

# **Materiály a mechanizace v cyklistice**

Tomáš Kužela

---

Bakalářská práce  
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav fyziky a mater. inženýrství

akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Kužela**  
Osobní číslo: **T15214**  
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Materiálové inženýrství**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Materiály a mechanizace v cyklistice**

Zásady pro vypracování:

Rozdělení dvoukolových dopravních prostředků obvykle poháněných lidskou silou (jízdní kola) podle funkce, konstrukce, pohonu atd. Problematika návrhu vhodných materiálů pro aplikace ve výrobě těchto dopravních prostředků. Design a metody analýzy dvoukolových dopravních prostředků z pohledu pevnosti, dynamiky a bezpečnosti konstrukce. Ekonomika návrhu a využití jízdních kol v praxi včetně poukázání na nové trendy v této oblasti.



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Ptáček L. a kol. *Nauka o materiálu I*. Brno: CERM, 2003. ISBN 80-7204-283-1
2. Ptáček L. a kol. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-7204-130-4
3. Brdička M. a kol. *Mechanika kontinua*. Praha: Academia a Česká matice technická, 2000.
4. Bower, A.F. *Applied Mechanics of Solids*. CRC Press, 2009. ISBN 9781439802472.
5. Silva, D., V. . *Mechanics and Strength of Materials*. Springer Verlag Berlin, 2006.
6. Kolář, V., NĚMEC, I., KANICKÝ, V. *FEM Principy a praxe metody konečných prvků*. Praha: Computer Press, 1997. ISBN 80-7226-021-9.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Antonín Polášek, CSc.**

Ústav fyziky a mater. inženýrství


Datum zadání bakalářské práce:

**2. února 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**18. května 2018**

Ve Zlíně dne 28. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



doc. Mgr. Aleš Mráček, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: ..... Kužela Tomáš .....

Obor: ..... Materiálové inženýrství .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby<sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3<sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně ..... 7. května ..... 2018

.....  


<sup>2)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávalečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolnosti až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Práce je zaměřena na studium materiálů a jejich vlastností používaných na výrobu rámu a dalších komponent jízdních kol. Dále je uvedeno rozdělení jízdních kol z pohledu funkce, pohonu, typu konstrukce a problematika návrhu vhodných materiálů v této oblasti. V praktické části práce je proveden návrh designu a analýza rámu kola z pohledu pevnosti a bezpečnosti. Závěrem je uvedeno porovnání konstrukčních materiálů z pohledu materiálního, ekonomiky návrhu a výroby komponent jízdních kol.

Klíčová slova: Jízdní kolo, cyklistika, rám, materiál, mechanismus.

## **ABSTRACT**

The thesis has been focused on study of materials and their properties used for production of frames and other bicycle components. There has been further a division of bicycles from the point of view of function, actuation, type of framework and the design issue of suitable materials in this area mentioned. In the practical part of the thesis there has been design and analysis of the bicycle frame carried out in terms of strength and safety. In conclusion, the comparison of construction materials from the material point of view, economy of design and production of bicycle components has been mentioned.

Keywords: Bicycle, Cycling, Frame, Material, Mechanism.

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Antonínu Poláškoví, CSc. za odborné vedení, rady a konzultace při tvorbě mé bakalářské práce, firmě K.P.R. Engineering za poskytnutí softwarového vybavení k provedení pevnostní analýzy a zároveň děkuji svým rodičům a blízkým za podporu při studiu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 VÝVOJ CYKLISTIKY</b> .....	<b>12</b>
1.1 HISTORIE CYKLISTIKY .....	12
1.1.1 Další důležité mezníky .....	14
1.1.2 Definice jízdního kola .....	15
1.2 ROZDĚLENÍ JÍZDNÍCH KOL .....	15
1.2.1 Rozdělení podle funkce .....	16
1.2.2 Rozdělení podle pohonu.....	17
1.2.3 Ostatní kola .....	18
<b>2 MECHANICKÉ A TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI</b> .....	<b>19</b>
2.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	19
2.2 TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI .....	21
<b>3 KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY V CYKLISTICE</b> .....	<b>23</b>
3.1 OCEL .....	23
3.2 SLITINY HLINÍKU .....	26
3.3 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY .....	30
3.4 SLITINY TITANU.....	37
3.5 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH MATERIÁLŮ.....	40
3.6 ALTERNATIVNÍ KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY .....	41
3.6.1 Bambus.....	42
3.6.2 Polymer .....	44
<b>4 SOUČÁSTI JÍZDNÍHO KOLA</b> .....	<b>46</b>
4.1 PEVNÉ SOUČÁSTI A VIDLICE .....	46
4.1.1 Rám .....	46
4.1.2 Vidlice .....	50
4.1.3 Řídící ústrojí.....	53
4.1.4 Sedlová část.....	55
4.2 POHONNÝ SYSTÉM.....	56
4.2.1 Středové složení .....	56
4.2.2 Pohonné ústrojí zadního kola .....	57
4.2.3 Řetěz.....	57
4.2.4 Řazení.....	58
4.3 KOLA A BRZDY .....	60
4.3.1 Kola .....	60
4.3.2 Brzdy .....	63
4.4 ZKUŠEBNÍ METODY .....	63
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>65</b>
<b>5 STANOVENÍ CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>66</b>
<b>6 METODA KONEČNÝCH PRVKŮ (MKP)</b> .....	<b>67</b>
<b>7 VÝSLEDKY ANALÝZY</b> .....	<b>68</b>



7.1	ZATÍŽENÍ NA SEDLOVÉ TRUBCE RÁMU .....	68
7.1.1	Hliníkový rám .....	69
7.1.2	Ocelový rám .....	70
7.1.3	Titanový rám .....	71
7.1.4	Výsledky pevnostní analýzy .....	72
7.2	ZATÍŽENÍ PEDÁLŮ NA STŘEDOVÉ TRUBCE RÁMU .....	72
7.2.1	Hliníkový rám .....	73
7.2.2	Ocelový rám .....	75
7.2.3	Výsledky pevnostní analýzy .....	76
	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>77</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM NOREM.....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>89</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>90</b>

## ÚVOD

Dopravní prostředky bývají zpravidla poháněny mechanicky nebo lidskou silou. Tato práce je zaměřena na jednostopé dvoukolové dopravní prostředky poháněné lidskou silou, případně mechanicky (elektromotorem). Důležitou skupinu těchto dopravních prostředků představují jízdní kola, která mají významné zastoupení ve sportovní oblasti. Cyklistiku provozují prakticky všechny generace a je rozšířenou součástí volného času populace. V důsledku neustálého rozvoje cyklistiky vzniká potřeba studia a hledání nových a vhodných materiálů pro výrobu rámu a cyklistických komponent. Jde o důležitou oblast průmyslu, která je značně finančně dotována firmami cyklistického sektoru výroby.

Zaměření práce je na materiály, ze kterých se v minulosti vyráběly a v dnešní době vyrábí jízdní kola. Jsou zde popsány mechanické vlastnosti a technologie výroby konstrukčních materiálů používaných v tomto odvětví.

Základní a zároveň jednou z nejdůležitějších částí jízdního kola je rám, na který je soustředěna pozornost v této práci. Materiály pro cyklistické komponenty pak vycházejí z materiálů používaných u rámu jízdních kol. Rám dává kolu specifické vlastnosti a stejně také jedinečný design. Od rámu se očekává především dlouhá životnost, určitá míra komfortu, a v neposlední řadě také jeho hmotnost a cena. Rámy jsou konstruovány odlišně pro jednotlivé sportovní disciplíny a jejich rozdíly jsou zde uvedeny. Nejdůležitějším trendem ve vývoji konstrukce rámu je dosažení co možná nejnížší hmotnosti. Zároveň musí rám splňovat dobrou schopnost absorbovat vibrace a tlumit rázy. Důraz je kladen i na vysokou boční tuhost pro co nejlepší přenos síly z pedálů. Pro splnění těchto požadovaných vlastností jsou v současné době vyvinuty technologie umožňující výrazné tvarování rámu v oblasti středového složení. Novými alternativními výrobními metodami jsou technologie 3D-tisku a využití počítačových metod pro optimalizaci konstrukcí rámu kol.

Hlavní část práce je věnována konstrukčním materiálům, do kterých se řadí ocel, slitiny hliníku, uhlíkové kompozity a titanové slitiny a jiné. Je zde stručně uvedena historie a vznik jízdních kol, rozdělení na cyklistické disciplíny a popis funkce jednotlivých komponent kola. Uvádím také zkušební metody a všechny normy, kterým jízdní kola podléhají.

V praktické části je provedena pevnostní analýza za použití metody konečných prvků. Na jednom typu rámu vyrobeného ze tří materiálů jsou provedena porovnání z pohledu pevnosti, deformací, hmotnosti a bezpečnosti konstrukce.

Závěrečná část je věnována souhrnu vlastností jednotlivých materiálů, zhodnocení výsledků získaných z praktické části mé práce a poukázání na současný směr vývoje.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VÝVOJ CYKLISTIKY

Od doby svého vzniku prošla cyklistika dlouhým a zajímavým vývojem, který určil její dnešní podobu. Přece jen první vyrobené jízdní kolo spatřil svět už před dvěma staletími. Popíšu zde tedy její vznik a vývoj včetně materiálů, které se dříve používaly, jelikož v mnohém tato historie ovlivnila její současnou podobu.

