerše byly navrženy kliky. Volba materiálu i středového složení proběhla s ohledem na konkrétní aplikaci, tedy kolo určené především na rekreační ježdění. Byla provedena optimalizace pomocí metody konečných prvků a následný popis výroby. K závěru bakalářské práce jsou nastíněny jiné alternativní postupy a řešení, které by mohly být uplatněny např. při sériové výrobě nebo cílení na výkonnostní cyklistiku.



Obr. 1: Repasované silniční kolo Favorit

1 KLIKY A JEJICH FUNKCE

Kliky jsou důležitou součástí pohonu jízdního kola¹. Jsou to páky, které jsou na jednom konci spojené se středovou osou uloženou ve středovém složení a na druhém konci k sobě mají přišroubované pedály. Pravá klika je spojena s částí hvězdicového tvaru, spider, který je pomocí převodníkových šroubů spojen s převodníky. (obr. 2).

Hlavním úkolem klik je přenos sil mezi cyklistou a kolem. Převádí pohyby jezdce při šlapání na rotační pohyb, který se přes převodník pomocí řetězu přenáší na pastorek/kazetu zadního kola, a tak pohání bicykl.

Kliky patří k nejvíce namáhaným komponentům jízdního kola, proto je třeba je správně navrhnout a nadimenzovat, vybrat vhodný materiál, aby se zabránilo případnému selhání a zaručit, aby umožňovaly jezdci co nejrychlejší jízdu při co nejnižším úsilí. Toho lze dosáhnout nízkou hmotností, aby jezdec nevezl zbytečnou zátěž při jízdě do kopce, a vysokou tuhostí, pro co nejnižší maření energie při šlapání vlivem elastického průhybu a kroucení klik.



Obr. 2: Klika značky Mighty pro silniční kolo

¹ Pohon je část jízdního kola, která přenáší síly jezdce na zadní kolo, jeho součástí jsou: kliky, středové složení, převodník/y, zadní pastorek/kazetu, řetěz, přehazovačku a přesmykač

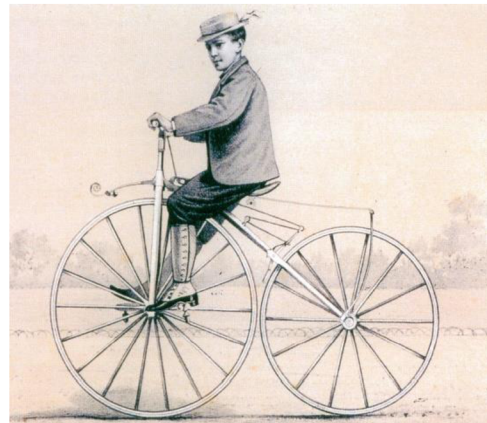
2 STRUČNÁ HISTORIE JÍZDNÍHO KOLA

Ohledně prvenství vynálezu jízdního kola panuje plno debat a nejasností. Jako vynálezce velocipedu² je většinou označován Karel Ludwig Christian Dreis. „Draisina“ (obr. 3), jak se jeho vynálezu z roku 1813 říkalo, byla dvojkolá jednostopé vozidlo s říditelným předním kolem a jezdec jej poháněl odrážením se nohama při sedě obkročmo [1]. I přes svou vysokou hmotnost (cca 40 kg), fyzickou náročnosti jízdy a z počátku negativní publicitu v souvislosti s potenciálně rizikovým používáním se drezína stala oblíbenou kratochvílí smetánky v Německu, Anglii a Francii. Plnohodnotným lidovým dopravním prostředkem se však nikdy nestala. [2]

První velociped poháněný pedály postavil skotský kovář Kirkatrick Macmillan v roce 1839. S obdobným strojem pod názvem „mišódka“³ (obr. 4) přišli otec a syn Michauxové. V roce 1861 jej uvedli na trh. Jednalo se o první velociped, který nesl označení bicykl. Jejich vynález, který následně zdokonalili o brzdu zadního kola, byl rychlejší a lehčí než drezína a mezi zámožnými Pařížany se rychle stal oblíbenou módní záležitostí. [2]



Obr. 3: Draisina [3]



Obr. 4: „Mišódka“ [4]

Kolo urazilo při jednom otočení pedálů dráhu rovnou obvodu předního kola, a protože začaly vznikat první cyklistické závody a byla tedy potřeba bicykly zrychlovat, jejich vývoj byl řízen heslem „větší je lepší“. Přední kolo se zvětšovalo a posed jezdců se zvyšoval, tak vzniklo na počátku 70. let 19. století notoricky známé vysoké kolo⁴ (obr. 5). Dřevěnou konstrukci nahradil ocelový rám a sedlo bylo pro pohodlné šlapání umístěno nad osou předního kola, takže jezdec seděl ve značné výšce. Vedlejším produktem většího rozměru předního kola byly kromě vyšší rychlosti i časté pády a s nimi spojená zranění, obtížný rozjezd a sesedání. [2] [5]

Svou poslední velkou proměnu podstoupily velocipedy na konci 19. století. Zasloužil se o ni pan John Kemp Starley a jeho kolo Rover Safety⁵ (obr. 6). Jeho bicykl měl řetězový převod, takže pro vyšší rychlost nepotřeboval velké přední kolo. Nabízel proto pohodlnou, rychlou a bezpečnou jízdu. Menší průměr kol se ale podepsal na pohodlí jízdy, nerovnosti vozovky byly více patrné než u vysokého kola. Tento problém vyřešil veterinář z Belfastu John Boyd Dunlop s jeho vynálezem – vzduchem plněnou pneumatikou. [1]

² Dopravního prostředku s jedním, nebo více koly, poháněný lidskou silou

³ Francouzsky „michaudine“, Angličany byla posměšně nazývána „boneshaker“ - „kostitřas“

⁴ Francouzsky „Le Grand-Bi“, anglicky „penny farthing“

⁵ Označované jako „safety bicycle“, tedy „bezpečné kolo“ nebo „bezpečník“

Ačkoliv se na bicyklech za posledních 100 let změnilo hodně: geometrie rámu, možnost měnit převody za jízdy, odpružení, kotoučové brzdy, nové a moderní materiály, elektronické řazení nebo řemenový pohon, v podstatě jde o evoluční kroky k vylepšení původního konceptu, kterým byl Rover Safety.



Obr. 5: Vysoké kolo [6]



Obr. 6: Bezpečné kolo značky Whippet [7]

3 MATERIÁLY VE VELOPRŮMYSLU

Ve veloprůmyslu⁶ se pro výrobu rámu i ostatních komponentů používají nejčastěji tyto materiály: oceli, slitiny hliníku a kompozitní materiály. V omezené míře se vyskytují slitiny titanu a hořčíku. Za zajímavou kuriozitu se dají považovat např. rámy používající bambus místo rámových trubek.

3.1 Ocel

Když pomíneme první dřevěné velocipedy, je ocel nejstarší materiál pro výrobu jízdních kol. Používala se od konce 19. století a v omezené míře ji najdeme na jízdních kolech i dnes. Využití našla při výrobě rámu, řídítek, vidlic, představeců, klik, sedlových trubek, ráfků, nábojů a mnoha dalších komponentů. Do první poloviny 20. století byly bicykly téměř výhradně z oceli.

Postupně však začala být nahrazována slitinami hliníku kvůli vyšší tuhosti, nižší hmotnosti a lepší korozivzdornosti. Nejprve na konci 50. let přišly kliky z hliníkové slitiny, pak následovala řídítka a později i ostatní komponenty. Rozšíření rámu z hliníkových slitin v 80. letech definitivně ukončilo éru oceli ve výkonnostní cyklistice. [2] Výjimkou jsou komponenty pro BMX, a jiné cyklistické disciplíny zahrnující triky a skoky a tím pádem velké rázy. Tam ocel vyniká díky své vysoké pevnosti.

Ocel se také používá u stavby zakázkově vyráběných rámu na míru, především kvůli relativně snadné výrobě a možnosti modifikace geometrie rámu na přání zákazníka. Trubky se spojují svařováním, nebo pájením do návlaček – mufní, a to buď mosazí, nebo stříbrem (obr. 8). [5]

Ocelové rámy jsou charakteristické štíhlými trubkami, a nejen kvůli jejich vzhledu na ně nedá mnoho cyklistů dopustit (obr. 7). Mezi nevýhody ocelových rámu patří vyšší hmotnost, nižší tuhost a s tím spojené maření energie jezdce při šlapání skrz boční pružení rámu. Právě nižší tuhost rámu pak způsobuje lepší tlumení vibrací z vozovky a pohodlnější jízdu.⁷

Tato charakteristika odpovídá kvalitním ocelovým rámu z tenkostěnných trubek. Mezi neznámější a proslulé výrobce trubek patří např. Reynolds a Columbus. Při použití trubek z oceli s nižší pevností musejí být trubky robustnější, což výrazně přidává na hmotnosti a omezuje elastické pružení rámu, tedy i pohodlí.

Stejně charakteristiky platí i pro kliky, tedy že ocelové kliky budou většinou těžší a méně tuhé než ty z hliníku⁸. Na rozdíl od rámu však není u klik tlumení vibrací přínosné z hlediska pohodlí jezdce. Hlavní funkce klik je přenos síly, jakékoliv elastické deformace při šlapání nežádoucí jsou tím pádem nežádoucí, a proto na moderních kolech už ocelové kliky nenajdeme.

Na první pohled lze kliky z oceli identifikovat díky štíhlému tvaru a lesklému povrchu, často se totiž prováděla povrchová úprava chromováním⁹. Najdeme je na většině kol československých značek Favorit, Liberta.

⁶ Veloprůmysl je označení pro průmysl související s jízdními koly.

⁷ Existují dva druhy tuhosti rámu kola: boční tuhost, pokud je nízká dochází ke ztrátám vlivem průhybu rámu ze strany na stranu při šlapání cyklisty a vertikální tuhost rámu: při příliš velké vertikální tuhosti nedochází k dostatečnému tlumení vibrací z vozovky a jízda je nepohodlná.

⁸ Ocel a slitiny hliníku jsou detailně porovnány v kapitole 3.4

⁹ Vizuální odlišnost ocelových a hliníkových klik demonstruje obr. 13

Co se týče konkrétních ocelí, pro rámové trubky používají firmy většinou vlastní slitiny, jinak je nejpoužívanější chrom molybdenová nízko legovaná ocel 15 130 (25CrMo4), nebo méně jakostní nelegovaná ocel 11 523 (S355J0).



Obr. 7: Kolo italské značky PEP Magli na ocelovém rámu [8]



Obr. 8: Detailní pohled na spojení trubek pomocí mufní [9]

3.2 Slitiny hliníku

Různé slitiny hliníku¹⁰ jsou v současnosti nejpoužívanější materiál pro výrobu rámu kol i ostatních komponentů. První pokusy o použití hliníkových slitin ve veloprůmyslu se datují do 30. let, kdy kliky ze slitiny hliníku vyrobila firma Stronglight a pět let po ní i stavitel kol René Herse. Ocel ale jasně dominovala až do 50. let. První hliníkové komponenty, které slavily komerční úspěch byly kliky sady Record od firmy Campagnolo z roku 1958. [10] Následovala řídítka z hliníkové slitiny, poté ráfky, a mnoho dalších komponentů s výjimkou rámu, ty musely na využití slitiny hliníku čekat až do 80. let. Využití hliníku pro stavbu rámu umožnilo rozšíření technologie svařování TIG¹¹ (obr. 9) a po velkém úspěchu rámy z hliníkových slitin firmy Cannondale začala spolu boomem horských kol i zlatá éra hliníku ve veloprůmyslu. [2]

Slitiny hliníku dnes najdeme především u kol nižší až střední třídy, a to jak u silničních, horských, tak i trekkingových jízdních kol. Používají se především kvůli příznivým nákladům na výrobu, relativně nízké hmotnosti, dobré tuhosti, menší náchylnosti ke korozi než ocel a dobré tvárnosti. Nevýhodou je omezená životnost, komponenty ze slitin hliníku totiž stárnou. Na rozdíl od oceli totiž nemají slitiny hliníku oblast trvalé pevnosti.

Tvárnost je důležitá při hydroformingu, což je často používaná metoda pro tvarování rámových trubek (obr. 10). Pracovní kapalina, kterou je horký olej pod vysokým tlakem, tváří trubku za použití formy. Je tak možné měnit profil trubek a tím manipulovat s tuhostí rámu a zajistit tak vysokou boční tuhost při zachování komfortní jízdy. Před zavedením hydroformingu ve veloprůmyslu byly hliníkové rámy sice tuhé, ale nepohodlné, protože nebylo možné efektivně zajistit tuhost trubek v jednom směru a pružnost ve druhém.



Obr. 9: Rám Rock Machine svařený technologií TIG



Obr. 10: Rám Orbea Rallon z trubek tvářených technologií hydroform [11]

Mezi nejčastěji používané slitiny patří např. 6061, tu najdeme díky její dostupnosti a dobré svařitelnosti u rámu levnějších kol. Další oblíbené slitiny jsou 7005 a 7020. Mají sice horší svařitelnost než 6061, dosahují ale vyšší tvrdosti i pevnosti. Další významnou slitinou je 7075, je to jedna z nejpevnějších hliníkových slitin, protože však není svařitelná, nepoužívá se pro výrobu rámu, ale u součástek vyráběných z jednoho kusu, například klik. [12]

¹⁰ Často se používá nesprávné označení hliník. Čistý hliník se ve veloprůmyslu nikdy nepoužíval, je měkký a málo pevný.

¹¹ TIG je elektrodové svařování pomocí wolframových elektrod v inertní atmosféře

3.3 Karbon

Tomuto kompozitnímu materiálu¹² náleží pomyslný vrchol technologické pyramidy veloprůmyslu. Najdeme ho prakticky u všech high-end¹³ jízdních kol, jak silničních, tak horských.

Mezi první úspěšné použití uhlíkových vláken v cyklistice lze řadit prototyp vzniklý za spolupráce firem Colnago a Ferrari z roku 1986. Netrvalo dlouho a tento kompozit se stal v profesionální cyklistice standardem. Za posledních 20 let bychom na nejvyšším stupni nejslavnějšího cyklistického závodu, Tour de France, nenašli závodníka s kolem z jiného materiálu než z karbonu. [13]

Tento kompozit je tvořen uhlíkovými vlákny a epoxidovou pryskyřicí, kterou se vlákna impregnují a která funguje jako pojivo. Vytvrzování součástí se pak provádí za vysokých teplot ve formách v pecích. Pomocí vrstvení vláken pod různými úhly lze dosáhnout rozdílné tuhosti v různých směrech, výsledná struktura má pak neizotropní vlastnosti, což spolu s možností tvarovat součástky do téměř libovolných tvarů a spolu s vysokou pevností a tuhostí představují největší výhody karbonu. [14]

Existují dvě metody výroby rámu z karbonu, buď spojováním trubek pomocí kovových spojek, nebo výroba tzv. monokokových rámu, které se pečou v kuse v jedné formě (obr. 11). Mezi hlavní nevýhody karbonu patří vysoká náročnost na manuální práci. Ta je potřeba při začišťování vytvrzených dílů, a především při výrobě monokokových rámu. Při té je nutné klást jednotlivé vrstvy uhlíkových vláken ručně. Karbon se nepoužívá pouze při výrobě rámu, ale i ráfků, vidlic, klik (obr. 12), řídítek a mnoha dalších komponentů.



Obr. 11: monokokový rám Pinarello Dogma F8 [15]



Obr. 12: karbonové kliky SRAM Red [16]

3.4 Srovnání materiálů

V této kapitole jsou stručně srovnány tři nejběžněji používané materiály ve veloprůmyslu. Těmi jsou ocel, slitiny hliníku a karbon. Všechny mají své klady i zápory a každý z nich představoval ve své době nejmodernější dostupný materiál.

¹² Kompozit je materiál složený z dvou nebo více složek rozdílných vlastností, jejich vhodnou kombinací se dosáhne vlastností, které by ani jedna z částí sama o sobě neměla

¹³ High-end je značení pro prémiový produkt/produkt vyšší třídy, Low-End je označení pro produkt nižší třídy

Ocel je tradiční materiál, který se hodí ke konstrukci ráků pro příznivce klasiky. Takový rám nabídne komfortní jízdu, elegantní estetiku štíhlých trubek (obr. 7), avšak cenou za to je kompromis při přenosu sil vlivem nižší boční tuhosti, vyšší hmotnost a vyšší pořizovací cena oproti dnes častějším rákům z hliníkových slitin. Ocelový rám však může zákazníkovi sloužit po desítky let a nabídnout odlišný zážitek a přístup k jízdě než další dva materiály. Co se týče vhodnosti pro použití u ostatních komponent jízdního kola, není ocel pro valnou většinu z nich příliš atraktivní, právě kvůli vyšší hmotnosti a nižší tuhosti.

Slitiny hliníku nabízejí zlatou střední cestu výkonu a ceny, není však hliník jako hliník. V dnešní době celkem běžně dostupné hydroformě tvářené trubky (obr. 10) umožňují dosažení podobného pohodlí jako ocelové rámy a jsou přitom tužší a lehčí. Zdaleka tedy neplatí tvrzení, že hliníkový rám je nutně nekomfortní rám. Nějaké globální srovnání s karbonem je pak velmi obtížné, protože high-end hliníkový rám může mít lepší vlastnosti, než low-end karbonový rám, přičemž jejich ceny mohou být srovnatelné. Co se týče ostatních komponent, někteří profesionální závodníci používají některé součástky ze slitin hliníku na úkor karbonu, např. představce, řídítka nebo sedlovky. Lze tedy říct, že dominance karbonu není zcela jednoznačná. Obecně lze rámy a komponenty ze slitin hliníku doporučit rekreačním až středně výkonnostním cyklistům.

Pro ty nejvýkonnější a nejrychlejší je tady karbon, ten poskytuje nízkou hmotnost a vysokou tuhost, jeho cena je však také vysoká. Na druhou stranu se stává čím dál dostupnějším a karbonové rámy se používají i u kol střední třídy. Rozhodně se nemusí jednat o kola za statisícové částky a např. vidlice silničních kol jsou výhradně z karbonu kvůli jejich skvělému tlumení vibrací a stabilitě při vysokých rychlostech. Dá se tedy očekávat, že trend postupného zlevňování a zpřístupňování karbonu bude mít za následek ještě větší rozšíření jeho využití.



Obr. 13: Porovnání klik ze slitiny hliníku (nalevo) a klik z oceli (napravo) hmotnost ocelové kliky je 656 g, hmotnost hliníkové je 573 g, hliníková je lehčí i přesto, že má o jeden převodník navíc.

Porovnání tuhostí oceli a slitiny hliníku

Poznatek, že součásti a rámy ze slitin hliníku jsou tužší, může být na první pohled proti očekávání. Matoucí může být fakt, že Youngův modul pružnosti oceli je téměř trojnásobný oproti Youngovu modulu pružnosti duralu, ten byl zvolen jako modelová slitina hliníku pro tuto demonstraci. Tuhost součásti však nezávisí pouze na materiálu, ale i na osovém kvadratickém modulu průřezu. Cílem demonstrace je porovnat tuhost součásti z duralu a oceli o totožné hmotnosti.

Základem demonstrace bude Castiglianova věta pro výpočet průhybu. [17] Jako model bude použit vetknutý prut obecného kruhového průřezu

$$w = \frac{\partial W}{\partial F} = \int_0^l \frac{M_y}{E \cdot J_y} \frac{\partial M_y}{\partial F} dx \quad [\text{mm}]. \quad (1)$$

Úpravou rovnice (1) vznikne vzorec pro průhyb konce modelového nosníku

$$w = \frac{F \cdot l^3}{E \cdot J_y} \quad [\text{mm}]. \quad (2)$$

Součin $E \cdot J_y$ značí ohybovou tuhost prutu. Průhyb nepřímo úměrně závisí na ohybové tuhosti

$$S = E \cdot J_y \quad [\text{GPa} \cdot \text{mm}^4]. \quad (3)$$

Za J_y bude dosazen vztah pro osový kvadratický moment kruhového průřezu [17]

$$J_y = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad [\text{mm}^4]. \quad (4)$$

Tabulka 1: Porovnání mechanických vlastností oceli a duralu

	E [GPa]	ρ [kg/m³]
ocel	210	7850
dural	70	2800

Následně bude vypočteno, v jakém poměru musejí být poloměry prutů, aby měly stejnou hmotnost.

$$m_{dural} = m_{ocel}$$

$$\rho_{dural} \cdot (\pi \cdot r_{dural}^2) \cdot l = \rho_{ocel} \cdot (\pi \cdot r_{ocel}^2) \cdot l$$

$$\frac{r_{dural}}{r_{ocel}} = \sqrt{\frac{\rho_{ocel}}{\rho_{dural}}} \cong 1,67$$

Aby měl prut z duralu stejnou hmotnost jako prut z oceli, musí mít 1,67krát větší poloměr.

S použitím rovnice (3) budou porovnány tuhosti prutu z oceli a z duralu.

$$\frac{S_{dural}}{S_{ocel}} = \frac{E_{dural} \cdot J_{y_{dural}}}{E_{ocel} \cdot J_{y_{ocel}}} = \frac{70 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi \cdot (2 \cdot 1,67 \cdot r_{ocel})^4}{64}}{210 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi \cdot (2 \cdot r_{ocel})^4}{64}} \cong 2,62$$

Při shodné hmotnosti obou prutů má duralový prut 2,62krát větší ohybovou tuhost než ten ocelový. To vysvětluje, proč jsou součástky a rámy z hliníkových slitin většinou lehčí i tužší, než ty z ocele (obr. 13).

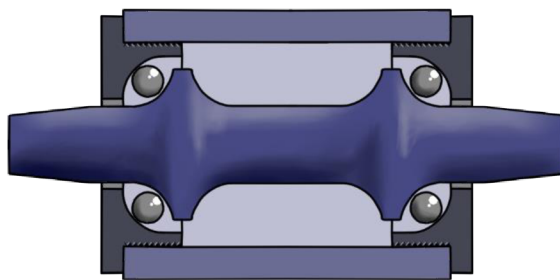
4 DRUHY STŘEDOVÝCH SLOŽENÍ

Středové složení je část jízdního kola, která obsahuje středovou osu, ta je uložena ve dvou ložiskách a jsou na ni nasazeny kliky. Pouzdro v rámu, do které se montuje středové složení, se nazývá středový domeček.

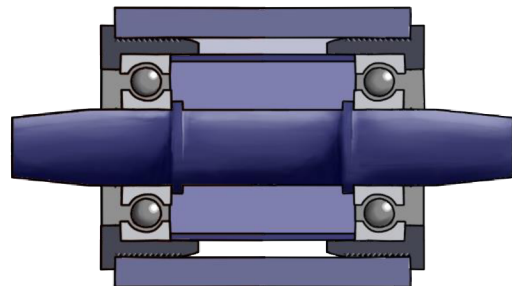
Existuje mnoho standardů a typů středových složení, které mezi sebou nejsou příliš kompatibilní. Středové složení je třeba vybírat s ohledem na rám, konkrétně na typ, průměr a šířku domečku a kliky je třeba vybírat s ohledem na typ středového složení.

4.1 Šroubovaná středová složení s vnitřními ložisky bez drážek

Jedná se o klasický druh středového uložení, používaný u kol starší výroby, u kol nižší a střední třídy se používá dodnes. Osa je součástí středového složení, a to se v rámu uchytí pomocí závitů na miskách ložisek a ložiska jsou umístěna ve středovém domečku, uvnitř rámu.



Obr. 14: Seřiditelné středové složení, typické pro klínkové osy a starší čtyřhranné osy



Obr. 15: Zapouzdřené středové složení, běžné pro dnešní čtyřhranné os

Klínková středová osa

Jde o nejstarší typ upínání klik ke středové ose. Středové složení se skládá z osy válcového tvaru s osazeními pro kontakt s kuličkami ložisek a dvěma ploškami (obr. 17), pomocí kterých se přes klínek (obr. 16) přenáší kroutící moment z klik na osu. Osa se může otáčet díky kuličkovým ložiskům ve formě misek, které jsou zašroubovány do rámu. Jedna miska je zašroubovaná nadoraz (pravá) a druhá slouží k vymezení vůle (levá), ta je pak zajištěna pojistným kroužkem. Jedná se o tzv. seřiditelné středové složení (obr. 14). [18]

Kliky mají válcovou díru, která slouží k nasazení na středovou osu, kolmo na ni je menší díra, do které se umístí tangenciální klínek. Ten je válcový s šikmou dosedací plochou pro kontakt s osou a závitem na konci pro zajištění matkou (klínkové kliky jsou např. na obr. 13 vpravo nebo na obr. 35). [1]

Toto uložení popisuje norma *ISO 6693:1981 Cycles-Cotter pin and assembly of the axle/cotter pin/crank* nebo její česká obdoba *ČSN ISO 6693 Jízdní kola. Klínek a montážní rozměry hřídele středového složení (klínku) kliky*. Tento typ uložení nepodléhá žádnému patentu.

Ne bezdůvodně je dnes tento systém považován za značně zastaralý a problémový. Kroutící moment je přenášen přes již zmíněné klínky, tedy přes velmi malé plošky. Aby nedocházelo

k opotřebování kliky nebo osy, vyrábí se klínky z měkké oceli. Důsledkem toho je, že se klínky při jízdě plasticky deformují - vymačkávají se a je potřeba je často měnit. Když dojde k velkému opotřebení klínků, vznikne vůle ve spojení kliky a osy, pak je nejvyšší čas klínky vyměnit. [19]

Další nešvary tohoto uložení se projeví při montáži a demontáži. Při sundávání kliky je nejprve nutné odšroubovat jistící matku z klínku, pak lze přistoupit k vyjmutí samotného klínku. Správný postup je použít speciální nástroj pro sundávání klínků¹⁴, pomocí kterého lze šroubem klínek vytlačit ven. Realita je taková, že tento nástroj není příliš rozšířený a pro demontáž se většinou používá kladivo. V tom případě je nutné kliku podložit trubkou nebo kusem dřeva, aby rázy z úderů kladivem neprocházely celým rámem a potenciálně nepoškodily ložiska ve středovém složení nebo jinou citlivou část bicyklu. Je lepší použít pár razantních a dobře mířených ran, protože při opakovaném tlučení do klínku může dojít k jeho zploštění a tím znemožnění jeho snadného vyjmutí. V krajních případech je třeba klínek oslabit navrtáním, a až poté ho vyklepnout. [20] [21]

Při montáži je třeba nasadit kliku na osu, správně ji naorientovat, a poté do menšího otvoru zatlouct klínek. Je důležité dostat ho na správné místo zatloukáním a nesnažit se o to dotažením matky. Protože je klínek z měkké oceli, došlo by ke stržení závitu nebo i lomu klínku. Po pár desítkách najetých km je třeba matky znovu dotáhnout. Při jízdě s nedotaženými klínky dojde vlivem vůle k vyřezání zářezů do klínků a ty pak nebude možné dotáhnout. [20] [21]

Ačkoliv je průměr klínků normalizován, zkosení není jasně definované. Problémy nastanou především při snaze použít klínky a osu vyrobené v jiných zemích. Může nastat situace, kdy kliky nejsou přesně pod úhlem 180°. V rámci výrobců z jedné země jsou klínky a osy většinou navzájem smontovatelné a zaměnitelné. [20]

Klínkové osy se přestaly používat na kolech vyšší třídy přibližně v 60. letech, kdy je nahradily kliky s čtyřhrannou osou. [19]



Obr. 16: Klínek [20]



Obr. 17: Klínková středová osa pro seřiditelné středové složení [22]

¹⁴ Anglicky: Cotter pin press

Čtyřhranná středová osa

Je nástupcem klínkových os a jako první ji úspěšně uvedla na trh firma Campagnolo v roce 1958 na svých klikách sady Record¹⁵ (kliky sady Record z pozdějšího období jsou na obr. 35) [10]. Funkční část osy má, jak vypovídá název, čtyřhranný tvar. Hrany jsou sražené a hlavní plochy jsou vůči střednici osy vychýleny o 2°, jde tedy o komolý jehlan [23]. Klika má čtyřhrannou díru odpovídající ose (kliku na obr. 2 a detail díry na obr. 31) a po nasazení se dotahuje šroubem (obr. 19). Existuje i varianta, kdy na konci osy je vnější závit, na který se našroubuje matka. Válcová část osy má průměr 16 mm.

Čtyřhran existuje ve dvou verzích: seřiditelná, kde je středové složení obdobné jako u klínkové osy, jen se liší tvarem osy, a pak dnes mnohem častější zapouzdřené středové složení (obr. 15 a obr. 18)¹⁶. To místo ložiskových misek a volných kuliček používá běžná průmyslová ložiska, osa i misky součásti cartridge, který se pomocí misek zašroubuje do rámu. Ložiska jsou tak lépe chráněna před vnějšími vlivy a výměna středového složení je snazší, protože se vymění celé zapouzdření a není potřeba tak častý servis. To přináší další výhodu, a to nižší opotřebení čtyřhranné díry v klice, která při častém sundávání trpí a díra se může postupně zvětšovat, a to až do takové míry, že přestane plnit svou funkci. [18] [24]

Pro sundávání kliky slouží metrický závit s jemným stoupáním M22X1 (vnitřní závit v klice na obr. 19). Do něj se zašroubuje stahovák klik, který pomocí vnitřního šroubu odtlačí kliku pryč od osy. Spoj kliky s osou je totiž samosvorný, a tak i při uvolnění pojistného šroubu za jízdy většinou nedojde k samovolnému uvolnění kliky.

Výhodou oproti klínkovým osám je mnohonásobně větší obsah kontaktních ploch, s tím je spojená menší poruchovost, delší životnost a snadná montáž i demontáž. Není tedy divu, že po jejich uvedení na trh téměř úplně vytlačily problémové klínkové osy. Z počátku byly nazývány „cotterless“, tedy bezklínkové, protože se tehdy jednalo o jediný typ uložení, který nepoužíval klínky.