## 1.1 Historie cyklistiky

Za vznikem cyklistiky stojí člověk, který jako první sestrojil stroj připomínající jízdní kolo. Řeč je o německém lesníku, vynálezci a baronovi jménem Ludwig von Drais ze Sauerbro-  
nu (Obr. 1). Na jeho dřevěném vynálezu, který dostal název Draisina (Obr. 2), vyjel poprvé 12. července 1817. Nebylo to ovšem kolo takové, jak ho známe dnes, ale připomínalo spíše odrážedlo, které není poháněno šlapáním, nýbrž odrážením nohou od země. Přesto se mu podařilo za hodinu jízdy urazit na tehdejší dobu úctyhodných 15 km stylem jakéhosi běhu vsedě. Stroj byl až na železný spojovací materiál dřevěný, měl loukoťová kola s železnou obručí, kožené sedlo a opěrnou tyč jako stojan. Učinil tak první krok, který umožnil a nastartoval dlouhou cestu rozvoje cyklistiky [1, 20, 31].



Obr. 1: Ludwig von Drais [43]



Obr. 2: Původní Draisina [44]

Další rozvoj následně pokračoval zejména ve Francii, kde se Draisovu vynálezu běžně říkalo jízda na la draisienne. Jízda na draisině se postupně stala velmi oblíbenou činností, a tak se v roce 1861 stává Paříž svědkem dalšího pokroku ve vývoji jízdního kola. Zásahu na tom má mechanik Pierre Michaux, který změnil pohon z odrážení na šlapání. Konstruktivní řešení spočívalo v samostatném předním kole s klikami a pedály připevněnými k ose kola. I nadále se však tato kola vyráběla ze dřeva. Převrat nastal v roce 1869, kdy

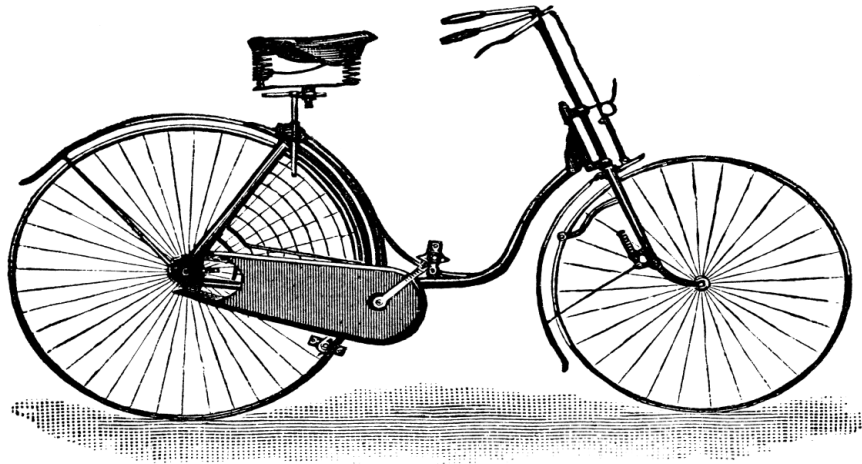
rodina Michauxů poprvé představila kolo v kovovém provedení, tzv. vélocipede (Obr. 3). O rok později přichází inovace v podobě vysokého kola, které zvyšuje efektivitu šlapání u pevného převodu tím, že je zvětšeno přední kolo. Ovšem taková kola byla velmi nestabilní z důvodu vysokého těžiště a hrozil tak případný pád. První vysoké kolo bylo vyrobeno v roce 1870 v Anglii pány J. Starleyem, B. Smithem a W. Hillmannem. Dalším důležitým faktem je, že v tomto roce byla zahájena první sériová výroba jízdních kol v pařížské továrně Michaux & Lallement a s tím spojený rozvoj cyklistiky, což dokládá 50 000 kusů kol vyrobených v tomto roce [1, 2, 31].



Obr. 3: *Vélocipede* [45]

Po takovémto úspěchu se vývoj značně urychlil a nové vynálezy na sebe nenechaly dlouho čekat. Jedním z nejdůležitějších prvků byl vynález pneumatik, díky nimž se jízda na kole stala výrazně pohodlnější. Zpočátku používané Dunlopovy pneumatiky, které byly s ráfkem pevně spojeny a neumožňovaly tak opravu, byly postupem času nahrazeny snímatelnými pneumatikami bratří Michelinů [1, 2].

Opravdový převrat ve vývoji jízdního kola nastal na konci 19. století, zásluhou dvou Angličanů jménem Williame Sutton a John Starley. Zkonstruovali totiž první kolo, které mělo lichoběžníkový rám, šlapací kliky a převod řetězem, což výrazně zlepšilo účinnost síly přenesené na náboj kola. Velocipéd byl od té doby už jen doplňován o nové komponenty, základní konstrukce však již zůstala zachována. Jedním důležitým doplňkem, který výrazně přispěl ke zvýšení bezpečnosti při jízdě na kole, byly brzdy. Jejich vznik připadá na období přelomu 19. a 20. století. Takovýmto kolům se začalo říkat tzv. bezpečné kolo „Safety bike“ (Obr. 4). Začátkem 20. století byla vysoká kola téměř vytlačena tímto typem kol s řetězovým převodem, který setrvává dodnes [1, 20].



Obr. 4: Safety bike [36]

Dnes, o století později, se vyrábí jízdní kola speciálně uzpůsobená pro jednotlivá odvětví cyklistiky. Avšak nutno podotknout, že vývoj nových materiálů a komponent neustále pokračuje. Hlavní důraz je v poslední době kladen na snižování hmotnosti kola a zvyšování efektivity převodového ústrojí a brzd.

### 1.1.1 Další důležité mezníky

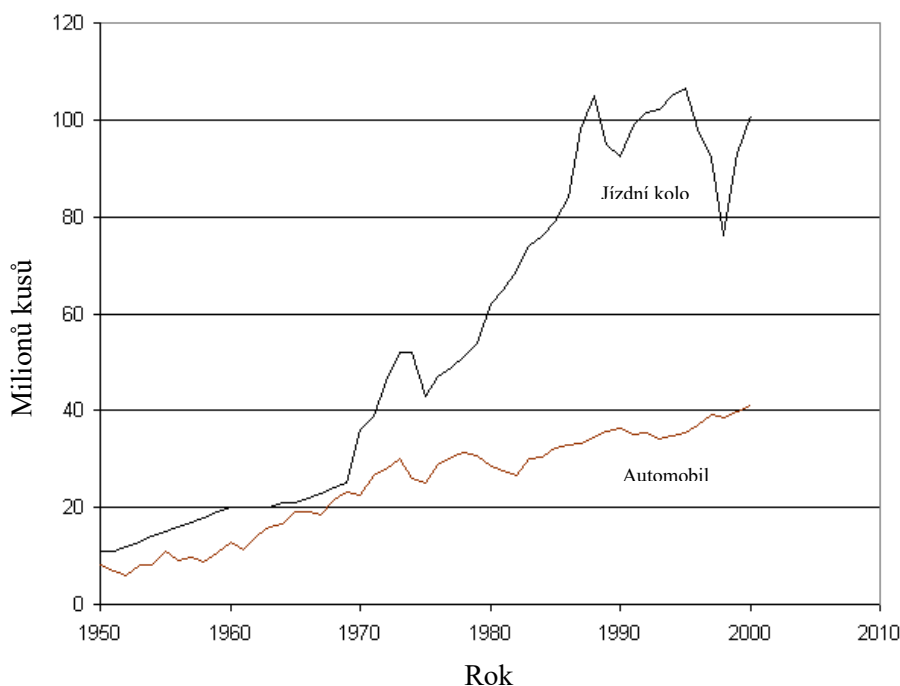
1878 – Angličané Scott a Phillott patentovali první planetovou převodovku v předním poháněném kole.

1879 – Angličan Henry J. Lawson patentoval řetězový převod síly z klik na zadní kolo. Toto kolo pojmenoval „the Bicycleette“ a jednalo se o první kolo s nižším těžištěm, díky čemuž je známo jako „bezpečnostní bicykl“.

1896 – Sir Frank Bowden patentoval účinnější typ brzdění pomocí lanka, který časem nahradil dosavadní přitlačné brzdy na plášť. Tomuto lanku se později začalo říkat Bowdenův kabel, který se skládá z pružného obalu (ocelová spirála krytá bužirkou) a pevného jádra (ocelové lanko).

Později byla vynalezena protišlapná brzda (u nás známa pod názvem „torpedo“), kde brzdící síla byla přenášena přímo na zadní střed kola.

Dalším mezníkem byl vynález horského kola na přelomu 70. a 80. let 20. století [31].



Graf 1: Světová produkce kol v porovnání s automobilem v letech 1950 – 2000 [32]

Graf 1 znázorňuje světovou produkci jízdních kol a automobilů v letech 1950 – 2000. Lze pozorovat dřívější relativně stejnou produkci a kolem roku 1970 výrazný nárůst produkce jízdních kol vlivem vynálezu horského kola. V dalších letech produkce prudce stoupala, zatímco produkce automobilů má spíše lineární rostoucí tendenci.

### 1.1.2 Definice jízdního kola

Jízdní kolo představuje jednostopé vozidlo, obvykle poháněné vlastní lidskou silou, případně elektromotorem. Energie je přenášena nejčastěji dolními končetinami na pedály kola uchycené ke středu rámu, kde je přes řetěz a převodové ústrojí převedena na rotaci zadního kola. Zadní kolo pak tuto rotační energii přenáší na vozovku a vykonává se pohyb. Termíny a definice jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 4210-1 [36].