Během začátku 21. století přešli hlavní výrobci na jiné typy středových složení u svých high-end modelů, především kvůli vyšší tuhosti a nižší hmotnosti nových typů. U městských a trekingových kol a u entry-level silničních i horských kol se čtyřhran používá i dnes. I když je některými čtyřhran považován za zastaralý a překonaný, najde se hodně cyklistů, kteří na něj nedají dopustit především díky jeho jednoduchosti, spolehlivosti a odolnosti. [10]

Existují dva hlavní standardy, podle kterých se vyrábí čtyřhranné osy a kliky: J.I.S. (Japanese Industrial Standard), který se používá u součástí vyrobených v Asii včetně Shimana, a ISO u klik a os vyráběných v Evropě. Oba standardy používají shodný sklon ploch 2° ke střednici, avšak ISO osy mají na koncích menší rozměry. [24]

Oba standardy jsou ve většině případů kompatibilní, lze tedy nasadit ISO kliku na J.I.S. osu a obráceně za podmínky, že kliku není nasazena příliš daleko na osu. V takovém případě by mohla nastat situace, kdy pomocí matky, nebo šroubu na konci osy nejde kliku dotáhnout, protože matka, nebo šroub dosedl na čelo osy. To hrozí u kombinace J.I.S. kliky s ISO osou, právě protože se ISO osa sbíhá do menšího konce než ta podle normy J.I.S. I takhle situace je však

¹⁵ O využití čtyřhranné osy se ve 30. letech snažila např. firma Stornlight nebo slavný stavitel kol René Herse, první, komu se s nimi povedlo komerčně prosadit byl ale až pan Campagnolo [10]

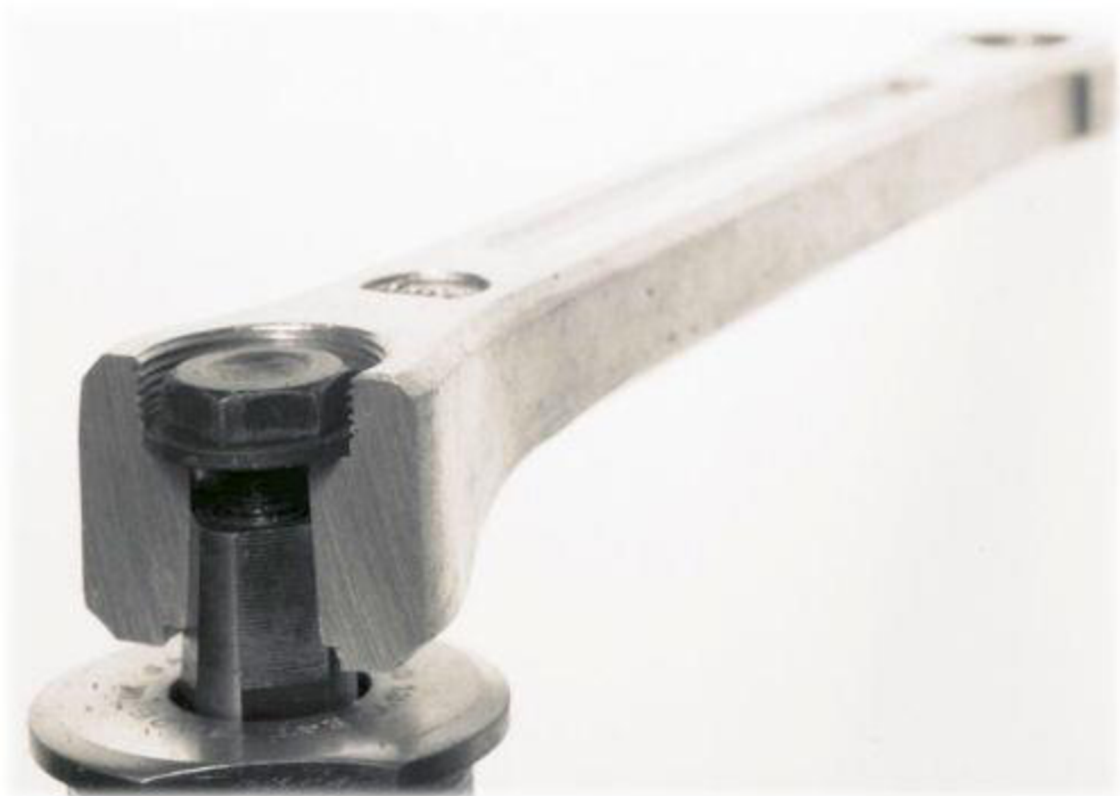
¹⁶ Existuje i klínkové zapouzdřené středové složení, to však není příliš časté

řešitelná. Stačí odbrousit konec osy, aby mohly být kliky dotaženy. Optimální je však vždy použít ISO kliky na ISO osu a J.I.S kliky na J.I.S. osu. [24]

Přesné dimenze ISO klik a os a informace pro výrobce poskytuje norma *ISO 6695:2015 Cycles - Pedal axle and crank assembly with square end fitting - Assembly dimensions* nebo její česká obdoba *ČSN ISO 6695 Jízdní kola. Montážní podskupiny. Spojení kliky a hřídele středového složení se čtyřhranem*. Čtyřhranné složení nepodléhá žádnému patentu.



Obr. 18: Zapouzdřené středové složení Shimano s čtyřhrannou osou [25]



Obr. 19: Řez klikou nasazenou na čtyřhranné ose [24]

4.2 Šroubovaná středová složení s vnitřními ložisky s drážkami

Drážkové osy jsou evolucí os čtyřhranných. Středové složení má podobnou konstrukci jako u zapouzdřené čtyřhranné osy (obr. 14), kontaktní část osy a klik je však tvořena drážkováním, to zajišťuje tvarový spoj pro přenos kroutícího momentu. První pokusy o nahrazení čtyřhranu drážkováním se uskutečnily v polovině 20. století, kdy s nimi experimentovaly firmy Gnutti nebo Williams. Nahrazovat čtyřhranné osy však začaly až na konci 90. let, kdy byly uvedeny systémy Octalink a ISIS [26]. Na rozdíl od klínkových a čtyřhranných os neexistují ani OCTALINK ani ISIS ve variantě seřiditelného středového složení, ale pouze zapouzdřené. Méně častý je pak systém Powerspline od firmy Truativ

Octalink

Jak název napovídá, Octalink osy mají osm drážek, které se starají o přenos kroutícího momentu. Jde o patentově chráněný systém firmy Shimano, který byl na trh uveden v roce 1996. Existují dvě varianty: Octalink v1 (obr. 20), původně navržený pro silniční kola s drážkováním dlouhým 5 mm. Vzhledem k rozmachu horských kol na konci 90. let a vyšším nárokům kladeným na součásti horských kol vlivem rázů při jízdě po nerovném povrchu byl představen Octalink v2 (obr. 21) s drážkami dlouhými 9 mm. Verze mezi sebou nejsou nijak kompatibilní. [26]

ISIS (International Splined Interference Standard)

Je patentově nechráněná alternativa k Octalinku využívaná ostatními společnostmi. Liší se od něj funkční částí, která má 10 drážek, které jsou delší než ty u Octalinku (obr.22). Motivací k jejímu zavedení byla snaha o vytvoření standardu, který by mohl být bezplatně využíván a který by sjednotil středová složení. [27] Konkrétní rozměry tohoto středového složení popisuje norma ISIS drive standard. [28]

Charakteristika ISIS a Octalink

Oba systémy, ISIS i Octalink dosahují o něco nižší životnosti než čtyřhran. Byly navrženy s vidinou nižší hmotnosti a vyšší tuhosti, čehož bylo dosaženo použitím duté osy o větším průměru, což si vybralo určitou daň na trvanlivosti. Středový domek, které slouží k uchycení středového složení má stejný průměr pro čtyřhranné i pro drážkované osy. Vzhledem k tomu, že osy ISIS a Octalink mají větší průměr, používají se ložiska o větším vnitřním průměru. Vnější průměr však měnit nelze kvůli velikosti domku, ten má u klasického anglického závitu velikost necelých 35 mm [29].

Kuličky v ložiskách jsou tím pádem menší, a především u levnějších středových složení se ze začátku používala méně kvalitní ložiska s nižší životností, která i vlivem vnějších vlivů jako jsou nečistoty a koroze odcházela mnohem rychleji než větší ložiska ve čtyřhranných středech. Z toho plyne častější údržba a výměna drážkových středových složení.

Demontáž klik systému ISIS o Octalink je obdobná jako demontáž klik čtyřhranné osy, také je nutné použití stahováku klik. [18]

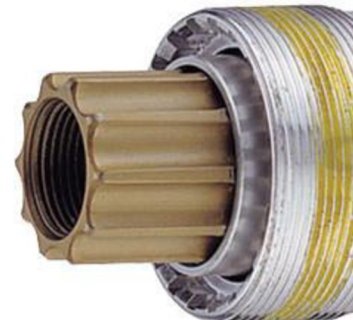
V dnešní době se od tohoto typu ustupuje ve prospěch 2 - dílných systémů (středová složení s externími ložisky pro kliky s integrovanou osou), stále jsou však montovány na některá kola nižší a střední třídy.



Obr. 20: Octalink v1 [30]



Obr. 21: Octalink v2 [30]



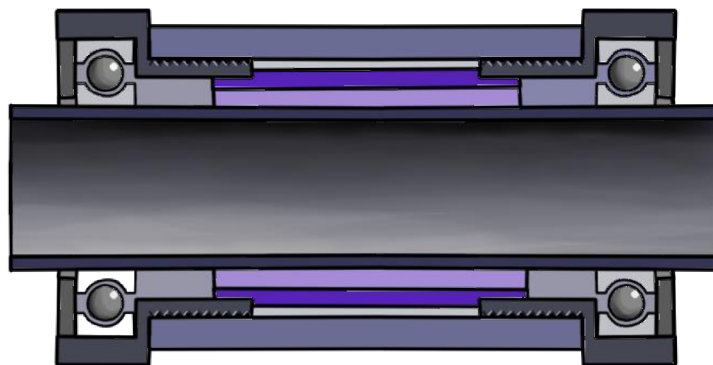
Obr. 22: ISIS [30]

4.3 Šroubovaná středová složení s vnějšími ložisky

Velká změna v konstrukci středových složení nastala po vydání systému Hollowtech II od firmy Shimano v roce 2004. [31] Od té doby se u high-end kol začaly používat středová složení s vnějšími ložisky. Stále se jedná o šroubovaná středová složení (většinou pro anglický závit), ale ložiska už nejsou umístěna uvnitř středového domku, ale jsou v miskách zvenčí rámu (obr. 23 a 24). Tím pádem nejsou rozměry ložisek omezeny průměrem domku, který je u rámu s anglickým závitem necelých 35 mm a mohou se tak použít ložiska s většími kuličkami a tím i delší životností. Zároveň lze použít osa většího průměru. U většiny středových složení tohoto typu se používá dutá osa o průměru 24 mm, tím se zvýšila tuhost celého systému. K tuhosti přispívá i větší vzdálenost mezi ložisky.

U těchto systémů není osa součástí cartridge středového složení, ale je permanentně spojena s jednou z klik, většinou s pravou (obr. 25). Levá klika je s osou spojena pomocí drážkového spoje, a tří šroubů. Hlavní šroub většinou slouží pouze k dotažení ložisek, klika se na osu upevňuje pomocí dvou menších, opačně orientovaných imbusových šroubů. [32]

Mimo vyšší tuhosti a nižší hmotnosti patří mezi výhody tohoto systému snadná demontáž, kdy k sundání klik není potřeba stahovák klik, protože obsahují tzv. samostahovací šroub. Je však nutné mít speciální nástroj na odšroubování krytky levé kliky a imbusový klíč. [18]



Obr. 23: Středové složení s externími ložisky pro dutou integrovanou osu

Hollowtech II (Shimano)

Historie výrobků s označením Hollowtech je poměrně spletitá. Začala, když Shimano uvedlo na trh kliky s označením Hollowtech. Jednalo se o duté kliky vyráběné svařením dvou kovaných kusů. Tyto kliky byly určeny pro středové složení Octalink. Následné vylepšení přišlo s klikami Hollowtech II – Hollowtech druhé generace, které Shimano použilo u své high-end řady Dura Ace v roce 2004. Ty způsobily veliký rozruch, protože kromě toho, že byly duté, přinášely novinku ve formě integrované středové osy. Ta nebyla součástí cartridge středového složení, jak tomu doposud bývalo zvykem, ale byla integrovaná s pravou klikou (obr. 25). [31]

Název Hollowtech II se pak začal používat jako obecné označení systému s externími ložisky a osou integrovanou s pravou klikou. Oficiálně však označení Hollowtech II náleží pouze dutým klikám s integrovanou osou od firmy Shimano. Ne všechny kliky, které používají tento systém jsou totiž duté. Ty neduté by správně neměly být označovány jako Hollowtech II, ikdyž jsou pod touto kolonkou často k nalezení např. v internetových obchodech. [31] V oficiálním katalogu Shimana se tyto neduté kliky označují názvem „two-piece crankset“, tedy dvoudílné kliky.¹⁷ [33]

Tento systém tedy používá ložiska přišroubovaná zvenčí středového domku, ten má však stejné rozměry jako u předchozích typů, proto lze většinou upgradovat např. z čtyřhranného středového složení na systém dvojdílných klik.

System je výrazně tužší a lehčí než Octalink nebo ISIS, především díky větší ose, která má průměr 24 mm. Hollowtech II však také nedosahuje takové životnosti jako čtyřhran, zejména kvůli exponovanosti ložisek vůči vnějším vlivům. Obzvláště je to faktor u horských kol, kde se předpokládá jízda v horších podmínkách. Spotřebitelé kritizovali životnost ložisek především ze začátku zavedení Hollowtech II, podle slov cyklistů z internetových fór je u dnešních středových složení životnost výrazně lepší.



Obr. 24: Středové složení SRAM Red GXP [34]



Obr. 25: Kliky s integrovanou osou značky SRM s wattmetrem určené pro středové složení Hollowtech II [35]

¹⁷ Středová složení se všechna označují jako Hollowtech II, důvodem je to, že jak „two-piece“ kliky tak kliky Hollowtech II pasují do stejného středového složení

Ostatní

V této kategorii lze najít několik dalších standardů, které se tomu od Shimana velmi podobají. Např. MegaEXO (FSA), X-Type (Race Face), oba jsou kompatibilní s Hollowtech II a GXP (SRAM, na obr.24), který se systémem Shimana kompatibilní není. GXP má totiž jeden konec osy o průměru 24 mm a druhý 22 mm. Celkem rozšířený je také systém firmy Campagnolo, Ultra-Torque. Ten má k oběma klikám napevno připevněnou poloosu, obě poloosy se spojují uprostřed středového složení pomocí drážek a dotáhnou se jistícím šroubem. Campagnolo používá ještě další dva typy středových složení, Power-Torque a Over-Torque. [18]

4.4 Druhy Závitů na miskách

U většiny závitových středových složení se používají dva nejčastější typy závitů. Zdaleka nejrozšířenější je anglický závit/english thread (BSA): jde o palcový závit s průměrem 1,37" x 24 TPI (Závit o průměru cca 35 mm a 24 závity na palec). Miska na pravé straně má levý závit, miska na levé straně má závit pravý. Občas se lze setkat i s italským/ITA závitem 36 mm x 24 TPI. Ten má obě misky s pravým závitem, což potenciálně způsobuje problémy, protože pravá miska má vlivem rotace osy tendenci se odšroubovat. [29]

Při výběru správného středového složení je třeba zkontrolovat šířku domku v rámu, tedy pouzdra, do kterého se montuje středové složení, ta je nejčastěji 68 nebo 73 mm. Použitím distančních kroužků lze částečně kompenzovat příliš úzký domek rámu. [29]

4.5 Bezzávitové středové osy

Od roku 2007 se u některých high-end kol začala používat bezzávitová, lisovaná středová složení. Momentálně se jedná o nejnovější typ středového složení. Motivace pro jeho zavedení byla stejná jako u všech předešlých inovací: vyšší tuhost a nižší hmotnost, ale také snazší a levnější výroba. Především u moderních karbonových rámu výrobcům odpadá problém s vkládáním kovových závitových vložek, nebo řezání závitu přímo do karbonového domku. Proto je pro výrobce bezzávitová varianta velmi výhodná. [36] [37] [38]