## 1.2 Rozdělení jízdních kol

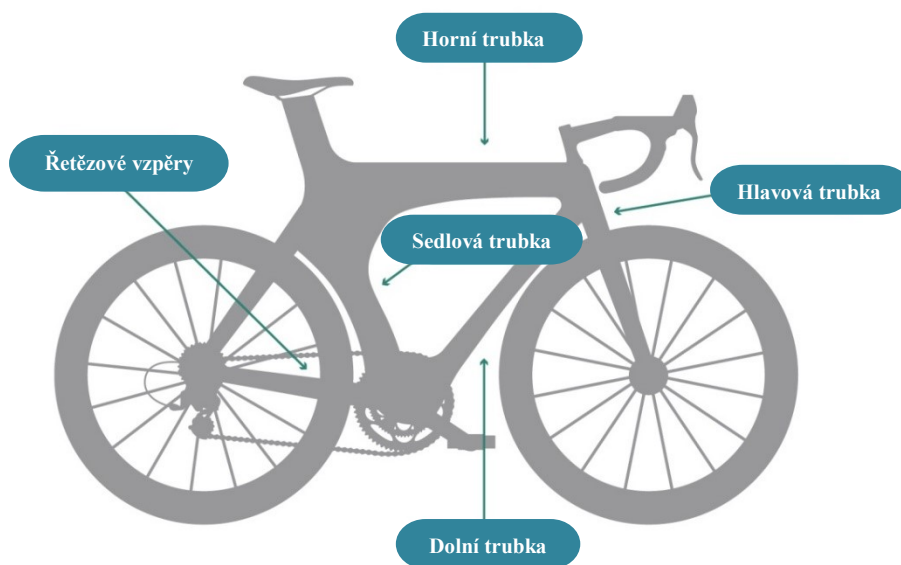
V dnešní době už nelze považovat jízdní kolo za jednotlivý element. Cyklistika poskytuje pestrou paletu možností, přičemž každá nabízí zcela odlišný požitek z této aktivity. Jelikož je dosavadní rozdělení cyklistiky velmi rozsáhlé, uvedu zde alespoň základní alternativy a rozdíly, které mezi nimi jsou.

### 1.2.1 Rozdělení podle funkce

Požadavky na městská a trekkingová jízdní kola, na jízdní kola pro mládež, na horská a závodní jízdní kola stanovuje norma ČSN EN ISO 4210-2.

#### Silniční kola

Kola výhradně určena pro rychlou jízdu na zpevněných cestách. Typickými rysy jsou úzké pláště (z důvodu nízkého valivého odporu) a geometrie rámu navržena tak, aby řídítka byla pod úrovní sedla pro aerodynamický posed jezdce (Obr. 5). Z důvodu lepší aerodynamiky je u rámu delší geometrie než například u horských kol. Horní rámová trubka se vyrábí vodorovná nebo slopingová, kde je trubka připevněna pod určitým úhlem. Použití vodorovné trubky přináší pohodlnější a stabilnější jízdu, slopingové rámy jsou zase obratnější a mají nižší těžiště. Silniční kola bychom mohli dále rozdělit na dráhová, triatlonová, cyklokrosová a časovkářské speciály.



Obr. 5: Geometrie silničního kola [46]

#### Cyklokrosová kola

Převážně kola pro závodní účely. Geometrie rámu připomíná silniční kolo, avšak s robustnější konstrukcí. Mezi další odlišnosti od silničních kol patří širší pláště, odlišný typ brzd (cantilever nebo kotoučové) a lehčí převody.



### Trekové kolo (trekkingové kolo)

Je uzpůsobeno pro cykloturistiku, má odolný rám, větší průměr kol a nabízí pohodlí spojené s možností uchycení cyklistických brašen. Jedná se o kompromis mezi silničním a horským kolem.

### Horská kola

Jsou navržena především pro jízdu v terénu. Vykazují vyšší nároky na ovladatelnost, odolnost proti mechanickému poškození a únavovému lomu. Rámy jsou pro tyto účely vyráběny s výrazným slopingem a geometrie kola je oproti silničnímu výrazně kratší (obr. 6). Dnes většina horských kol používá odpruženou vidlici, která tlumí rázy působící na rám, potažmo jezdce. U některých kol se nachází i zadní tlumič pro tlumení rázů od zadního kola. Pomocí zdvihů odpružení lze horská kola dále rozdělit na jednotlivé disciplíny:

- Cross Country (zdvihy odpružení 80-100 mm)
- Trail / Allmountain (120-140 mm)
- Enduro (140-160 mm)
- Freeride (160-203 mm)
- Downhill (190-203 mm)



Obr. 6: Geometrie horského kola [47]

### 1.2.2 Rozdělení podle pohonu

Kola nemusí mít pouze pedály poháněné lidskou silou, ale existují i varianty pro lidi s poškozeným pohybovým aparátem nebo pro méně namáhavou jízdu kola s motorem.

Jízdní kola s pomocným elektrickým pohonem podléhají normě ČSN EN 15194+A1. Další systémy pohonu mohou být velmi individuální, ale běžně se lze setkat s tříkolkami pro lidi s poruchami rovnováhy nebo s jízdním kolem, kde je systém pohonu realizován pomocí horních končetin (Obr. 7). Tuto alternativu zase ocení lidé s ochrnutím dolních končetin.



Obr. 7: Tříkolka poháněná pomocí horních končetin [48]

### 1.2.3 Ostatní kola

Existují i speciální typy, které vykazují přednosti v tom, co běžné jízdní kolo nenabízí. Setkat se tak můžeme s určitými typy, které zde nyní uvedu:

Tandemové kolo – kolo určené pro jízdu 2 a více lidí současně.

Skládací kolo – kolo obohacené o mechanismus, kterým lze kolo jednoduše složit a převážet nebo skladovat s minimálními nároky na prostor. Používalo se v armádě.

Lehokolo – jezdec zde leží nebo se opírá, což zajišťuje sice větší pohodlí oproti běžnému kolu, ale není příliš vhodné pro jízdu do kopce. Ležícímu cyklistovi je přizpůsobena i konstrukce: pedály jsou nahoře vpředu a řídítka uprostřed buď nad sedlem, nebo pod sedlem.

Jednokolka – (též monocykl) je zvláštní tím, že má jen jedno kolo, na kterém jsou i pedály. Na kole je také jediná vidlice, na níž se nachází sedlo.

BMX – (zkratka bicycle motocross) má malá kola a jezdí se na něm BMX závody nebo freestyle BMX, při němž se na kole předvádí různé triky. Bezpečnostní pokyny a zkušebnictví pro BMX stanovuje norma ČSN EN 16054 [36].

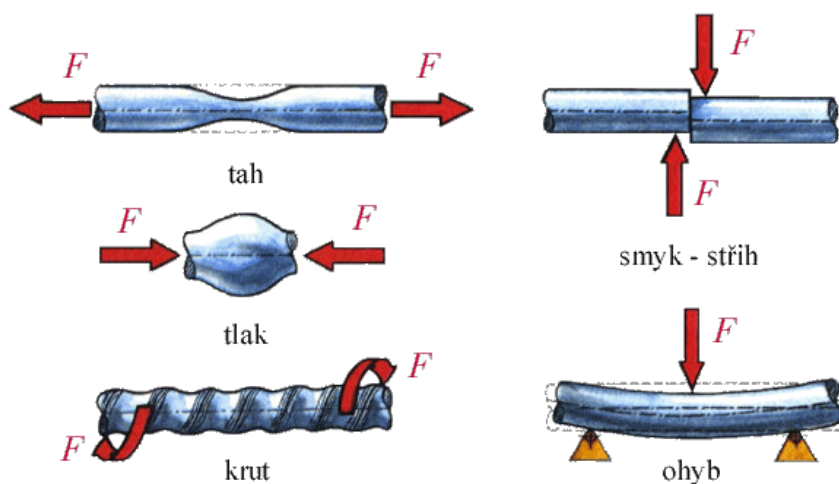
Takovýchto rozdělení a definic je možné uvádět spousty, ale z kapacitních důvodů jsou vyzdvihnuty a stručně popsány jen ty nejběžnější.

## 2 MECHANICKÉ A TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI

Ještě před uvedením do problematiky jednotlivých druhů materiálů a prvků z nich vyrobených zde uvedu několik pojmů ze strojírenství, které je nutné znát pro porozumění následující části.

### 2.1 Mechanické vlastnosti

Rámy a obecně prvky na jízdním kole jsou při používání vystaveny namáhání, jakým je tah, tlak, krut, stříh a ohyb (Obr. 8). Tato namáhání zpravidla nepůsobí jednotlivě, ale v různých kombinacích. Jízdní kolo je tedy vystaveno kombinovanému zatížení. Aby rám vydržel tato namáhání, musí splňovat určité parametry, jakými jsou pevnost, tvrdost, pružnost, tvárnost a houževnatost. Souhrnně jsou tyto parametry nazývány jako mechanické vlastnosti. Mechanickými vlastnostmi můžeme výrazně ovlivnit chování rámu při zatěžování. Každý materiál má jiné chemické složení, tedy i rozdílné mechanické vlastnosti. Velký vliv na chování materiálu má také profil trubek, ze kterých je rám vyrobený. U rámu je tedy nutné volit konstrukci a materiál, který je pro danou aplikaci nejvhodnější [23].



Obr. 8: Druhy namáhání [37]

- Pevnost

Pevnost lze charakterizovat jako největší napětí potřebné k rozdělení materiálu na dvě části. Není složité vyrobit extrémně pevné kolo z oceli nebo z karbonu, avšak musíme klást důraz i na pohodlí cyklisty, využitelnost kola v praxi a v neposlední řadě na cenu [4, 33].

**Mez pevnosti v tahu [Rm]** - Maximální dovolené napětí před porušením materiálu.

- Pružnost

Pružností se rozumí schopnost materiálu nabýt původní rozměry ve chvíli, kdy přestane působit zatěžující síla, tzv. elastická deformace. Z hlediska rámu je pružnost velmi důležitá pro pohlcování vibrací. Pokud kolo nebude mít schopnost tlumit vibrace a rázy, jízda bude pro cyklistu velmi nepohodlná.

**Mez elasticity** - Maximální napětí, při kterém dochází k elastické deformaci materiálu. Po odlehčení se materiál vrátí, bez porušení, do původního stavu.

**Mez kluzu [Re]** - Stav, kdy dochází k prvním plastickým (trvalým) deformacím.

**Smluvní mez kluzu [R<sub>p0,2</sub>]** - Je zaváděna u materiálů, kde v tahovém diagramu nenastane výrazná mez kluzu (např. slitiny hliníku).

**Modul pružnosti v tahu [E]** - Poměr napětí a deformace, která byla způsobena tímto napětím [4, 33, 37].

- Tvrдость

Tvrдость je charakterizována jako odpor materiálu proti vniknutí cizího tělesa (indentoru) do jeho povrchu. Intendační zkoušky tvrdosti u kovových materiálů se provádějí metodami Rockwell (kužel), Vickers (4-hran) a Brinell (kulička). V závorkách jsou uvedeny typy indenterů používaných u příslušné zkoušky.

- Tvárnost

Tvárnost je schopnost materiálu měnit svůj tvar působením vnější síly při plastické deformaci bez porušení soudržnosti materiálu a setrávat v tomto novém tvaru i po skončení zatěžování. Tvárnost je velmi důležitá při výrobě a tvarování trubek. Čím je materiál tvárnější, tím optimálnějšího tvaru lze dosáhnout. Největší rozvoj v tvarování trubek nastal při aplikaci metody konečných prvků (MKP). Díky ní si konstruktér dokáže vymodelovat různé tvary, porovnávat jednotlivé výsledky a dosáhnout tak nejoptimálnějšího výrobku. Profil trubek je velmi důležitý i z hlediska aerodynamiky. Nejvýhodnějším materiálem je z hlediska tvárnosti kompozit, pomocí kterého lze vytvořit v podstatě jakýkoliv profil.

**Tažnost** - Poměrné prodloužení vyjádřené v procentech [37].

- Houževnatost

Schopnost materiálu odolávat vzniku a šíření trhlin. Stanovuje se např. tahovou zkouškou, kde představuje celkovou plochu pod křivkou, nebo Charpyho kladivem. Jedná se o celkovou energii (mechanickou práci), která je potřebná k přetržení materiálu (rozdělení na 2 části). Opakem houževnatosti je křehkost [37].

U rámových konstrukcí bývají nejčastější problémy se svařovanými konstrukcemi. V oblasti sváru, vlivem namáhání a koncentrace napětí, často dochází ke vzniku trhlin až k prasknutí. Dalším rizikovým místem je oblast sedlové trubky, kde je z důvodu možnosti stáhnutí sedlovky trubka rozříznuta, což jí umožní udržet se v rámu a nezajíždět.

Na mechanické vlastnosti materiálů má vliv také teplota a tvar krystalografické mřížky. Při určitých teplotách se mění krystalická struktura polymorfních kovů, a tím se mění i jejich mechanické vlastnosti. Tvářením kovů za studena se deformují krystalické mřížky a vzniká tak vnitřní pnutí. Tím se zvětšuje jejich pevnost a zmenšuje tažnost [23].

## 2.2 Technologické vlastnosti

Technologické vlastnosti určují vhodnost materiálu pro daný technologický proces, kterým se snažíme dosáhnout co nejlepších užitných vlastností rámu. Tyto vlastnosti úzce souvisí se zpracováním materiálu pro hotový výrobek. Při jejich zkoušení se snažíme co nejvíce přiblížit podmínkám, při kterých bude materiál zpracováván nebo jakým bude v provozu vystaven.

- Svařitelnost

Svařování je nejčastější metodou spojování trubek rámu kol z kovových slitin. Trubky se v cyklistice svařují metodou natupo, kdy je nutno rámové trubky přesně upnout do požadovaného výsledného geometrického tvaru, a poté svařit ve svařovacím přípravku. Ve většině případů, díky metalurgii, nedochází ani po svaření ke ztrátě původních mechanických vlastností nebo se k nim materiál díky samovolnému vytvrzení vrátí bez následných tepelných úprav. To však neplatí pro všechny materiály. Ve zbylých případech je nutné rám po svaření tepelně zpracovat.

Nejčastější metodou pro svařování je metoda TIG (Tungsten Inert Gas) – popis níže. Pokud je potřeba zvýšit produktivitu, je možné použít metodu MIG [23, 37].



Obr. 9: Stolice na uchycení trubek pro svařování rámu [49]

Na obrázku 9 je znázorněno, jak probíhá ruční svařování trubek do jednoho celku – rámu.

- Tvárnost

Tvárnost je vlastnost, kterou musí mít materiál určený ke kování, válcování nebo lisování. Tato vlastnost je velmi důležitá pro výrobu trubek před samotnou kompletací celého rámu [37].

- Obrobitelnost

Obrobitelností se myslí souhrn vlastností charakterizující materiál při obrábění různými nástroji za různých rezných podmínek. Rámy se v podstatě vůbec neobrábí, jiné je to však u cyklistických komponentů, jakými jsou představec, řídítka nebo sedlové trubky. Obráběné komponenty se řadí k velmi kvalitním, lehkým a zároveň i pevným. Výhradně se obrábí pomocí CNC strojů, kdy stroj vytvoří celý hotový komponent se všemi náležitostmi [23, 37].

- Slévatelnost

Slévatelnost je vlastnost, kterou má materiál určený k lití. Vhodný materiál pro slévání musí mít dobrou tekutost, musí se málo smršťovat a nesmí tvořit bubliny. Odlévají se především běžné cyklistické komponenty [37].

- Odolnost proti opotřebení

Představuje nežádoucí oddělování částeczek materiálu, k němuž dochází na povrchu součástí, strojů a přístrojů, náradí, nástrojů apod., působením vnějších sil. Opotřebením se zabývá tribologie, tribotechnika a tribometrie [37].

### 3 KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY V CYKLISTICE

Pro výrobu rámu se v dnešní době využívá mnoho materiálů, které se mezi sebou liší vlastnostmi a zpracováním. Nejvíce se jich vyrábí z kompozitu (karbonu) a slitin hliníku. Menší zastoupení pak představuje ocel a slitiny titanu. Ve velmi omezené míře se pak můžeme setkat s bambusovými, dřevěnými či plastovými rámy, jejichž výzkum v poslední době nabývá pozornosti. U materiálů není rozhodující pouze váha a cena, ale zásadní jsou i jejich fyzikální a mechanické vlastnosti. V neposlední řadě je také rozdíl v technologických možnostech zpracování daného materiálu.

#### 3.1 Ocel

První kovový materiál, který se začal používat pro výrobu cyklistických rámu, představuje ocel. Díky dlouhodobému používání je ocel velmi prozkoumaným materiálem, a tak můžeme přesně určit její chování. Dnes máme k dispozici spoustu druhů ocelí – od nízkolegovaných až po vysokolegované. Se zvyšující se kvalitou však roste i jejich cena, což z tohoto kdysi tradičního materiálu dělá dnes téměř exkluzivní materiál.

Ocel je slitina železa s uhlíkem a dalšími legujícími prvky, kterými lze upravovat její vlastnosti, přičemž uhlíku je v této slitině obsaženo do 2,14 % (z důvodu zachování houževnatosti). Ocel se podle české státní normy (dále ČSN) rozděluje do devíti tříd, které se od sebe liší mechanickými vlastnostmi a chemickým složením. Na výrobu rámu se nejčastěji používají oceli třídy 15 (podle starého značení). Konkrétně nejpoužívanější je ocel ČSN 15 130, což odpovídá evropskému materiálovému označení EN 25CrMo4 [4, 5, 6].

##### **15 130 - Cr-Mo ocel:**

Tyto oceli s příměsí chromu a molybdenu se označují jako nízkolegované. Jsou velmi dobře prokalitelné a vhodné k zušlechťování. Vyznačují se vysokou mezí pevnosti v tahu [Rm] a mezí kluzu [Re] při normální teplotě. Je zde zaručena mez tečení a zvýšená odolnost proti korozi. Její charakteristikou je vysoká pevnost při relativně nízké hmotnosti. Složení oceli je 0,3 % C, 1 % Cr, cca 0,5 % Mn a přibližně 0,2 % Mo [4, 5, 6, 10].