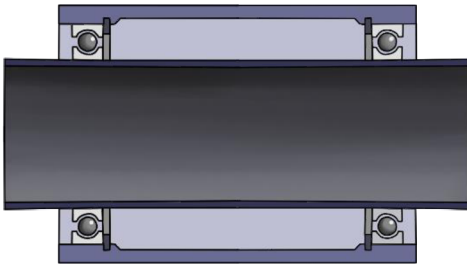
Také to konstruktérům dává volnější ruku při návrhu rámu, mohou rozšířit domek pro středové složení a tím vzniká prostor i pro rozšíření zadní stavby rámu. To vede především k vyšší tuhosti, ale i nižší hmotnosti. Také nemusí být brán ohled na závity, které do rámu vnášejí koncentrátry napětí. [38]

Rozhodně se však nejedná o bezproblémové řešení. Internetová fóra jsou přeplněna příspěvky od nespokojených uživatelů, kteří si stěžují na skřípání ložisek a nízkou životnost. Skřípání může být způsobeno několika faktory: neodborná montáž, špatné výrobní tolerance, a tedy nepřesnost dosedacích ploch ložiska a domku nebo prach a voda v systému. K montáži jsou potřeba specializované nástroje, konkrétně různé typy stahováků ložisek. Neodbornou instalací hrozí poškození karbonového rámu vlivem nesouosého umístění ložisek. [36] [39]

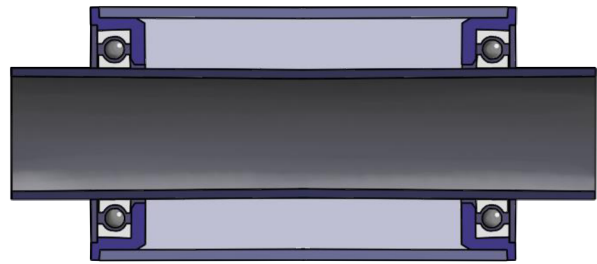
Lisovaná středová složení lze použít pouze u rámu, který počítá s lisovaným středovým složením. Lze je rozdělit na dva hlavní typy. Buď se ložiska lisují přímo do rámu (Direct-fit na obr. 26), pak jsou potřeba přísnější výrobní tolerance. Ve druhé variantě je ložisko vloženo do plastové, většinou nylonové vložky, která je pak zalisována do rámu (Press-fit na obr. 27). Vložka

kompenzuje případné nepřesnosti a výroba je tak levnější a méně nákladná, protože jsou menší nároky na přesnost. [36]

Některá bezzávitová středová složení lze použít s klikami s integrovanou osou, které jsou určeny pro středová složení s vnějšími ložisky. Vždy je však nutné zkontrolovat, aby měla osa správnou délku. Existují různé adaptéry pro použití os s průměrem 24 mm se středovými složeními o vnitřním průměru 30 mm a také různé distanční kroužky pro kompenzaci různých délek os. Středové složení je však vždy potřeba použít takové, jaké udává výrobce rámu. [36]



Obr. 26: Schéma středového složení direct-fit, ložiska jsou lisována přímo do středového domku, jejich poloha je vymezena pojistným kroužkem



Obr. 27: Schéma středového složení pres-fit, ložiska jsou lisována do plastových misek, které jsou lisované do rámu

Vyšší tuhosti dosáhli výrobci buď použitím osy většího průměru, nebo větší vzdáleností mezi ložisky.

BB 30

- systém používaný především firmou Cannondale (obr. 28 a obr. 29),
- ložiska jsou lisována přímo do rámu – direct fit,
- osa o průměru 30 mm,
- šířka domku 68 mm road nebo 73 mm MTB,
- kompatibilní s klikami PF 30. [40] [36]

PF 30 (Press Fit)

- systém používaný především firmou SRAM,
- ložiska jsou umístěna v nylonových vložkách – press fit,
- osa o průměru 30 mm,
- šířka domku 68 mm road nebo 73 mm MTB,
- kompatibilní s klikami BB 30. [40] [36]

BB 86/92

- systém používaný především firmou FSA,
- ložiska jsou umístěna v nylonových vložkách – press fit,
- osa o průměru 24 mm,
- šířka domku 86,5 mm – road, 91,5 mm MTB,
- kompatibilní s Hollowtech II, MegaExo, GXP. [40] [36]

BB 90/95

- systém používaný pouze firmou Trek,
- ložiska jsou lisována přímo do rámu – direct fit,
- osa o průměru 24 mm,
- šířka domku 90,5 mm – road, 95,5 mm – MTB,
- kompatibilní s Hollowtech II, MegaExo, GXP. [40] [36]

BB right direct

- systém používaný pouze firmou Cervélo,
- ložiska jsou lisována přímo do rámu – direct fit,
- osa o průměru 30 mm,
- šířka domku 79 mm pouze road,
- stejné jako BB 30, jen je osa delší. [40] [36]

BB right press fit

- systém používaný pouze firmou Cervélo,
- ložiska jsou umístěna v nylonových vložkách – press fit,
- osa o průměru 30 mm,
- šířka domku 79 mm pouze road ,
- od PF 30 se liší pouze delší osou. [40] [36]

BB 386 EVO

- systém používaný především firmou FSA, v podstatě je to PF 30 s širším domkem,
- ložiska jsou umístěna v nylonových vložkách – press fit,
- osa o průměru 30 mm,
- šířka domku 86,5 mm pouze road,
- od PF 30 a BB right press fit se liší pouze delší osou. [40] [36]



Obr. 28: Středový domek pro středové složení BB30 [41]



Obr. 29: Karbonové kliky Cannondale pro středové složení BB30 [42]

4.6 Souhrn

Jednotlivé typy středových složení jasně reflektují, jakým směrem se ubírá celý veloprůmysl. Vzhledem k tomu, že všichni hlavní výrobci komponentů jsou zároveň sponzory a dodavateli vybavení pro profesionální cyklistické stáje, zaměřují se při vývoji především na výkonnostní vlastnosti, tedy tuhost a hmotnost. Pro firmy je pak umístění závodníků, které sponzorují, na předních pozicích skvělou reklamou. Pro profesionální jezdce, kteří mají po každém závodě a po každé etapě servis mechaniků, kteří se starají o jejich kola, není životnost komponentů důležitý faktor. Protože se tedy vývoj neubírá směrem vysoké životnosti je pro běžného spotřebitele nutné určit si při výběru středového složení priority, výkonnost, nebo trvanlivost?

Nejdelší životnost a největší odolnost vykazuje střed se čtyřhrannou středovou osou, tedy typ, který se na kola vyšších tříd nemontuje od roku 1996, samozřejmě výrazně ztrácí v hmotnosti a tuhosti.

Nejlepší tuhost a nejnižší hmotnost nabízejí nová lisovaná složení, nicméně je provází plno problémů se skřípáním a životností ložisek.

Jako optimální kompromis pro výkonnostní cyklisty se jeví středové složení s vnějšími ložisky. To se tuhostí téměř vyrovná lisovanému, je sice mírně těžší, má však delší životnost a nevykazuje tolik problému, jako nejnovější typ středových složení.

Dá se předpokládat, že výrobci budou pokračovat v prosazování vlastních standardů na svých high-end modelech. Na druhém konci spektra, u levných kol, se dá očekávat setrvání spolehlivého čtyřhranu. Drážkové středové osy Octalink a ISIS budou nejspíše dále ustupovat ve prospěch středových složení s externími ložisky.

V příloze 8 se nachází tabulka, která přehledně shrnuje zmiňovaná středová složení spolu i s několika dalšími.

5 DALŠÍ KRITÉRIA ROZDĚLENÍ KLIK

Spider a převodníky

Nejstarší kliky byly pevně spojeny s převodníky, takže při opotřebení zubů byla potřeba vyměnit celé kliky. Netrvalo dlouho a začaly se objevovat vyměnitelné převodníky připevněné třemi až pěti šrouby k části klik hvězdicového tvaru: patce, neboli spideru (obr. 30). To umožnilo výměnu opotřebovaných převodníků, ale i změnu rozsahu převodů.

U starých ocelových klik byl spider nalisován ke klíce (viz ocelové kliky na obr. 13 vpravo nebo obr. 46), dnešní hliníkové nebo karbonové kliky mají spider většinou integrovaný (obr. 2). Některé firmy nabízejí kliky na horská kola s vyměnitelnými spidery, lze tak použít větší škálu převodníků. Převodníky se vyrábí nejčastěji z oceli nebo hliníkové slitiny, existují však i titanové nebo karbonové převodníky.

Rozlišujeme několik rozhodujících parametrů u převodníků

- Počet zubů – jeho poměr s počtem zubů na pastorku zadního kola určuje převodový poměr
- Počet převodníkových šroubů, obvykle 4 nebo 5
- Rozteč převodníkových šroubů (BCD - bolt circle diameter), u klik se třemi převodníky bývá zpravidla nejmenší převodník připevněný na jiných šroubech než střední a velký převodník

Právě BCD je důležitý parametr, který je třeba zohlednit kvůli kompatibilitě s klikami při volbě převodníku. U silničních klik obvykle najdeme BCD 130 mm nebo 110 mm, Campagnolo však používá jiné rozměry a u horských kol existuje více standardů.

Délka klik

Délkou klik se rozumí vzdálenost středové osy k ose pedálu. Komerčně dostupné kliky jsou k dostání nejčastěji v délkách od 170 po 175 mm v intervalech 2,5 mm.

Použití klik

Podle použití dělíme kliky na:

- | | |
|---------------------|---------------------------------|
| • Pro silniční kola | • Pro BMX |
| • Pro horská kola | • Pro trekkingová/crossová kola |
| • Pro downhill kola | • Pro dětská kola |



Obr. 30: Část kliky označována jako spider

6 NÁVRH KLIK – ČÁST PRVNÍ

Cílem je navrhnout kliky pro použití na silničním kole Favorit (obr. 1), které budou splňovat následující parametry a požadavky

- Použít modernější typ uložení, než je klínková osa za účelem snížení náročnosti a frekvence servisu
- Při návrhu designu klik zachovat estetiku retro kola Favorit
- Zajistit kompatibilitu s komerčně dostupnými převodníky, rozšířit tím rozsah rychlostí jízdního kola
- Priorita při návrhu je dlouhá životnost a odolnost, tuhost a hmotnost jsou vedlejší, kolo bude využito pro rekreační a kondiční ježdění
- Navrhnout výrobu pro technologie dostupné v dílnách Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně nebo jako zakázku kovovýrobní firmy
- Jedná se o kusovou výrobu

6.1 Volené parametry

Výběr uložení

Na výběr jsou pouze šroubovaná středová složení, protože lisovaná středová složení nejsou kompatibilní s rámy navrženými pro šroubovaná středová složení. Systémy s integrovanou osou také nebudou rozebírány, protože by v rámci návrhu šlo o nákladnější a náročnější řešení vzhledem k nutnosti permanentního spojení osy s jednou z klik.

Čtyřhranná osa se jeví jako vhodná volba, zapouzdřená varianta má výbornou životnost, nevykazuje sice v tuhosti ani nízké hmotnosti, to však nejsou stěžejní parametry pro tuto aplikaci. Další výhodou čtyřhranu je jednoduchost tvarového spoje oproti drážkovaným osám a vzhledem k rozšířenosti čtyřhranných os se jedná i o nejlevnější variantu.

Octalink je patentovaný systém firmou Shimano, proto nepřipadá v úvahu.

ISIS nepodléhá žádné licenci, má nižší trvanlivost než čtyřhran a je tvarově náročnější. Je však lehčí a tužší.

Byla zvolena čtyřhranná osa, protože splňuje všechny potřebné požadavky. Vyšší hmotnost a nižší tuhost nejsou tak významné faktory i proto, že větší vliv na celkovou tuhost a hmotnost kola má rám, a ocelový rám Favorit se neřadí mezi nejlehčí, ani nejtěžší.

Volba materiálu

S ohledem na zadání bude výběr omezen pouze na kovové materiály. Kompozitní uhlíková vlákna jsou nákladná na výrobu, neizotropní, protože mechanické vlastnosti závisí směru vrstvení vláken, a proto by se obtížně prováděla pevnostní analýza. Jeho výborné tuhostní vlastnosti a nízká hmotnost by se navíc minuly účinkem při použití u ocelového rámu s nízkou tuhostí a relativně vysokou hmotností.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.4, ačkoliv má ocel vyšší Youngův modul pružnosti než slitiny hliníku, mají komponenty z oceli poměr tuhost/hmotnost vždy horší než komponenty z hliníkových slitin. Z výkonnostního hlediska jde tedy o podřadný materiál, má však jiné

přednosti. Především má oblast trvalé pevnosti, takže při cyklickém zatěžování pod mezí únavy teoreticky nikdy nedojde k selhání, což samozřejmě kvůli imperfecím a nehomogenitě materiálu není možné. Při správném nadimenzování to však zaručí delší životnost než při použití hliníkové slitiny. Další výhodou je, že při únavovém selhání u oceli dojde spíše ke tvárnému lomu, zatímco hliník „nevaruje“ a při selhání dochází většinou k náhlému, křehkému lomu, což může být například při sprintu velmi nebezpečné.

Díky vysoké mezi pevnosti a mezi kluzu oceli (při použití kvalitní oceli) je možné kliky navrhnout štíhlejší než hliníkové, což by přispělo k retro vzhledu. V neprospěch oceli pak hraje její náchylnost ke korozi, té se však dá předejít vhodnou povrchovou úpravou, např. chromováním.

Jako materiál pro výrobu byla zvolena ocel. Podobně jako u volby středového složení byla dána přednost robustnosti a spolehlivosti před nízkou hmotností a tuhostí. Jako ochrana proti korozi bude použita povrchová úprava chromováním.

Konkrétní volba padla na chrom-molybdenovou ocel 15 130 (25CrMo4). Jde o nejpoužívanější ocel ve veloprůmyslu, proto byla od začátku hlavní kandidát. Po zjištění hlavních charakteristik z materiálového listu byla shledána jako vhodná, co se týče pevnosti a tvrdosti, navíc byla na skladě u dodavatele. Vhodnou alternativou by byla např. velmi podobná 15 142 (42CrMo4). Podle závěru z kapitoly dimenzování bude rozhodnuto, zda byla volba v pořádku, nebo je třeba zvolit jiný materiál.

Metoda výroby

Připadá v úvahu několik technologií výroby, např. kování, tlakové lití, obrábění nebo jejich kombinace.

Vzhledem k tomu, že se jedná o kusovou výrobu, tak kování, ani tlakové lití není vhodné kvůli náročnosti výroby zápustek nebo forem pro tyto operace. Z tohoto důvodu byla zvolena metoda obrábění, konkrétně CNC frézování.

Délka klik

Byla zvolena délka 171 mm na základě autorovy anatomie podle vztahu pro určení teoreticky ideální délky klik v závislosti na délce vnitřní nohy. [43] [44]

6.2 Požadavky pro kompatibilitu

Je třeba zajistit, aby šly kliky bezproblémově namontovat, sundat, aby byly kompatibilní s běžně dostupnými pedály a aby nedocházelo ke kolizím s jinými částmi kola, se zemí nebo s jezdcem při šlapání.

Závity

Pedály jízdního kola používají speciální palcové závity 9/16'' 20 TPI. 9/16'' značí průměr, 20 TPI (Threads per inch) značí počet závitů na palec. Na pravé klice je pravý závit, na levé je levý závit. To z toho důvodu, aby neměly pedály vlivem otáčení snahu se vyšroubovat. Při této konfiguraci se naopak dotahují. [45] Dle strojnických tabulek je doporučený průměr pro předvrtání díry cca 13 mm. [46]

Každá klika pak také musí mít vyřezaný závit M22x1 pro stahovák klik.