##### **11 523 - Hi-Ten ocel:**

High tensile steel, nízkolegovaná ocel (Mn cca 1,2 %) s obsahem uhlíku okolo 0,2 % byla dříve používaná téměř na všechny rámy kol jako nadčasový materiál, který má lepší vlastnosti než předchozí dřevěné rámy. Dnes už z trhu spíše vymizela a lze ji najít pouze u jízdních

ních kol levnější třídy. Tato ocel je sice pevná ( $R_m$  zhruba 800 MPa) a má i vysokou únavovou pevnost, ale rám z ní vyrobený má poměrně vysokou hmotnost [11, 22].

U drahých rámu z Cr-Mo se trubky zpracovávají tak, že mají různé průměry stěn. Ve střední části trubky je materiál stěny tenčí a na krajích, kde působí větší síly, silnější. Tato technologie má označení "double butted", což znamená dvojitě zeslabované stěny. Díky tomu lze výrazně snížit hmotnost u rámu jízdních kol [34].

Mezi nejkvalitnější trubky pro výrobu rámu patří trubky vyráběné firmou Columbus. Mezi tyto speciální oceli patří XCR, Niobium a Nirvacrom. Tyto materiály jsou korozivzdorné a mají výborný poměr mezi pevností a hustotou. Tyto faktory jen potvrzují, že tyto trubky jsou dnes jedny z nejdražších na světě.

#### **XCR:**

Tento materiál vyniká velmi dobrým poměrem tuhosti a hmotnosti, díky kterému je možno trubky až třikrát zeslabovat, čímž můžeme u výroby dosáhnout velmi lehkých a prakticky nezničitelných rámu. Jedná se o martenzitickou nerezovou ocel s vysokým obsahem chromu, molybdenu a niklu. Díky těmto prvkům dosáhneme lepších mechanických vlastností i lepší svařitelnosti. V České republice tento materiál používá firma Festka [38].

#### **Niobium:**

Tímto termínem je označena speciální mikrolegovaná ocel s obsahem manganu, chromu, niklu, molybdenu a niobu. Ocel prochází speciální tepelnou úpravou, díky které získá výsledné vlastnosti. Pomocí takto zpracované oceli jsou minimalizovány dekarbonizační jevy. Výsledkem je vysokopevnostní bainitická mikrostruktura, která zajišťuje vysokou pevnost, tvrdost a dlouhou životnost [38].

#### **Nirvacrom:**

Jedná se o slitinu podstupující různé procedury a způsoby zpracování, díky nimž lze u materiálu získat výborné únavové chování a skvělou svařitelnosti. Jedná se o tažení a následnému homogenizování mechanických vlastností po celé délce trubky [38].

*Tabulka 1: Mechanické vlastnosti exkluzivních materiálů z oceli [38]*

Materiál	Pevnost v tahu $R_m$ [MPa]	Mez kluzu $R_e$ [MPa]	Tažnost [%]
<b>XCr</b>	1250-1350	900-1000	min. 16
<b>Niobium</b>	1050-1250	1030	min. 14
<b>Nirvacrom</b>	950-1050	750	min. 10



Porovnání nejkvalitnějších ocelí na dnešním trhu od firmy Columbus z hlediska mechanických vlastností je shrnuto v tabulce 1.

#### Výroba oceli:

Probíhá v kyslíkových konvertorech nebo v elektrických obloukových pecích. Výchozí surovinou pro tuto výrobu je surové železo a ocelový odpad.

#### Výroba trubek:

V cyklistice se nejčastěji vyskytují tzv. bezešvé trubky, které na rozdíl od svařovaných mají vyšší pevnost. Tuto výrobu lze realizovat dvěma způsoby:

**Mannesmannův** – válcování vývalku mezi dvěma válci s mimoběžnými osami, které mají stejný smysl otáčení. Dochází tak k pnutí uvnitř materiálu a tím ke vzniku dutiny.

**Stiefelův** – stejný princip jako Mannesmannův způsob s tím rozdílem, že pracovní válce mají tvar kotoučů.

#### Spojování trubek:

U oceli se lze setkat se třemi možnostmi spojování jednotlivých rámových trubek. Jedná se o svařování, pájení a pájení do speciálních spojek tzv. mufen.

**Svařování** = spojování dvou nebo více součástí do jednoho nerozebíratelného celku buď s přídavným materiálem, nebo slitím natavených částí do sebe. V současné době se v cyklistice nejčastěji využívá technologie TIG (Tungsten Inert Gas), neboli obloukové svařování v ochranné atmosféře netavící se elektrodou. Tím se zamezí tvorbě strusky a vznikne tak čistá kresba, která nevyžaduje dalších úprav.

**Pájení** = nerozebíratelné spojování kovů v tuhém stavu, roztaveným přídavkem jiného kovu. Na rozdíl od svařování zde nedochází k roztavení spojovaného materiálu, proto musí mít pájka vždy nižší teplotu tání, než spojovaný materiál. Rozeznáváme dva druhy pájení podle teploty tání na měkké (teplota tání do 500 °C, slitina cínu a olova) a tvrdé (teplota tání nad 500 °C, slitina mědi a zinku) [3, 4, 7].

#### **Shrnutí:**

Výhody:

- vysoká pružnost (schopnost absorbovat rázy) a pevnost
- jednoduchá svařitelnost
- poměrně nízká cena (u Hi-Ten ocelí)

Nevýhody: - často vyšší hmotnost (velká hustota)  
- podléhá korozi

### 3.2 Slitiny hliníku

Slitiny hliníku se na kolech objevily poprvé ve Francii kolem roku 1930. S výrobou ráků z hliníkových slitin přišla firma Caminargents v roce 1936, která ráky vyráběla prakticky jen z těchto slitin. Tyto ráky ovšem nebyly svařovány, ale spojovány pomocí spojek a staženy šrouby. Mnohem více se hliníkové slitiny při použití na výrobu ráků rozšířily díky panu Garymu Kleinovi, který začal z hliníkových trubek v 70. letech 20. století vyrábět ráky sériově. Jednalo se již o trubky kruhového průřezu, které byly svařovány. Nejprve bylo jejich používání velmi komplikované z důvodu snahy napodobit konstrukci ráku ocelového, které jsou charakteristické svými malými průměry trubek. Současným nejpoužívanějším materiálem k výrobě ráků jízdních kol jsou slitiny hliníku – duraly, neboli duraluminum (z lat. „tvrdý hliník“). Jedná se o obchodní značku hliníkových slitin s příměsími typicky Cu, Mn, Si, Mg, Zn [22].

Čistý hliník patří do skupiny lehkých kovů, což je pro snížení hmotnosti ráku významný faktor. Faktem je, že měrná hmotnost slitin hliníku je podstatně nižší než u oceli. Konkrétně u ocelových slitin je měrná hmotnost  $7800 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a u slitin hliníku  $2700 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . To znamená, že slitiny hliníku jsou třikrát lehčí než ocel. Což vykazuje sice nižší hmotnost, ale také výrazně nižší pevnost. Tento nedostatek lze kompenzovat tlustší stěnou a většími rozměry rámových trubek, přičemž výhoda nízké hmotnosti tímto zaniká. Řešením tohoto problému je zvětšení průměru trubek (konkrétně dolní rámové), čím se docílí požadovaných vlastností. Používání trubek větších průměrů se začíná používat ve velké míře až na začátku 21. století. Použitím duralových trubek se podařilo uspořít až 40 % hmotnosti, avšak se zachováním pevností na úrovni ocelových ráků. Takto navržené ráky vykazují vysokou pevnost při zachování nízké hmotnosti [6, 8, 22, 34].

Slitiny hliníku se rozdělují dle norem do několika tříd. V cyklistickém průmyslu se zpravidla můžeme setkat se slitinami tříd 6000 a 7000. Často se používá označení např. 6061T6, kdy číslo 6061 označuje konkrétní slitinu a T6 druh tepelného zpracování. Ke svařování se zpravidla využívá technologie TIG, která je popsána výše.

**Řada 6000** (slitina AlMgSi)

Jedná se o slitiny hliníku s hořčíkem a křemíkem. U slitin této série je z hlediska pevnosti důležité množství Si ve struktuře a na něm následně závisí množství intermetalické fáze Mg<sub>2</sub>Si. Po svaření se původní mechanické vlastnosti získávají tzv. umělým stárnutím. Umělé stárnutí spočívá v tepelném zpracování, které musí být prováděno při předepsané teplotě a času, aby bylo znovu dosaženo požadované meze pevnosti ( $R_m$ ) a meze kluzu ( $R_{p0,2}$ ). Takový proces je energeticky i časově náročný a velkou nevýhodou těchto slitin je omezení následných oprav ráků z důvodu nemožnosti dosáhnout opětovného umělého stárnutí. Jejich charakteristikou je výborná schopnost k tváření, svařitelnost, odolnost vůči korozi i mechanická obrobiteľnosť při středních pevnostních vlastnostech. Dalším významným faktorem je, že tyto slitiny jsou samokalitelné [8, 22].

- Série 6061

Tato slitina je v současnosti nejvíce využívanou slitinou při výrobě ráků jízdních kol. Lze u ní dosáhnout po tepelném zpracování meze pevnosti v tahu 346 MPa. Složení této série je shrnuto v tabulce 2 [8].