Tvar čtyřhranu

Kliky jsou navrhovány pro ISO variantu čtyřhranu. Tvar osy a protikusu kliky popisuje norma *ISO 6695:2015 Cycles-Pedal axle and crank assembly with square end fitting-Assembly dimensions*, nebo její česká alternativa ČSN ISO 6695: Jízdní kola. Montážní podskupiny. Spojení kliky a hřídele středového složení se čtyřhranem.

Norma popisuje toleranci úhlu sklonu hlavních ploch. Tu je třeba co nejpřesněji dodržet pro optimální dosednutí a tím správné rozložení sil na maximální plochu. [47] Norma však nepopisuje uložení kliky na osu dost detailně, a proto bylo provedeno měření osmi os a třech klik (viz příloha 7).

Z měření bylo vyvozeno několik závěrů.

1. Maximální rozměr kónické čtyřhranné díry na vnější straně kliky, aby nemohlo dojít k nasazení příliš hluboko na osu, což by mělo za následek dosednutí hlavy šroubu na čelo osy a tím pádem nemožnost utažení kliky. Tento rozměr byl zvolen 12,2 mm pro pravou a 12 mm pro levou kliku (podobně jako u klik Shimano Sora), rozdíl je kvůli nesymetrii čtyřhranných os, které jsou na straně pohonu o 2 mm delší, rozdíl v rozměrech otvorů pravé a levé klik 0,2 mm byl zjištěn u všech klik v měření. (příloha 7)
2. Dále byl určen největší možný rádius na hranách čtyřhranné díry. Kvůli správnému nasazení je nezbytné, aby rádius v díře byl menší než zkosení na ose. Z měření bylo zjištěno, že velikost zkosení u jednotlivých měřených os výrazně kolísala a jako bezpečný rádius, kompatibilní se všemi osami byl označen R1 (obr. 31).



Obr. 31: Rádius v čtyřhranné díře



Obr. 32: Roztečná kružnice převodníkových děr a kružnice kopírující dosedací plochy převodník

Smontovatelnost s převodníky

Také je potřeba zajistit kompatibilitu s komerčně dostupnými převodníky. Konkrétně byly zvoleny převodníky Shimano Sora 52/39, což je velké vylepšení s ohledem na rozsah převodů oproti původním převodníkům od Favoritu s počty zubů 52/46. Převodníky mají pět

převodníkových šroubů na roztečné kružnici 130 mm (obr. 32). Převodníkové šrouby pasují do děr o průměru 10 mm a je pro správné řazení a linii řetězu je potřeba mít mezi oběma převodníky 3,6 mm materiálu (viz příloha 1).

Prostor pro přesmykač

U klik s více převodníky, tedy s přesmykačem, je nutno dodržet volný prostor mezi vnitřkem kliky a vnějším převodníkem. U měřených klik se tato vzdálenost pohybovala mezi 12 mm a 16 mm. Navržené kliky mají vzdálenost mezi převodníkem a klikou 13 mm. Při zvolení příliš malého rozměru by docházelo ke kolizi přesmykače s klikou při šlapání.

Světlá výška pedálu

Světlá výška pedálu závisí na světlé výšce středového složení a na délce klik. Jelikož byla zvolena délka klik 171 mm, což spadá do intervalu délek klik, které jsou běžně dostupné, není třeba se jí příliš zabírat.

Při výrobě extrémně dlouhých klik (nad 180 mm) by bylo nutné světlou výšku pedálů spočítat a případně zvolit rám s větší světlou výškou středového složení, aby nedocházelo ke kontaktu klik s kameny nebo jinými překážkami při jízdě po nerovném terénu.

6.3 Požadavky na pevnost, únavu

Kliky jsou jedním z nejmávaných komponentů na jízdním kole, proto je důležité, aby byly správně navrženy a nadimenzovány. Neočekávané selhání klik může být velmi nebezpečné.

Než jsou kliky uvedeny na trh, podstupují únavové testy, ty jsou popsány v normě ISO 4210-8:2014 nebo v její české alternativě alternativa ČSN EN ISO 4210-8: Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na jízdní kola - Část 8: Zkušební metody pro systém pohonu a pedálů. Norma popisuje dvě zkoušky.

Test simulující šlapání

Kliky jsou upnuty na volně se otáčející osu a do pedálových závitů jsou zašroubovány čepy, které simulují osy pedálů. Na převodník se navleče řetěz, kliky se vychýlí do úhlu 45° vůči horizontále a řetěz se zafixuje pomocí držáku. Na čepy obou klik se střídavě působí silou F (její velikost je určena podle typu klik, které se testují, viz tabulka 2) ve vzdálenosti 65 mm od vnější stěny kliky (obr. 33). Směr síly na straně pohonu je dolů, na straně bez pohonu je nahoru. Test skončí po provedení C zkušebních cyklů (počet cyklů C je také určen typem klik, které se testují, viz tabulka 2). Maximální frekvence zatěžování je 10 Hz. [47]

Tabulka 2: Číselné informace z normy ČSN EN ISO 4210-8 [32]

Typ kola	Městská a trekingová	Kola pro mládež	Horská	Závodní silniční
Síla F [N]	1 300	1300	1800	1800
Počet cyklů	100 000	100 000	50 000	100 000



Obr. 33: Test simulující šlapání [48]

Test simulující sjezd po nerovném terénu

V tomto testu je konfigurace podobná jako v prvním testu. Kliky se vychýlí do úhlu 30° vůči horizontále, proti pohybu se však nezajistí pomocí řetězu, ale pomocí přípravku umístěného na straně bez pohonu, kterým se ve vzdálenosti 65 mm od vnější strany kliky zablokuje pohyb čepu. Na druhý čep se působí silou 1800 N ve vzdálenosti 65 mm od vnější strany kliky. Test končí po 50 000 cyklech. Maximální frekvence zatěžování je 10 Hz. Tento test je cílený na horská kola. [49]

7 NÁVRH KLIK – ČÁST DRUHÁ

V této části je řešen design a dimenzování klik.

Inspirace pro návrh

Cílem není pouze upgradovat typ uložení klik, ale i vylepšit jejich design. Původní ocelové kliky vyrobené firmou Favorit (obr. 35) jsou kované a na určitých místech frézované, jejich tvar je velmi jednoduchý, což je výhodné/nutné pro tyto technologie. Protože při tomto konkrétním řešení bude použita frézka s CNC technologií, projevila se při návrhu snaha o využití potenciálu této technologie a vytvoření esteticky líbivého designu. Jednou z hlavních inspirací byly klasické silniční kliky firmy Campagnolo, především ze sady Super Record nebo Record Strada, konkrétně jejich verze z období 70. let (obr. 34).



Obr. 34: Kliky Campagnolo Super Record ze 70. let [50]

Prvotní návrh

Na obrázku 36 je vyobrazen prvotní návrh vymodelovaný v softwaru Autodesk Inventor Professional 2017. Je patrná snaha autora o změnu celkového designu součásti oproti klice Favorit. Klica Favorit (obr. 35) však posloužila jako šablona co se týče rozměrů, neboť se jedná o tvar ověřený desetiletími používání. Tvar „osmičky“ byl tedy ponechán a na různých místech byl přidán materiál cca 1-2 mm. Na straně, kde se klica upíná ke středové ose bylo přidáno výrazně více, důvodem je větší průměr a tvarová složitost díry pro čtyřhrannou osu. Navržená klica má všechny rozměry stejné, nebo mírně větší než klica Favorit. Reflektuje to jednu z hlavních priorit autora, kterou je dlouhá životnost.

Dále byly přidána zaoblení, které na jednu stranu odebírají materiál, také však zmírňují koncentrátoři napětí a výrazně odlišují kliku od původní klice Favorit a vytváří esteticky příjemný dojem. Další estetický prvek klice je podlouhlá drážka na vnější straně (patrná na obr. 36). Ačkoliv by se dala označit jako odlehčovací drážka, vzhledem k její hloubce 1 mm je ušetřená hmotnost minimální (podle výpočtu v programu Autodesk Inventor Professional 2017 je rozdíl hmotnosti cca 6 g). Drážka vnáší do systému vrubový účinek se kterým je třeba počítat. I proto byly rozměry klice navýšeny oproti předloze.

V kapitole 7.3 - Dimenzování pomocí MKP bude zhodnoceno, jak je třeba prvotní návrh upravit, aby bylo dosaženo co nejvyšší bezpečnosti a spolehlivosti, případně zda by šla zlepšit tuhost či snížit hmotnost při zachování koeficientu bezpečnosti.



Obr. 35: Původní klika Favorit



Obr. 36: Prvotní návrh klik

7.1 Zadání pro pevnostní analýzu

Klika je při šlapání zatěžována na ohyb a na krut¹⁸, jde tedy o kombinované namáhání (obr. 41). Protože jde o dynamické zatěžování a cílem je navrhnout kliky na teoreticky trvalou životnost, bude hlavním kritériem při dimenzování bezpečnost vůči meznímu stavu únavy.

Jelikož autorovo jízdní kolo zapadá svým použitím mezi městská a trekingová kola, bude podle normy ČSN EN ISO 4210-8 při výpočtech použito zatížení 1300 N. [49] Pro zjednodušení bude zatížení od šlapání nahrazeno silou s harmonickým průběhem v míjivém cyklu. V diplomové práci „Návrh kompozitních klik bicyklu“ provedl autor ing. Stanislav Kubů experimentální měření sil působící na kliky pomocí tenzometrů, ze kterého vyplývá, že reálný průběh výslednice síly působící na kliku při šlapání má přibližně sinusový charakter. Maximum výslednice nastává

¹⁸ Normálová napjatost z tahu a tlaku vzniká při určitých fázích šlapání také, není však podstatná z hlediska bezpečnosti

přibližně při vychýlení klik o 45° vůči horizontále, což koresponduje se zatěžováním popsaným normou. [51]

V jeho diplomové práci byla měřena síla působící na kliky při různých výkonech jezdce, konkrétně 100, 200, 300, 400 a 500 W. Maximální síla, která byla zaznamenána při 500 W měla hodnotu 1069 N, což je menší síla než zatížení popsané normou. Jelikož je 500 W pro rekreačního cyklistu relativně velký výkon, lze konstatovat, že dimenzování bude na bezpečné straně a s určitou rezervou. [51]

Pro zvětšení rezervy a zjednodušení výpočtů bude navíc požadována trvalá pevnost při míjivém zatížení 1300 N. výpočet tedy bude proveden vůči mezi únavy. Jiné řešení by bylo použít Wöhlerovu křivku pro určení mezního napětí při 100 000 cyklech, pak by však byla potřeba zvolit návrhový součinitel, aby byl výpočet na bezpečné straně. Vzhledem k tomu, že od dodavatele materiálu není k dispozici Wöhlerova křivka pro ocel 25CrMo4, byla zvolena první varianta s výpočtem trvalé pevnosti.

Výpočet korigované meze únavy¹⁹

Tabulka 3: Mechanické vlastnosti oceli 25CrMo4 [34]

R_E [MPa]	600
R_M [MPa]	800 ²⁰

Pro výpočet nekorigované meze únavy bude použit vztah²¹ [52]:

$$\sigma_{Co} = 0,504 \cdot R_m \text{ [MPa]}. \quad (5)$$

Pro výpočet korigované meze únavy bude použit vztah [52]:

$$\sigma'_{Co} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot \sigma_{Co} \text{ [MPa]}. \quad (6)$$

Tabulka 4: Vypočítané koeficienty ovlivňující korigovanou mez únavy [52]:

Značka	Název	Hodnota
k_a	Součinitel vlivu jakosti povrchu	0,767
k_b	Součinitel vlivu velikosti tělesa	0,857
k_c	Součinitel vlivu způsobu zatěžování	1 ²²
k_d	Součinitel vlivu teploty	1
k_e	Součinitel spolehlivosti	0,814 ²³
k_f	Součinitel zahrnující další vlivy	1 ²⁴

$$\sigma'_{Co} = 0,767 \cdot 0,857 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 0,504 \cdot 800 = 215,7 \text{ MPa}$$

¹⁹ Podle učebnice Konstruování strojních součástí od autorů Shigley, Mischke, Budynas

²⁰ Minimální zaručená hodnota meze pevnosti

²¹ Podmínka $R_m \leq 1460 \text{ MPa}$ je splněna, proto lze tento vzorec použít

²² Podle učebnice Konstruování strojních součástí se pro kombinované namáhání zahrnující krut a jiný typ zatěžování používá $k_c=1$

²³ Je požadována spolehlivost 99%

²⁴ Další vlivy jako např. koroze nejsou zahrnuty ve výpočtu. Jako kompenzace byla zvolena vysoká spolehlivost a při návrhu byla většinou volena ta nejkonzervativnější varianta, proto by zanedbání vnějších vlivů nemělo být problém.

Výpočet bezpečnosti vůči meznímu stavu únavy

Pro výpočet bude použito eliptické ASME kritérium. Nejedná se ani o nejkonzervativnější ani o nejméně konzervativní kritérium. Bylo vybráno z důvodu jeho preference v učebnici „Konstruování strojních součástí“ a během výuky předmětu konstruování na FSI. Dalším argumentem je fakt, že během návrhu bylo použito několik konzervativních kroků. Kdyby byly vždy voleny ty nejkonzervativnější postupy, mohlo by dojít k přílišnému naddimenzování součástí.

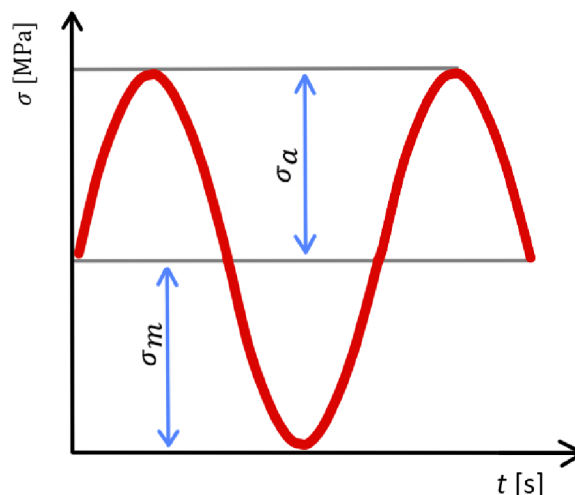
Součinitel bezpečnosti k meznímu stavu únavy podle kritéria ASME se spočítá [52]:

$$k_u = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{\sigma'_{Co}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{Re}\right)^2}}. \quad (7)$$

Protože je modelem zatěžování míjivý harmonický cyklus napětí, je $\sigma_a = \sigma_m$ (obr. 37).

Pro bezpečnost $k_u = 1$ odpovídá maximální hodnota $\sigma_a = \sigma_m \cong 200 \text{ MPa}$.

Protože je cílem navrhnout kliky na trvalou pevnost, bude povolené redukované napětí v pevnostní analýze pomocí metody konečných prvků maximálně 400 MPa.



Obr. 37: Míjivý cyklus napětí

Selhání klik v praxi

K selhání klik vlivem únavového lomu nebo při kolizi dochází nejčastěji v jednom ze tří míst: v okolí závitů pedálu (obr. 40), úzkém místě nad závitům pedálu, kde je největší smykové napětí (obr. 39), nebo v blízkosti díry pro osu, kde je největší ohybové napětí (obr. 38). Na tyto místa je třeba si dát při dimenzování největší pozor.²⁵

²⁵ Všechny kliky na obrázcích jsou ze slitiny hliníku, ten je charakteristický tím, že při únavovém lomu náhle selže, dojde ke křehkému lomu, u ocelových klik by k tak náhlému a potenciálně nebezpečnému selhání s největší pravděpodobností nedošlo

Oblast spideru nebude z hlediska dimenzování řešena, a to z několika důvodů. K jejímu selhání dochází velmi zřídka a budou zvoleny podobné rozměry, jako u spiderů ostatních ocelových klik. Některé kliky mají spidery pouze se třemi rameny, autorem navržené kliky mají ramen pět. Spider by tedy neměl představovat nebezpečné místo.



Obr. 38: Selhání kliky v oblasti největšího ohybového napětí, velkou roli hrál i vrub ve formě loga Stronglight [53]



Obr. 39: Selhání kliky v oblasti největšího smykového napětí [53]



Obr. 40: Selhání klik v oblasti pedálového závitu [53]

7.2 Dimenzování pomocí MKP

S ohledem na dříve zmíněné podmínky a s vědomím, kde kliky nejčastěji selhávají, bude provedeno dimenzování. to proběhne pomocí metody konečných prvků v studentské verzi programu ANSYS Workbench 17.2. Výsledky pak budou v rámci kontroly porovnány s pevnostní analýzou pomocí konečných prvků, kterou nabízí Autodesk Inventor Professional 2017.

Kvůli efektivitě metody konečných prvků je potřeba vytvořit zjednodušený model kliky. U tvarově složitých součástí je potřeba použít více konečných prvků, což zvyšuje časovou náročnost výpočtu.

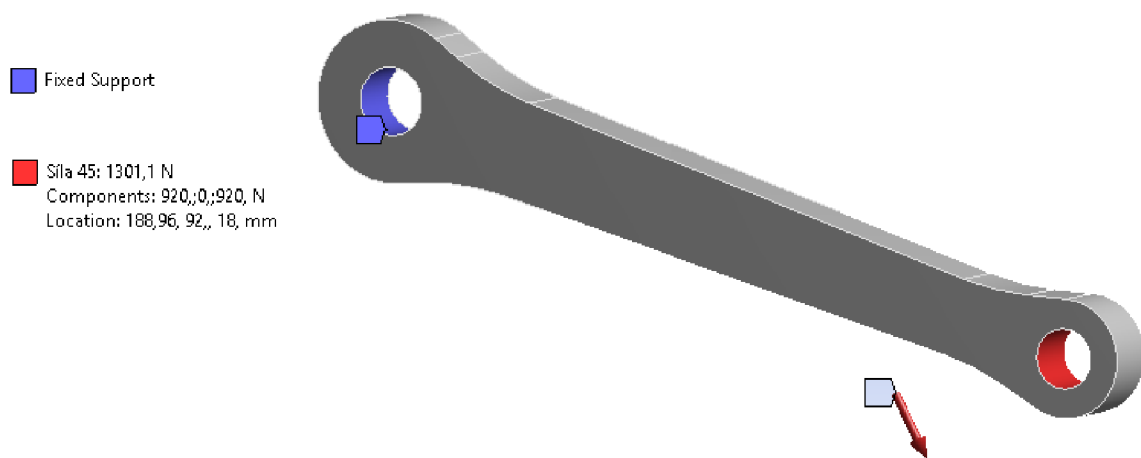
Cílem optimalizace je efektivnější rozdělení materiálu, případně mírné snížení hmotnosti při zachování koeficientu bezpečnosti.

Vytvoření modelu kliky

Model byl vytvořen v CAD programu integrovaném v ANSYSU, DesignModeler. Hlavní rozměry byly nastaveny jako proměnné parametry, aby bylo možné dimenze kliky jednoduše měnit.

Vytvoření modelu zatížení

Dále byly zvoleny okrajové podmínky, které korespondují s požadovaným zatížením. Otvor pro osu byl nastaven jako vetknutí (displacement) a na díru byla umístěna vzdálená síla (remote force) pod úhlem 45° o velikosti 1300 N na rameni 65 mm od vnější strany osy (obr. 41). Jde o stejnou konfiguraci jako popisuje norma ČSN EN ISO 4210-8. Elastická deformace osy pedálu se neuvažuje, tím je výrazně zrychlen výpočet a je tak simulováno použití mohutnějšího čepu, který se nedeformuje. Tím je výpočet na bezpečné straně, protože se neuvažují elastické deformace pedálové osy.



Obr. 41: Model zatížení v programu ANSYS Workbench 17.2

Průběh dimenzování

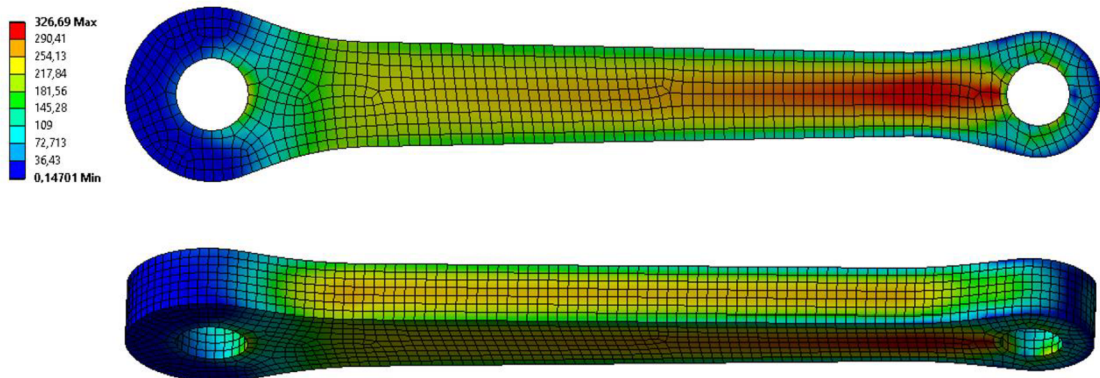
Byla vytvořena síť konečných prvků, použita byla metoda Multizone a elementy o rozměru 2,1 mm. To byla zároveň nejjemnější síť, kterou umožnila studentská verze programu vytvořit. Kvalita sítě byla zkontrolována pomocí parametru Skewness. Velká většina elementů měla hodnotu skewness pod 0,5, což podle elektronické příručky Ansys Help značí kvalitní síť [54]. Dostatečná jemnost sítě byla ověřena tím, že při dalším zjemňování nedocházelo k výrazným změnám vypočítaných napětí. Dále pak bylo třeba vzít v potaz Saint-Venantův princip, tím pádem nelze považovat napětí vypočtené bezprostředně u okrajových podmínek jako směrodatné. Během analýzy bylo kontrolováno, zda nedochází k singularitě, tedy k razantnímu nárůstu napětí na hranicích některých prvků.

Zjednodušený model byl podroben analýze, bylo vykresleno redukované napětí, normálové napětí a smyková napětí. V místech s nízkým napětím byly rozměry zmenšovány, v místech s vyšším napětím byl materiál naopak přidán.

Těchto iterací bylo provedeno cca 10 než se dosáhlo uspokojivého poměru ubraného/přidaného materiálu a napětí. Poté byla provedena analýza komplexnějších modelů, které věrněji popisují tvar kliky a bylo ověřeno, že i u nich nedosahuje maximální redukované napětí vyšší hodnoty, než 400 MPa (Příloha 6). Následně byla provedena kontrolní analýza v programu Autodesk

Inventor 2017, který také nabízí pevnostní analýzu pomocí metody konečných prvků. Protože se výsledky výrazně nelišily, bylo dimenzování shledáno jako úspěšné a správně provedené.

Na obr. 42 je vykresleno redukované napětí, při zatížení 1300 N z finálního, již optimalizovaného modelu. Maximální napětí je 326,69 MPa a je lokalizováno v blízkosti pedálového závitu²⁶. Po vykreslení jednotlivých složek napětí bylo zjištěno, že místa s největšími hodnotami napětí korespondují s předpoklady analýzy i s obrázky selhání klik v praxi. Podrobné výsledky z pevnostní analýzy jsou součástí přílohy 6.

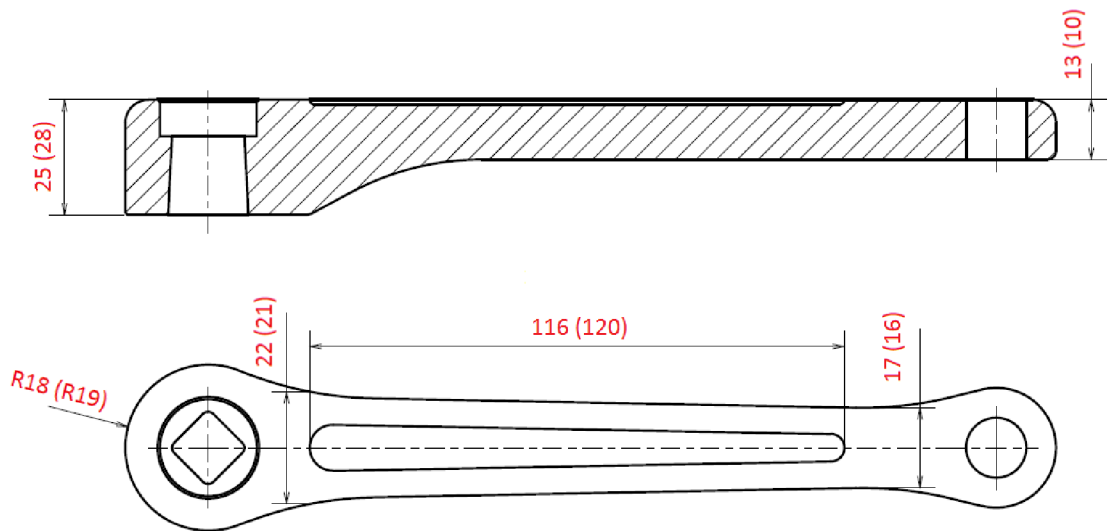


Obr. 42: Redukované napětí

Výsledky dimenzování

Podle očekávání dimenzování nepřineslo radikální změnu rozměrů, ani velkou úsporu hmotnosti, bylo však dosaženo lepšího rozložení napětí a maximální redukované napětí bylo výrazně sníženo v oblasti nejvyššího smykového napětí. Rozdíl hmotnosti obou klik po optimalizaci jsou dle výpočtu programu Inventor 3 g. Výsledky optimalizace jsou vyznačeny na obrázku 43.

²⁶ Ačkoliv analýza neukazuje vysoké napětí v oblasti závitu pedálu, rozhodně je s tímto místem nutno při návrhu počítat jako s rizikovým.



Obr. 43: Výsledky optimalizace, hodnota kóty v závorce je hodnota před dimenzování, hodnota před závorkou je optimalizovaná hodnota

7.3 Finální návrh

Na obrázku 44 je finální návrh geometrie pravé kliky upravený s ohledem na předchozí poznatky.



Obr. 44: Finální návrh klik

8 VÝROBA KLIK

Původním záměrem autora bylo vyrobit kliky ve školních obraběčských dílnách, to však kvůli časové náročnosti výroby a vytiženosti dílen nepřicházelo v úvahu.

Následně byly odeslány poptávky na výrobu do kovovýrobních firem v okolí Brna a Olomouce, vzhledem k tomu, že se jedná o sériovou výrobu však byly kalkulace cen mimo finanční možnosti autora.

Nakonec se autor domluvil s rodinným přítelem panem Jiřím Novákem ml., který se svým otcem podniká v obraběčství, konkrétně se zabývají frézováním. Výroba tedy bude uskutečněna v rámci ústní domluvy na 3-osé CNC frézce.

Z časových důvodů však výroba proběhne až po termínu odevzdání bakalářské práce, proto zde bude technologický postup rozebrán pouze teoreticky.

8.1 Technologické problémy

Před samotnou výrobou bylo potřeba vyřešit tři zásadní překážky s ohledem na technologičnost výroby: čtyřhrannou díru, spider a závity.

Čtyřhranná díra

Výroba čtyřhranné díry, přesněji řečeno díry ve tvaru komolého jehlanu, je značně problematická. V úvahu připadalo několik variant:

- protažení čtyřhranné díry, následně vytvoření zkosení na obrázečce vychýleným nástrojem,
- vyvrtání největší možné díry, následné vytvoření zkosení na obrázečce vychýleným nástrojem,
- vyfrézování díry stopkovou frézou.

Zvolena byla třetí možnost, vyfrézování díry stopkovou frézou. Hlavní důvody jsou zlepšení logistiky výroby, protože při tomto řešení není potřeba zajišťovat obrázení ve školních dílnách.

Na základě konzultace s panem Novákem, byla provedena modifikace čtyřhranné díry. Tou bylo zvolení rádiusu R1,5 místo R1 (obr. 31), důvodem je lepší dostupnost a nižší finanční náročnost frézy s průměrem 3 mm oproti fréze s průměrem 2 mm. [55]

Tím pádem však kliky nebudou kompatibilní se všemi čtyřhrannými osami na trhu. To lze akceptovat, protože bylo vybráno středové složení firmy Shimano, jehož osa dovoluje větší rádiusy než některé osy jiných výrobců. Na kompatibilitu však bude nutno myslet při případné výměně středového složení nebo instalaci klik na jiné kolo.

Spider

Dalším problémem, který potřeboval řešení, byla volba druhu spojení pravé kliky se spiderem. V úvahu připadaly dvě možnosti:

- dvoudílná pravá klika – spider bude vystřižen z plechu a ke klice trvale připevněn přes tvarový spoj a zalisování/olemování,
- jednodílná pravá klika-spider je integrovaný.

V první fázi navrhování byla považována za lepší řešení první varianta. Především kvůli velkému objemu odpadu při zvolení varianty s integrovaným spiderem. Byl navržen tvarový spoj pomocí osmihranu a následné ohrnutí přesahujícího nátrubku na lisu, čímž by se vytvořil lehce předepjatý spoj. Kroutící moment by však přenášely plochy osmihranného spoje.

S ohledem na náročnost výroby se při konzultaci s panem Novákem objevily argumenty proti tomuto řešení. V porovnání s variantou s integrovaným spiderem by bylo třeba použití více druhů jednoúčelových přípravků a bylo by třeba více upnutí. Výroba by tedy byla obtížnější z hlediska lidské práce, a i nákladnější kvůli většímu počtu přípravků. [55]

Jako finální tedy byla zvolena varianta s integrovaným spiderem (obr. 44), první varianta bude rozebrána v kapitole Diskuse.

Závity

Jak bylo zmíněno v kapitole 6.2, soustava klik bude obsahovat celkem 4 závity, dvakrát závit M22x1 pro stahovák klik, pravý závit 9/16'' 20 TPI pro pedál pravé kliky a levý závit 9/16'' 20 TPI pro pedál levé kliky.

Protože se jedná o závity, které se mimo cyklistiku příliš nepoužívají, je obtížné sehnat vhodné nástroje pro jejich výrobu. Navíc závit M22x1 je v takové poloze, že nelze použít obyčejný závitník a je nutné ho vyfrézovat.

Řezání závitů bude provedeno specializovaným cykloservisem.

8.2 Postup Výroby

V příloze 1 a 2 se nacházejí výrobní výkresy. Seznam použitých nástrojů a technologické postupy jsou součástí 3,4 a 5.

Výroba pravé kliky

Prvním krokem je upnutí polotovaru do strojního svěráku. Následuje hrubování vnější kontury a spideru, poté vyvrtání děr pro převodníkové šrouby a dvou děr pro kolíky na místech, kde bude závitová díra pedálu a díra pro středovou osu. Dalším krokem je dokončení kontury a spideru včetně odlehčovacích drážek a plošek pro dosedání převodníku. Poté se součást zakolíkuje, čímž se zaručí její stálá poloha během celého procesu obrábění. Následně se povolí svěrák a součást se obrátí, nasadí se na kolíky z druhé strany a upne pomocí upínek na straně středové osy. Hrubuje se část kliky u pedálového závitu, následně se tato část dokončuje. Klika se upne pomocí upínek na zrovna obrobené části a obrábí se část se spiderem, napřed se hrubuje, poté dokončuje. Pedálová díra se převrtá na finální průměr. Posledním krokem je obrobení čtyřhranné díry. To proběhne čepovou frézou o průměru 3 mm.