*Tabulka 2: Složení slitiny Al 6061 [22]*

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
0,4 - 0,8	0,7	0,15 - 0,4	0,15	0,8 - 1,2	0,04 - 0,3	0,25	0,15

- Série 6066

Tato slitina se používá u dražších kol s ráky vyrobenými z hliníkových slitin. Složení této slitiny je uvedeno v tabulce 3.

*Tabulka 3: Složení slitiny Al 6066 [22]*

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
0,9 - 1,8	0,5	0,7 - 1,2	0,6 - 1,1	0,8 - 1,4	0,4	0,25	0,2

Z porovnání těchto slitin je výrazná změna pouze u Si, Cu a Mn. Obsah těchto prvků se u Al 6066 zvýšil průměrně o 0,5 %. Toto zvýšení zlepšilo mez pevnosti, mez kluzu i celkovou tvrdost slitiny. U této slitiny je po tepelné úpravě dosahováno meze pevnosti okolo 440 MPa. Díky tomu lze vyrábět ráky z trubek o menší tloušťce stěny, a tím dosáhnout váhové úspory až 500 g na rám oproti 6061. Celkové navýšení ceny oproti slitině 6061 je až 40 % [8].

### Řada 7000 (slitina AlZn)

U této řady jde o slitiny, kde hlavním legujícím prvkem je zinek v množství 1 – 8 %. Rám, který je vyroben z řady 7000, je důležité po svaření tepelně zpracovat. Zde je k tepelnému zpracování využíváno rozpouštěcího žihání, které snižuje vnitřní pnutí. Výsledkem je navrácení původních mechanických vlastností, které jsou dány normou. Při svařování dochází k tepelnému ohřevu základního materiálu, tj. trubek, a po svaření tento materiál získává své původní mechanické vlastnosti procesem přirozeného stárnutí. Za přítomnosti Mg tyto slitiny po tepelném zpracování dosahují nejvyšších hodnot pevnostních vlastností ze všech slitin hliníku. Naopak odolnost proti korozi je u těchto slitin na nízké úrovni, což ale pro výrobu rámu jízdních kol není zas tak významné, protože rámy bývají obvykle lakovány. Často zde bývají jako další legující prvky přítomny Mg, Cu a Cr [6, 8, 22].

- Série 7005

Tato slitina je využívána především na kolech, kde je potřeba mít vyšší pevnost za nepříliš vysokou cenu. Slitina 7005 dosahuje vyšší meze pevnosti v tahu než slitina 6061, zhruba 390 MPa. Cenově je pouze o 10 % dražší, než slitina 6061, a oproti slitině 6066 je již úspora 30 %. Obvyklý obsah legujících prvků je vyobrazeno v tabulce 4 [8, 12].

Tabulka 4: Složení slitiny Al 7005 [22]

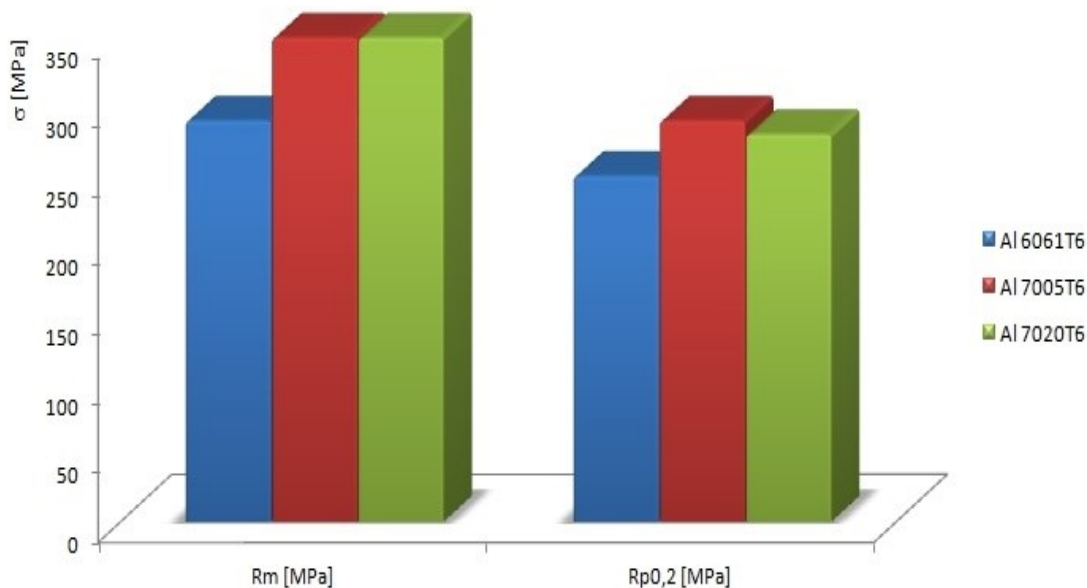
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr
0,35	0,4	0,1	0,2 - 0,7	1,0 - 1,8	0,06 - 0,2	4,0 - 5,0	0,01 - 0,06	0,08 - 0,2

- Série 7020

Materiál, který používá český firma Duratec v tepelně zpracovaném stavu T6. Složení této slitiny je téměř shodné se sérií 7005, přičemž zde je přibližně o 0,3 % hořčíku méně. Společně se slitinou 7005 jsou tyto slitiny nejpoužívanější na stavbu jízdních kol. Je to dáno tím, že se jedná o nejpevnější hliníkové slitiny, které lze svařovat [8].

Tabulka 5: Porovnání slitin hliníku z pohledu mechanických vlastností [23]

materiál	Mez pevnosti R <sub>m</sub> [Mpa]	Smluvní mez kluzu R <sub>p0,2</sub> [Mpa]	Tažnost [%]
Al 6061-T6	min. 290	min. 240	10
Al 7020-T6	min. 350	min. 280	10



Graf 2: Porovnání meze pevnosti a meze kluzu u jednotlivých slitin hliníku [33]

Na grafu 2 a v tabulce 5 jsou shrnuty mechanické vlastnosti slitin hliníku používaných v cyklistickém průmyslu.

#### Tepelné zpracování:

Velmi často je potřeba u některých součástí zlepšit nebo získat nové vlastnosti. Obvyklým požadavkem pak bývá zlepšení houževnatosti a tvrdosti materiálu. Podstatou tepelného zpracování (neboli žíhání) je ohřev materiálu na určitou teplotu, výdrž na této teplotě a rychlost ochlazování. Teploty a doba tepelného zpracování se liší podle materiálu, který je zpracováván, a druhu tepelného zpracování. Průběh tepelného zpracování popisují diagramy IRA (izotermický rozpad austenitu) a ARA (anizotermický rozpad austenitu). Tyto diagramy určují strukturu slitiny, která po tepelném zpracování vznikne [33].

#### Hydroforming:

Hydroforming je technologie objemového tváření vlivem působení tlaku kapaliny na stěnu materiálu. Využívá se jak u tváření trubek a plechových dílů. Princip spočívá v tlakových účincích kapaliny na tvářenou součást. Samotný průběh tváření je následující. Do formy se vloží polotovár. Forma se uzavře. Po uzavření obou stran formy začne na povrch polotovaru působit tlakovou silou kapalina. Tuto technologii tváření lze použít u oceli, nerezové oceli, mědi, hliníku apod. Hydroforming se používá ze dvou hlavních důvodů. Prvním

je ovlivnění tuhosti rámu v horizontální a vertikální rovině, což se projevuje vyšší schopností absorbovat otřesy, a tedy zvýšením komfortnosti rámu. Druhým aspektem je design profilů trubek, kde díky kombinaci zabrušovaných svarů a hydroformingu jsou mnohdy na první pohled takto designované rámy po vizuální stránce velmi podobné karbonovým [33].

#### Výroba slitin hliníku:

I když je na Zemi hliník jako prvek zastoupen v poměrně velkém množství (cca 7 – 8 %), je jeho výroba poměrně náročný proces, který po dlouhou dobu představoval velký problém. Výroba těchto slitin ve větší míře začala až po zvládnutí procesu elektrolýzy. Z tohoto důvodu se tento materiál v cyklistice objevuje převážně až ve 21. století, kde se stal nedílnou součástí nejen rámu, ale i celé řady dalších komponent používaných u jízdních kol [6, 7, 8].