Výroba levé kliky

Prvním krokem je upnutí polotovaru do strojního svěráku. Následuje hrubování vnější kontury. Poté se vyvrtají dvě díry pro kolíky, ty jsou na místech, kde bude závitová díra pedálu a díra pro středovou osu. Dalším krokem je dokončení kontury včetně odlehčovací drážky. Poté se součást zakolíkuje, čímž se zaručí její stálá poloha během celého procesu obrábění. Následně se povolí svěrák a součást se obrátí. Nasadí se na kolíky a upne pomocí upínek na stranu středové osy. Hrubuje se část kliky u pedálového závitu, následně se tato část dokončuje. Kliku se upne pomocí upínek na zrovna obrobené části a obrábí se část u středové osy, napřed se hrubuje, poté dokončuje. Pedálová díra se převrtá na finální rozměr. Posledním krokem je obrobení čtyřhranné díry. To proběhne čepovou frézou o průměru 3 mm.

Další kroky výroby

- řezání závitů-jak je zmíněno v předchozí kapitole proběhne ve specializovaném cykloservise,
- chromování a kalení-po vyrobení klik bude zhodnoceno, jestli budou tyto operace vhodné/nutné z funkčního a finančního hlediska, případně proběhnou formou zakázky.

8.3 Technicko Ekonomické zhodnocení

Vzhledem k tomu, že se jedná o kusovou výrobu, je výroba klik velice nákladná. Sedm z oslovených kovovýrobních firem poslalo cenové kalkulace. Ty se pohybovaly od 4500 Kč do 22 000 Kč za pár klik, přičemž tyto dvě nabídky výrazně vybočovaly, zbylých 5 nabídek se pohybovalo okolo 10 000 Kč za dvě kliky. Nutno podotknout, že se jednalo o zjednodušené verze klik bez čtyřhranných děr, závitů a bez spideru. Celková cena by se tak mohla pohybovat okolo 15 000 Kč, což se u klik pro rekreační cyklistiku naprosto míjí účinkem. Na druhou stranu jsou ceny pochopitelné, protože se jedná o kusovou výrobu. Nebýt dohody s panem Novákem, nebyla by výroba z finančních důvodů možná. Náklady na materiál budou cca 1000 Kč, osatní náklady budou zhodnoceny po samotné výrobě.

Sériová výroba by náklady na jeden kus výrazně snížila, bude rozebrána v kapitole diskuse.

9 DISKUSE

V této kapitole budou zmíněny modifikace, odlišnosti a jiné přístupy k řešení, které nebyly ve finále použity, nebo by byly vhodné při odlišném zadání. Konkrétně při sériové výrobě nebo zaměření na výkonnostní cyklistiku.

9.1 Alternativní vyřešení spideru

Varianta dvoudílné pravé kliky

V této variantě nejsou spider a klika vyrobeny z jednoho kusu (obr. 45). Pravá klika má osmihranné osazení, na které se s přesahem nasadí spider, montáž se provádí pomocí lisu. Následně se pomocí lisovacího přípravku ohrne nátrubek, který přečnává po montáži, tím se vytvoří malé předepjetí a vznikne trvalý spoj (obr. 46).

Výhodou tohoto řešení je menší odpad při výrobě pravé kliky.



Obr. 45: Dvoudílná varianta pravé kliky



Obr. 46: O zajištění spideru by se postaral zalisovaný/roztemovaný přesahujícího nátrubek, podobně je to řešeno u kliky Favorit

Nevýhodou je náročnost na výrobu. Pro správnou funkčnost tvarového spoje jsou totiž důležité výrobní tolerance a upínání obrobků je problematictější. Pro spolehlivé upnutí hvězdice by byla potřeba jednocelové přípravky, proto by se tato varianta více hodila pro sériovou výrobu. Problematika s upnutím spideru by se dala vyřešit zjednodušením jeho tvaru. Při zjednodušení na nutné minimum bylo možné spider vyrobit jako výstřižek z plechu.

Možnost výměny spideru

Volba dvoudílné pravé kliky by vytvořila zajímavou příležitost. Vyměnitelné převodníky sice umožňují změnu rozsahu převodů, avšak jen v omezené míře. Pro velikost roztečné kružnice převodníkových šroubů (BCD) 130 mm je nejmenší možný počet zubů na malém převodníku 39. Trendem jsou však tzv. kompaktní kliky a převodníky. To je označení pro kliky se spiderem s BCD 110 mm. Na kompaktní kliky je možné nasadit menší převodník o minimálním počtu zubů 34.

Bylo by tedy možné vyrábět jeden druh klik a dva druhy spiderů, což by výrazně rozšířilo použitelnost klik. Ještě větším vylepšením by pak byla výměna zajištění převodníků slisováním za pojistnou matku. Tím pádem by zákazník mohl používat jedny kliky s dvěma druhy spideru. Tento přístup lze pozorovat u některých high-end horských klik, nicméně pro silniční kola se příliš nevyužívá.

9.2 Sériová výroba

Použití odlitku/výkovku jako polotovaru

Při sériové výrobě jsou mnohem větší nároky na ekonomičnost výroby, především proto, že náklady na výrobu jednoho kusu se znásobí počtem kusů v sérii. Proto by byla nepřijatelná výroba z hranolového polotovaru. Vhodná alternativa by bylo použití výkovku nebo odlitku jako polotovaru. Konkrétně by připadala v úvahu technologie tlakového lití. Tím by došlo k výraznému snížení odebíraného materiálu a některé nefunkční plochy by mohly být ponechány neobroběny. Tím by se šetřily nástroje, materiál i strojní čas.

Odlišný přístup k dimenzování

Ze stejných důvodů jako jsou uvedeny v předchozím bodu by bylo vhodné přehodnotit podmínky pro dimenzování. Finální návrh pro kusovou výrobu byl dimenzován s ohledem na to, že není možné provést žádné reálné zatěžovací nebo únavové testy, proto byl zvolen opatrnější postup s vědomím možného naddimenzování. Při sériové výrobě by to mělo za následek zvýšení ceny klik a vyšší hmotnost by je činila pro zákazníky méně atraktivní.

Bylo by možné provést únavové testy na testovacích vzorcích, tím ověřit teoretický výpočet a případně snížit hmotnost součástí při zachování dostatečné pevnosti. Tím by došlo ke snížení hmotnosti klik i nákladů na výrobu.

Vyřešení spideru při sériové výrobě

Pro sériovou výrobu má tento problém dvě možná řešení:

- Zachování integrovaného spideru a úprava modelu, aby bylo možné součást vyrobít tlakovým litím. Konkrétně změna tvaru pro usnadnění zatékání tekutého kovu.
- Použití dvoudílného řešení pravé kliky se spiderem. Při tomto řešení by bylo možné použít díky jednoduchosti tvaru výkovek jako polotovar pro kliku a výstřižek jako polotovar pro spider. Ty by byly následně spojeny tvarovým spojem (varianta dvoudílné pravé kliky).

9.3 Cílení na výkonnostní cyklistiku

Kliky byly navrženy s ohledem na rekreační cyklistiku a s cílem o dosažení „retro“ vzhledu. Při zaměření na výkonnostní a závodní cyklistiku by byl třeba zcela jiný přístup. Především by bylo nutné zvolit jiný materiál. Jak je popsáno v kapitole 3.4, ocelové komponenty budou vždy těžší a méně tuhé než ty hliníkové. Proto jsou ocelové kliky pro závodní použití zcela nevhodné.

Jako nejekonomičtější varianta by připadala v úvahu slitina hliníku, který ačkoliv nepatří mezi nejmodernější materiály, má stále místo i v profesionální cyklistice. Další možností by byl titan. S těmito dvěma kovy by se také dalo dosáhnout klasického stříbrného vzhledu.

Nejvíce high-tech řešením by bylo použití kompozitního materiálu. Návrhem kompozitních klik se zabývá ve své diplomové práci ing. Kubů. [51]

Je však nutné podotknout, že bez možnosti reálného testování by bylo velmi obtížné kliky optimálně nadimenzovat. Snaha o co nejnížší hmotnost by se mohla projevit nedostatečnou pevností, proto by bylo vhodné skloubit cílení na výkonnostní cyklistiku se sériovou výrobou.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce přináší přehled a srovnání jednotlivých typů středových složení a může pomoci s rozhodováním, jaké středové složení je pro konkrétní cyklistickou disciplínu vhodné. Také ji lze použít jako inspiraci nebo návod pro čtenáře, kteří by chtěli navrhnout vlastní kliky.

V rámci rešerše byly v kapitole 3 porovnány tři nejčastěji používané materiály ve veloprůmyslu. Ocel je v dnešní době vhodná především na rámy kol pro jezdce, jejichž prioritou je pohodlná jízda a maximální přenos výkonu pro ně není rozhodující. Slitiny hliníku jsou nejrozšířenější materiál ve veloprůmyslu. Používají se na téměř všechny typy komponentů a většinou představuje cenově nejpriznivější variantu s poměrně dobrými výkonnostními vlastnostmi. Nejmodernějším materiálem je karbon, kompozit z uhlíkových vláken. Kromě výborných mechanických vlastností je neizotropní, což dává konstruktérům nepřeberné možnosti při navrhování součástek s optimální kombinací tuhosti a pružnosti.

Z rešerše také vyplynulo, že snaha o co nejnižší hmotnost a co nejvyšší tuhost často přináší kompromisy ve formě nižší životnosti. To lze pozorovat např. na vývoji středových složení, kterými se zabývá kapitola 4. Ačkoliv už čtyřhranné středové složení přes 20 let nepatří na technologickou špičku, vykazuje ze všech středových složení nejvyšší životnost. Jeho hmotnost a tuhost je však výrazně nižší oproti moderním systémům s integrovanou osou. Je tedy na jezdci, aby zvážil, jestli upřednostní ušetření pár set gramů a několika wattů a sáhne po moderním středovém složení s dutou osou, nebo zvolí cestu delší životnosti, kde jasně dominuje čtyřhran.

V praktické části bylo cílem navržení klik pro rekreační cyklistiku s retro estetikou. Byly navrženy ocelové kliky pro čtyřhrannou, designově se autor inspiroval mimo jiné klikami Campagnolo Super Record ze 70. let. Při návrhu byl brán ohled na zaručení kompatibility se všemi ostatními částmi kola, a na dimenzování na základě normy popisující testování klik dynamickou únavovou zkouškou (kapitoly 6 a 7). Kliky byly navrženy pro kusovou výrobu.

Vzhledem k tomu, že výroba komerční cestou byla mimo finanční možnosti autora, neproběhla výroba klik v rámci bakalářské práce, nicméně technologický postup pro kusovou výrobu je v kapitole 8 a 9 teoreticky popsán.²⁷

V rámci diskuse (kapitola 10) bylo konstatováno, že ekonomičnost by se výrazně zvýšila při použití sériové výroby. Jsou zmíněny modifikace, které by byly pro použití v sériové výrobě vhodné, nebo i nutné. Co se týče atraktivity na trhu, byly by tyto kliky zajímavé pro úzkou skupinu zákazníků, především kvůli jejich vysoké hmotnosti, nízké tuhosti a potenciálně i vyšší ceně, než nabízí masová výroba konkurence.

Součástí diskuse jsou i možná řešení, které autor během návrhu nezvolil, ale v jiných situacích by byly výhodné, např. jsou zmíněny změny, které by byly nutné při cílení na výkonnostní cyklistiku.

Možné rozšíření práce by bylo testování klik v terénu po eventuálně dokončené výrobě. Především by byl pozorován stav klik po najetí určitého množství kilometrů a byly by hodnoceny pocitové dojmy z jízdy. Při sériové výrobě by bylo možné provést únavovou zkoušku, která by byla porovnána s analýzou pomocí MKP a kliky by mohly být komplexněji dimenzovány.

²⁷ Jak je zmíněno v kapitole 8, proběhne kusová výroba dodatečně na základě ústní domluvy s rodinným přítelem autora v době po odevzdání bakalářské práce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BOHÁČ, Jaroslav a Bedřich KAREIS. *Jízdní kolo*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. Polytechnická knihovna (SNTL). ISBN 800300070X.
- [2] BARONI, Francesco. *Bicykl: historie, mýty, posedlost*. 1. vyd. Čestlice: Rebo, 2011. ISBN 9788025504598.
- [3] MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA LEONARDO DA VINCI, Milano.,. Velocipede. In: *Museoscienza.org* [online]. b.r. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.museoscienza.org/dipartimenti/catalogo_collezioni/schedaoggetto.asp?idk_in=ST120-00305
- [4] *Young velocipedist on Michaux velocipede* [online]. In: . časopis Le Centaure magazine (Paris), vydání září 1868, b.r. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Michauxjun.jpg>
- [5] BALLANTINE, Richard a Richard GRANT. *Velká kniha o bicyklech*. 1. vyd. Přeložil Luděk J. DOBRORUKA, přeložil Hana RIPKOVÁ. Bratislava: Gemini, 1993. ISBN 8071610119.
- [6] NEZNÁMÝ AUTOR, . *Penny-farthing* [online]. In: . 1867 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Michauline.jpg>
- [7] NEZNÁMÝ AUTOR, . *A Whippet safety bicycle now in the collections of the Science Museum (London) as copied from their ObjectWiki* [online]. In: . Kolo na obrázku pochází ze Science Museum, London, b.r. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Whippet_Safety_Bicycle.jpg
- [8] OFFICINE SFERA, . PEP Magni (mid 1980s): obrázek celého kola. In: *Flickr* [online]. 2015 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/officinesfera/18416858739/>
- [9] OFFICINE SFERA, . PEP Magni (mid 1980s): detail. In: *Flickr* [online]. 2015 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/officinesfera/18392696170/>
- [10] HEINE, Jan. History of Aluminum Cranks. In: *Off The Beaten Path* [online]. 2011 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://janheine.wordpress.com/2011/09/07/history-of-aluminum-cranks/>
- [11] BENEDICT, Tyler. First Look: 2010 Orbea Rallon – 150mm Travel Lightweight Enduro Mountain Bike. In: *Bike Rumour!* [online]. 2010 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.bikerumor.com/2010/03/28/first-look-2010-orbea-rallon-150mm-travel-lightweight-enduro-mountain-bike/>
- [12] MOTL, Daniel. *MATERIÁLY PRO ATYPICKÉ KONSTRUKCE RÁMŮ JÍZDNÍCH KOL*. Brno, 2015. Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce KAREL NĚMEC.