#### **Shrnutí:**

Výhody:

- nízká hustota, méně náročný na opracování (hydroforming)
- vzhled a poměrně nízká cena, korozivzdornost

Nevýhody:

- špatná schopnost pohlcovat rázy
- nižší tvrdost (náchylnost k poškození)

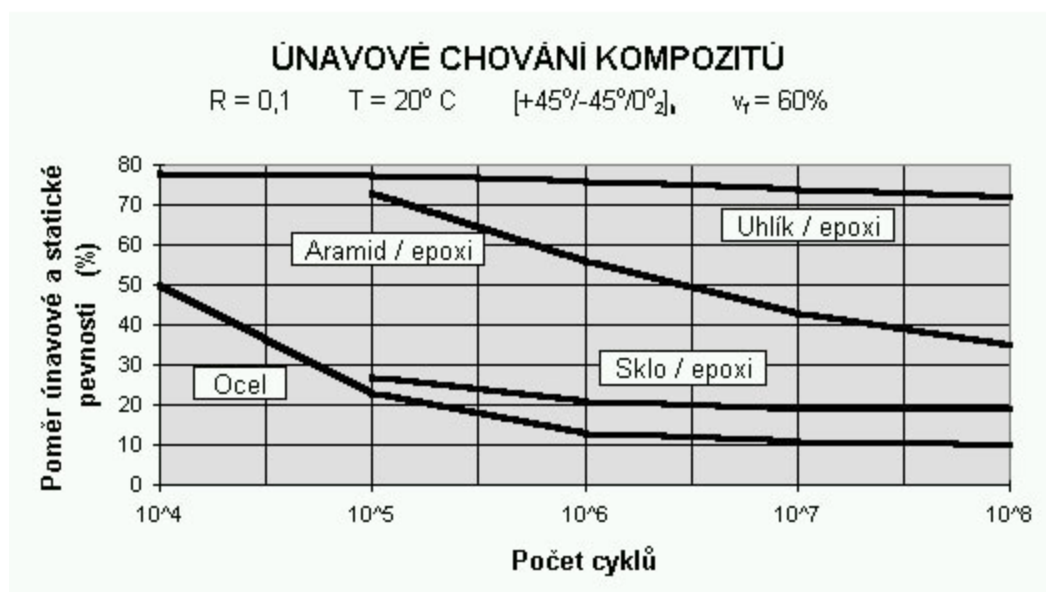
### **3.3 Kompozitní materiály**

První kola s rámy z kompozitních materiálů na bázi uhlíkových vláken začala vznikat v 90. letech výhradně pro použití u závodních silničních kol. Do cyklistiky se tyto kompozity dostaly z leteckého průmyslu. První rámy ovšem nebyly o moc lehčí než jejich duralové předchůdci. Zanedlouho po prvních silničních kolech s kompozitními rámy, bylo vyrobeno v roce 1995 firmou Scott první horské kolo z kompozitních materiálů. Do vývoje kompozitních rámu bylo vkládáno mnoho prostředků, než se přišlo na to, jak efektivně využít klady těchto materiálů. Vývoj šel však rychle kupředu a již v roce 2003 vyvinul Scott silniční rám, vážící 880 g, který změnil dějiny cyklistiky [39].

Odborně se materiál využívaný na výrobu rámu nazývá uhlíkový kompozit, přičemž v cyklistice je používán termín karbon. Kompozit je obecně definován jako materiál, který je složen z matrice a plniva o různých vlastnostech, kdy při spojení těchto materiálů vznikne materiál zcela jiných vlastností. Uhlíkový kompozit je složen z uhlíkových vláken o průměru řádově jednotek až desítek mikrometrů a matrice (nejčastěji polymerní),

kteřá slouží jako pojivo mezi jednotlivými vrstvami. Pro výrobu rámu kol se využívají tzv. vrstvené kompozity. Jednotlivé vrstvy uhlíkových vláken a jejich směrové uspořádání zásadně ovlivňují vlastnosti výsledného produktu. U kompozitů hraje velkou roli také anizotropie vlastností v různých směrech. Obecně mají kompozity nízkou hustotu. Obvykle mezi 1600 až 2000 kg/m<sup>3</sup>, ve srovnání s ocelí (7800 kg/m<sup>3</sup>) či hliníkem (2700 kg/m<sup>3</sup>). Pevnostní interval je velmi široký 200 – 3000 MPa a tuhost se pohybuje od 10 do 200 GPa. Další skvělou vlastností je, že vykazují velmi pozvolný průběh únavové křivky, což se projeví v trvanlivosti rámu, a zároveň má velmi dobrou schopnost pohlcovat vibrace. Průběh únavové křivky je znázorněn na grafu 3. Nevýhodou kompozitů je, že jsou náchylné na mechanické poškození přicházející z jiného směru, než na jaký je rám konstruován [13, 14].

Pokud srovnáme tyto hodnoty s běžnými materiály, zjistíme, že dosahují pouze zlomku vlastností jako u kompozitů.



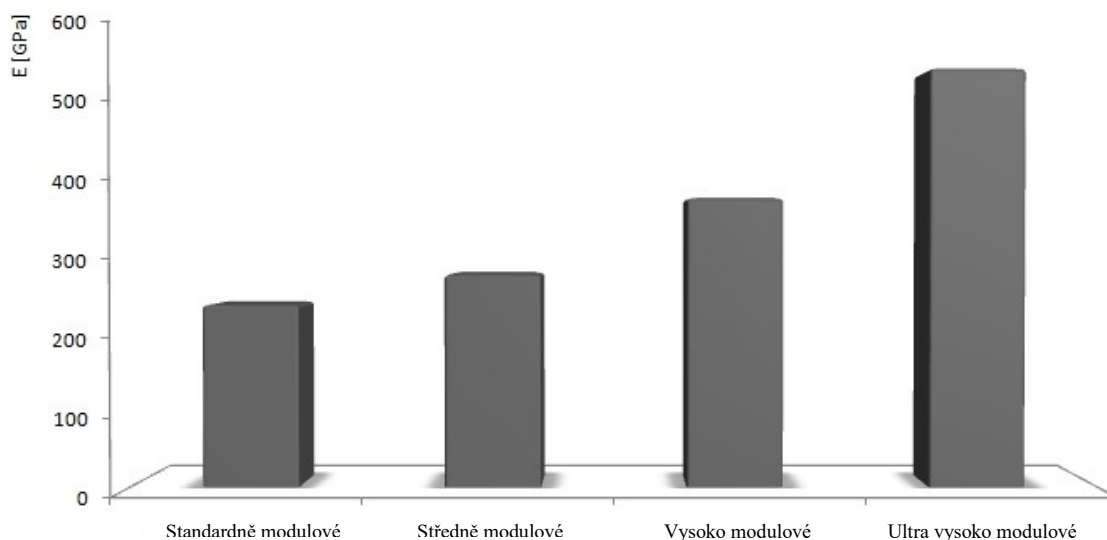
Graf 3: Znázornění únavových křivek kompozitů v porovnání s ocelí [23]

#### Uhlíkové vlákno:

První vlákna byla vyrobena T. A. Edisonem na konci 19. stol pro použití v žárovkách. Tato vlákna pochopitelně neměla tak dobré mechanické vlastnosti. První vlákna s dobrými mechanickými vlastnostmi byla vyrobena až v roce 1959 firmou Union Carbide. Ta dokázala, že modul elasticity může být výrazně zvýšen vytahováním vláken za velmi vysoké teploty. Tímto způsobem se získá orientace grafitických lamel paralelně s osou. Vývoj vláken od této doby pokračoval rychlým tempem až do současnosti [9].

Uhlíková vlákna se vyrábí pomocí kontrolované pyrolýzy organických prekurzorů (prekurzor – výchozí látka, z níž vzniká chemickou přeměnou výsledný produkt). Uhlíková vlákna lze rozdělit do několika skupin podle modulu pružnosti v tahu. Vlákna mají průměr 5 – 12  $\mu\text{m}$ , takže jsou mnohem tenčí než lidský vlas. Tato vlákna zároveň vykazují vysoké mechanické parametry, jejich odolnost překračuje odolnost nejlepších ocelí. Jejich výhodou je přibližně čtyřikrát nižší hustota než u ocelí [6, 9].

Obsah čistého uhlíku v těchto vláknech je 90 – 95 %. Zásadou těchto vynikajících charakteristik jsou tato vlákna využívána především v astronautice a dalších oblastech včetně cyklistiky, kde je požadována vysoká pevnost a zároveň nízká hmotnost [6, 9, 22].



Graf 4: Znárodnění modulu pružnosti v tahu u uhlíkových vláken [33]

Na grafu 4 lze pozorovat, v jakých řádech se pohybuje modul pružnosti jednotlivých uhlíkových vláken.

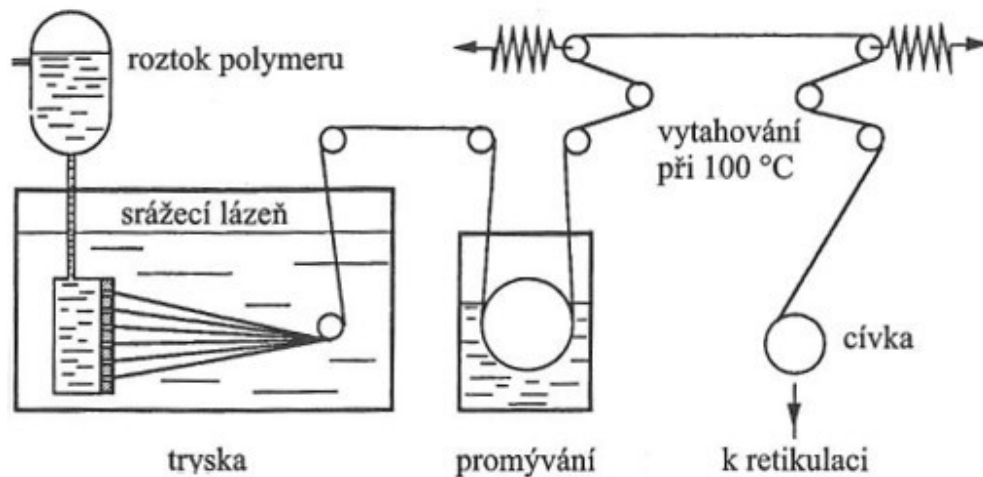
### Vysokomodulová uhlíková vlákna

Vlákna, která jsou charakteristická vysokým modulem pružnosti (cca 400 GPa) a nižší pevností v tahu (2,1 GPa) oproti vysokopevnostním vláknům (3,1 GPa). Jejich pevnost je dána silnými meziatomárními vazbami. Tato vlákna se nejčastěji používají u rámu jízdních kol.