- [13] GLOBAL CYCLING NETWORK, . 7 Things You Didn't Know About Carbon Fiber. In: *YouTube* [online]. Play Sports Network, 2016 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=d-hzgl4JK2k>
- [14] ŠÁLY, Peter. *VOLBA MATERIÁLU PRO RÁMY JÍZDNÍCH KOL*. Brno, 2009. Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Karel Němec.
- [15] GLORY CYCLES, . Pinarello Dogma F8. In: *Flickr* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/glorycycles/33103379391/in/album-72157680900214906/>
- [16] GLORY CYCLES, . SRAM Red 2012 GXP Crank. In: *Flickr* [online]. 2012 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/glorycycles/6876657580/>
- [17] VRBKA, Jan. *PRUZNOST A PEVNOST I: Učební text* [online]. Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, 2012 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: e-learning 4PP
- [18] 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 9788025459263.
- [19] BARRY, Mike. Aluminum and steel cranks. In: *Bicycle specialities* [online]. 2009 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://bicyclespecialties.blogspot.cz/2009/03/aluminum-and-steel-crank.html>
- [20] BROWN, Sheldon a John ALLEN. Cotttered Cranks. In: *SheldonBrown.com* [online]. 2008 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.sheldonbrown.com/tooltips/cotters.html>
- [21] BROWN, Sheldon. Tool Tips: Cotttered Cranks. In: *SheldonBrown.com* [online]. 2007 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.sheldonbrown.com/tooltips/cotters.html>
- [22] STONE, Hilary. CLASSIC CORNER: Bottom Brackets. In: *HilaryStone.com* [online]. 2011 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.hilarystone.com/CCbbs.html>
- [23] ČSN EN ISO 4210-8 (309000) *Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na jízdní kola - Část 8: Zkušební metody pro systém pohonu a pedálů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [24] BROWN, Sheldon a John ALLEN. Square Taper Bottom Bracket Interchangeability. In: *SheldonBrown.com* [online]. 1998 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.sheldonbrown.com/bbtaper.html>
- [25] ALLEN, John. Tool Tips Choosing and installing a cartridge bottom bracket. In: *SheldonBrown.com* [online]. 2012 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.sheldonbrown.com/tooltips/cartridge.html>
- [26] WILKEN, Nola. A Brief History of Splined Cranks and Spindles. In: *Restoring Vintage Bicycles from the Hand Built Era* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z:

<https://restoringvintagebicycles.com/2017/03/14/a-brief-history-of-splined-cranks-and-spindles/>

- [27] HAINE, Jan. ISIS Bottom Brackets. In: *Off The Beaten Path* [online]. 2014 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://janheine.wordpress.com/2014/11/05/isis-bottom-brackets/>
- [28] The International Spline Interface Standard. In: *Isisdrive.com* [online]. 2001 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: http://www.isisdrive.com/isisdrive/ISIS_Drive_Standard_Document_revD.pdf
- [29] BROWN, Sheldon. Sheldon Brown's Threaded Bicycle Bottom Bracket Crib Sheet. In: *SheldonBrown.com* [online]. 2008 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.sheldonbrown.com/cribsheet-bottombrackets.html>
- [30] BIKEMAN.COM, . *Bottom Bracket Types* [online]. In: . 2008 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.bikeman.com/bicycle-repair-tech-info/bikeman-tech-info/1599-bottom-bracket-types?showall=1>
- [31] BROWN, Sheldon. Bicycle Glossary. In: *SheldonBrown.com* [online]. 2007 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.sheldonbrown.com/glossary.html>
- [32] GLOBAL CYCLING NETWORK, . How To Change Your Chainrings and Cranks - GCN's Bike Maintenance Series. In: *YouTube* [online]. Play Sports Network, 2013 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=RZm2ch5TjWM>
- [33] SHIMANO, . *Shimano Product Website: 2017-2018 Product Information* [online]. In: . 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://productinfo.shimano.com/#/>
- [34] GLORY CYCLES, . SRAM Red 2012 GXP Bottom Bracket. In: *Flickr* [online]. 2012 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/29558127@N06/6876657936>
- [35] WHITE, Edmund. Cranked. In: *Flickr* [online]. 2010 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/ewwhite/4878940889/in/album-72157624695700922/>
- [36] HUANG, James. Complete guide to bottom brackets. In: *Bike Radar* [online]. 2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.bikeradar.com/gear/article/complete-guide-to-bottom-brackets-36660/>
- [37] WOODOCK, Christian. Which BB? A beginner's guide to Bottom Brackets. In: *Bike Road* [online]. 2013 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.bikeroar.com/tips/which-bb-a-beginners-guide-to-bottom-brackets>
- [38] KAZIMER, Mike. To The Point: Understanding Bottom Brackets. In: *Pinkbike* [online]. 2014 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <https://www.pinkbike.com/news/to-the-point-bottom-brackets-2014.html>
- [39] HUANG, James. AngryAsian: The ultimate creaky bottom bracket fix. In: *Bike Radar* [online]. 2014 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z:

<http://www.bikeradar.com/road/gear/article/angryasian-the-ultimate-creaky-bottom-bracket-fix-42884/>

- [40] Bottom bracket standarts. *Problem Solvers* [online]. b.r. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: http://problemsolversbike.com/files/tech/Bottom_Bracket_Standards_Reference.pdf
- [41] COWIE, Nick. FM066SL BB30 details. In: *Flickr* [online]. 2012 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/nickobec/7801508330/>
- [42] KELLISON, Erik. Cannondale Carbon 175mm Crankset BB30 02. In: *Flickr* [online]. 2008 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/erikkellison/3142116621/>
- [43] HOGG, Steve. Crank lenght - Which one ?. In: *Steve Hogg Aproved* [online]. 2011 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <https://www.stevhoggbikefitting.com/bikefit/2011/06/crank-length-which-one/>
- [44] GLOBAL CYCLING NETWORK, . How To Choose The Correct Crank Length – The Most Important Bike Adjustment You've Never Made?. In: *YouTube* [online]. Play Sports Network, 2016 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=vUygkHlcVMQ>
- [45] BROWN, Sheldon a John ALLEN. Bicycle Pedals. In: *SheldonBrown.com* [online]. 2011 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.sheldonbrown.com/pedals.html>
- [46] Tap Drill & Thread Height Chart. *Harvey Tool* [online]. b.r. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: http://www.harveytool.com/secure/Content/Documents/Tap_Drill_Chart.pdf
- [47] ČSN ISO 6695. *Jízdní kola. Montážní podskupiny. Spojení kliky a hřídele středového složení se čtyřhranem*. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1992.
- [48] HOPE TECHNOLOGY, . Hope Cranks Behind the Scenes HD. In: *YouTube* [online]. 2015 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=O2adgG371_I&t=366s
- [49] ČSN EN ISO 4210-8. *Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na jízdní kola - Část 8: Zkušební metody pro systém pohonu a pedálů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [50] GLORY CYCLES, . Campagnolo Super Record Crank. In: *Flickr* [online]. 2006 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/glorycycles/5259852494/in/album-72157626813736064/>
- [51] KUBŮ, Stanislav. *Návrh kompozitní kliky bicyklu* [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/66180>. Diplomová. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Strojní. Vedoucí práce Milan Růžička.

- [52] SHIGLEY, Joseph, Charles MISCHKE a Richard BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.
- [53] HJERTBERG, Ric. Broken Bicycle Cranks. In: *Pardo.net: Broken Bike Bits* [online]. b.r. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.pardo.net/bike/pic/fail-001/FAIL-001.html>
- [54] *ANSYS Help Viewer*. Dostupné z prostředí programu ANSYS Workbench 17.2, b.r.
- [55] *Ústní a e-mailové konzultace s panem Jiřím Novákem ml.* 2017.
- [56] *Carbide: Oficiální stránky společnosti Carbide* [online]. 2011 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.carbide.cz/>
- [57] WNT, . Katalog - čepové frézy - tvar ZYA. In: *WNT.com* [online]. 2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/category/Hlavn%C3%AD%20katalog/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/Monolitn%C3%AD%20TK%20fr%C3%A9zy/Speci%C3%A1ln%C3%ADch%20fr%C3%A9z/%C4%8Cepov%C3%A1%20fr%C3%A9za/Tvar%20ZYA>

Seznam cyklistických pojmů

název	popis
anglický závit	palcový závit 1,37'' x 24 TPI pro středová složení
BCD	bolt circle diameter-roztečná kružnice převodníkových šroubů
BMX	cykl. disciplína, zahrnuje triky na malém kole s jedním převodem
Čtyřhranná osa	typ středového složení s čtyřhrannou osou
délka klik	vzdálenost středové a pedálové osy
downhill	sjezd na horském kole
dvoudílné kliky	kliky s integrovanou osou
Hollowtech II	duté kliky s integrovanou osou, Shimano
ISIS	typ středového složení s drážkami
kazeta	soubor pastorků na zadním kole
klínková osa	středové složení, které používá klínky pro přenos kroutícího momentu
monokokový rám	karbonový rám vyrobený v jedné formě bez využití spojek
MTB	horské kolo
mufny	spojovací prvky ocelových rámu
Octalink	typ středového složení s drážkami firmy Shimano
press-fit, direct-fit	lisované středové složení, mezi nejčastější zástupce patří BB30 nebo PF30
převodník	řetězové kolo připevněné k převodníkům
sedlovka	sedlová trubka
seřiditelné střed. slož.	středové složení staršího typu s ložiskovými miskami
spider	část kliky hvězdicového tvaru, která nese převodníky
stahovák klik	nástroj pro sundávání klik z osy
středová osa	osa, na které jsou připevněny kliky

středové složení	část bicyklu umožňující rotaci středové osy
středový domek	pouzdro v rámu, do kterého se montuje středové složení
šroubovací střed. slož.	velká skupina středových složení, patří sem např. klínkové, čtyřhranné, Octalink nebo Hollowtech II
velociped	slovo nadřazené bicyklu, vozidlo poháněné lidskou silou
veloprůmysl	průmysl zaměřený na cyklistické vybavení
zapouzdřené střed. slož.	středové složení se zapouzdřenými ložisky, středové složení je součástí uzavřeného cartridge

Seznam zkratk a technických pojmů

Název/zkratka	popis
CAD	Computer-Aided Design, počítačem podporované projektování
CNC	Computer Numerical Control, počítačem řízený obráběcí stroj
hydroforming	tváření pomocí kapaliny pod tlakem
izotropie	nezávislost na směru, izotropní látka má ve všech směrech stejné vlastnosti
karbon	kompozitní materiál z uhlíkových vláken
koeficient bezpečnosti	poměr mezního a provozního stavu
kompozit	nehomogenní materiál složený z dvou a více složek
MKP	metoda konečných prvků
redukované napětí	fiktivní jednoosé napětí, které způsobí stejný koeficient bezpečnosti jako ekvivalentní kombinované namáhání
Saint-Venantův princip	při nahrazení zatížení silou je napjatost v tělese stejná s výjimkou okolí působíště síly
singularita	špičková hodnota napětí při MKP, při zjemňování sítě roste v místě singularity napětí k nekonečnu
tenzometr	elektronická součástka pro měření napětí
TIG	svařování netavící elektrodou v ochranné atmosféře
tlakové lití	způsob přesného lití, kdy se forma plní taveninou pod vysokým tlakem
Wohlerova křivka	charakteristika únavy materiálu, závislost napětí na počtu cyklů

Seznam použitých veličin

značka	Popis	jednotka
J	osový kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
w	průhyb	[mm ⁴]
F	síla	[N]
W	energie napjatosti	[J]
M	ohybový moment	[N·m]
l	délka	[mm]
d	průměr	[mm]
r	poloměr	[mm]
S	ohybová tuhost	[GPa·mm ⁴]
ρ	hustota	[kg·m ⁻³]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
σ_{Co}	mez únavy	[MPa]
σ'_{Co}	korigovaná mez únavy	[MPa]
k_a	součinitel vlivu jakosti povrchu	[-]
k_b	součinitel vlivu velikosti tělesa	[-]
k_c	součinitel vlivu způsobu zatěžení	[-]
k_d	součinitel vlivu teploty	[-]
k_e	součinitel spolehlivosti	[-]
k_f	součinitel zahrnující další vlivy	[-]
σ_a	amplituda napětí	[MPa]
σ_m	střední hodnota napětí	[MPa]
$k_{\dot{u}}$	koeficient bezpečnosti vůči mezi únavy	[-]

Seznam použitých obrázků

Obr. 1: Repasované silniční kolo Favorit	7
Obr. 2: Klika značky Mighty pro silniční kolo.....	8
Obr. 3: Draisina [3]	10
Obr. 4: „Mišódka“ [4]	9
Obr. 5: Vysoké kolo [6]	9
Obr. 6: Bezpečné kolo značky Whippet [7]	10
Obr. 7: Kolo italské značky PEP Magli na ocelovém rámu [8]	12
Obr. 8: Detailní pohled na spojení trubek pomocí mufní [9]	12
Obr. 9: Rám Rock Machine svařený technologií TIG	13
Obr. 10: Rám Orbea Rallon z trubek tvářených technologií hydroform [11]	13
Obr. 11: monokokový rám Pinarello Dogma F8 [15]	14
Obr. 12: karbonové kliky SRAM Red [16]	14
Obr. 13: Porovnání klik ze slitiny hliníku a klik z oceli	15
Obr. 14: Seřiditelné středové složení, typické pro klínkové osy a starší čtyřhranné osy	17
Obr. 15: Zapouzdřené středové složení, běžné pro dnešní čtyřhranné os	17
Obr. 16: Klínek [20]	18
Obr. 17: Klínková středová osa pro seřiditelné středové složení [22]	18
Obr. 18: Zapouzdřené středové složení Shimano s čtyřhrannou osou [25]	20
Obr. 19: Řez klikou nasazenou na čtyřhranné ose [24]	20
Obr. 20: Octalink v1 [30]	22
Obr. 21: Octalink v2 [30]	22
Obr. 22: ISIS [30]	22
Obr. 23: Středové složení s externími ložisky pro dutou integrovanou osu	22
Obr. 24: Středové složení SRAM Red GXP [34]	23
Obr. 25: Kliky s integrovanou osou značky SRM s wattmetrem [35]	23
Obr. 26: Schéma středového složení direct-fit	25
Obr. 27: Schéma středového složení pres-fit	25
Obr. 28: Středový domek pro středové složení BB30 [41]	26
Obr. 29: Karbonové kliky Cannondale pro středové složení BB30 [42]	26
Obr. 30: Část kliky označována jako spider	28
Obr. 31: Rádus v čtyřhranné díře	31
Obr. 32: Rozteč. kružnice převodník. děr a kružnice kopírující dosedací plochy převodník	31
Obr. 33: Test simulující šlapání [48]	33
Obr. 34: Kliky Campagnolo Super Record ze 70. let [50]	34

Obr. 35: Původní klika Favorit	35
Obr. 36: Prvotní návrh klik	35
Obr. 38: Selhání kliky v oblasti největšího ohybového napětí [53].....	38
Obr. 39: Selhání kliky v oblasti největšího smykového napětí [53].....	38
Obr. 40: Selhání klik v oblasti pedálového závitu [53]	38
Obr. 41: Model zatížení v programu ANSYS Workbench 17.2	39
Obr. 42: Redukované napětí	40
Obr. 43: Výsledky optimalizace	41
Obr. 44: Finální návrh klik	41
Obr. 45: Dvojdílná varianta pravé kliky	45
Obr. 46: Zajištění spideru zalisováním u kliky Favorit	45

Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání mechanických vlastností oceli a duralu.....	16
Tabulka 2: Číselné informace z normy ČSN EN ISO 4210-8 [32]	32
Tabulka 3: Mechanické vlastnosti oceli 25CrMo4 [34]	36
Tabulka 4: Vypočítané koeficienty ovlivňující korigovanou mez únavy [52]:	36

Seznam Příloh

Příloha 1: Výrobní výkres pravé kliky
Příloha 2: Výrobní výkres levé kliky
Příloha 3: Seznam použitých nástrojů
Příloha 4: Technologický postup výroby pravé kliky
Příloha 5: Technologický postup výroby levé kliky
Příloha 6: ANSYS analýza – rozšíření ke kapitole 7.3
Příloha 7: Měření os a klik – rozšíření ke kapitole 6.2
Příloha 8: Rozřazení vybraných středových složení do tabulky