*Výroba uhlíkových vláken se skládá z následujících kroků:*

- Příprava prekurzoru



*Obr. 10: Spřádání uhlíkových vláken [22]*

První etapou výroby je spřádání, kdy se polymer v roztoku protlačuje přes trysku s otvory v řádu tisíců až statisíců o průměru několika desetin mm (Obr. 10) [22].

- Stabilizace (retikulace)

Touto operací převedeme prekurzor na vlákno s termálně stabilní strukturou, které je možné karbonizovat s dostatečným výnosem uhlíku bez poničení vlákna. Doba stabilizace je přibližně 2 hodiny.

- Karbonizace

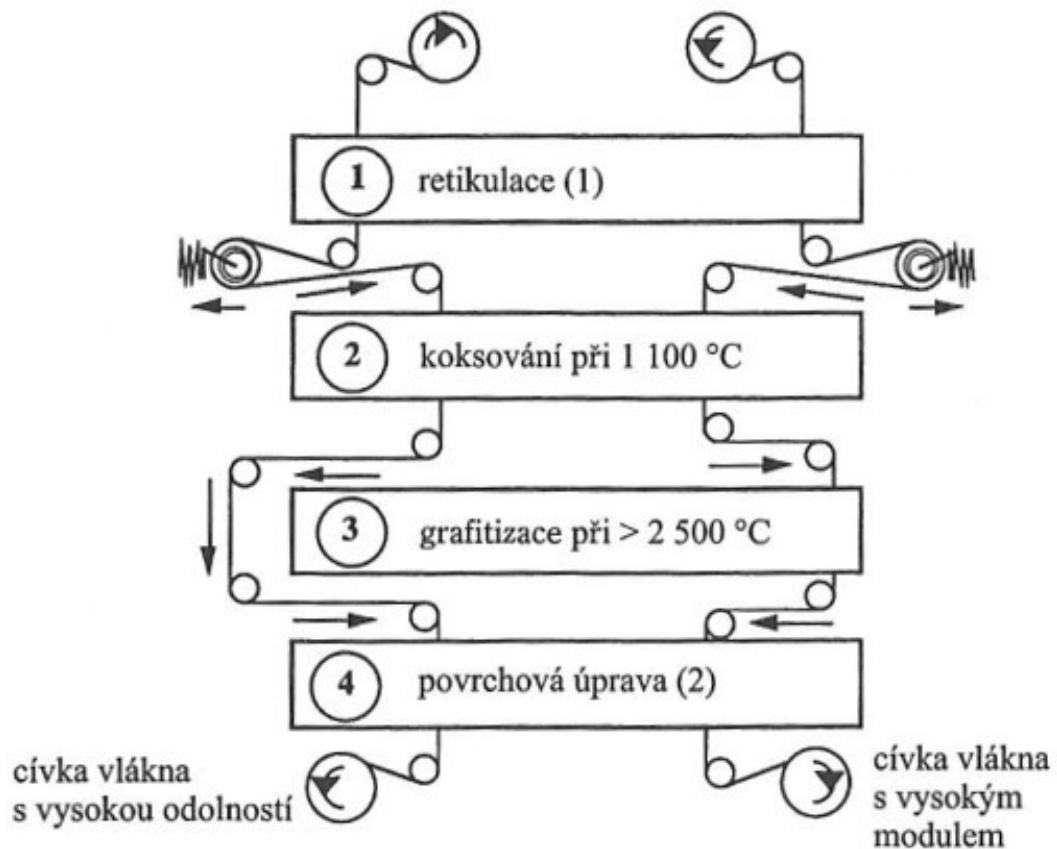
Stabilizovaná vlákna jsou pyrolyzována v inertní atmosféře, která je zajištěná cirkulací dusíku. Karbonizace probíhá při teplotách 1100 – 1400 °C po dobu 30 – 60 vteřin.

- Grafitizace

Tento proces probíhá při teplotách nad 2500 °C v dusíkové, nebo argonové atmosféře v indukčně vyhřívaných pecích po dobu 15 – 20 vteřin.

- Povrchová úprava

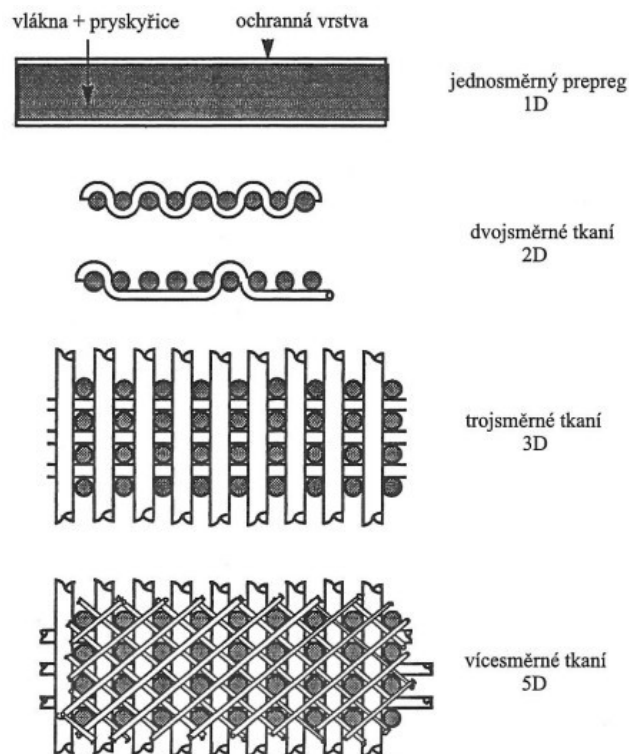
Poslední etapou výroby samotných uhlíkových vláken je jejich povrchová úprava. Jejím cílem je zvýšení možnosti adheze vláken k různým matricím, ze kterých vyrábíme kompozity, v tomto případě se jedná o pryskyřici [22].



Obr. 11: Schéma znázorňující výrobu uhlíkových vláken [22]

Na obrázku 11 je shrnut celý postup výroby uhlíkového vlákna.

Samotné uhlíkové vlákno je sice pevné, ale samo o sobě není schopno vytvořit pevnou strukturu, proto se musí vzájemně propojit s dalšími vlákny. Toto propojení můžeme realizovat pomocí jedno-, dvoj-, troj- nebo i vícesměrného rozložení vláken (Obr. 12). Systémy s dvojsměrným uspořádáním získáváme tkaním, systémy troj- a vícesměrné jsou získávány proplétáním a zaplétáním [9].



Obr. 12: Příklady rozložení uhlíkových vláken [22]

Po utkání, resp. zapletení uhlíkových vláken je nutné je spojit. Jako pojivo se v cyklistice využívá pryskyřice. Pokud se spojuje jedno- či dvojsměrné uspořádání používají se tzv. prepregy. Ty jsou vyráběny napuštěním zesilující struktury pryskyřicí, ta se později stane matricí. Prepregy mají standardní šíři 300 mm, pokud jsou jednosměrně vyztužené. Pokud se jedná o dvoj- či více vyztužené, mají šíři 1 m. Tloušťka se pohybuje od 1 do 3 mm a obsah pryskyřice se pohybuje kolem 35 %. Nejvhodnější pryskyřice jsou pryskyřice epoxidové, se kterými se nejen snadno manipuluje, ale mají výbornou adhezi k uhlíkovým vláknům. Jejich charakteristickou vlastností je i to, že se během tvrzení málo smršťují a mají výbornou odolnost vůči vnějším vlivům. Výroba kompozitů může být uskutečněna následujícími procesy [9]:

- **Navíjení** - materiál je navíjen na otočnou píst'alu.
- **Protlačování** - používá se pro profilované součástky.
- **Formování** - pomocí stlačení nebo injektáží.

#### Technologie výroby rámu:

##### **Tube to Tube**

V překladu trubka do trubky, je technologie spojování trubek, jako tomu bylo u prvních duralových rámu. Spojování, přesněji řečeno lepení, jednotlivých rámových částí do jed-

noho celku je realizováno pomocí spojek z kompozitu (dříve z duralu). Tím, že jsou rámové trubky navíjeny strojově, tak je možné velmi přesně měnit vlastnosti trubky, potažmo rámu kola.

### **Monocoque**

Jde o výrobu ráků z „jednoho“ kusu. Každý rám se skládá dle složitosti konstrukce z 300 – 350 kusů předimpregnované tkaniny. Tyto kusy jsou vyřezávány automatickými řezacími stroji. Většina monocoque ráků je tvořena těmito tkaninami, které jsou ručně vkládány a namotávány na předem připravenou formu ze vzduchových polštářů, která předurčuje tvar rámu. Při namotávání se v místech s větším namáháním vkládá více vrstev, zatímco v místech s nižším namáháním naopak méně. V závěrečné fázi se do formy vloží jádro, které lze připodobnit k balónku, který se po uzavření formy nafoukne. Poté je forma vložena do vakuové pece, která odsaje přebytečný vzduch. Pomocí této technologie lze dosáhnout maximální pevnosti u neuvěřitelně lehkých ráků. Velkou výhodou je i možnost opravy víceméně jakékoliv části rámu. Někdy ovšem může být korekce dražší než samotný rám [6, 9, 14].

Karbon je v současné době nejvíce používaný materiál v cyklistice. Faktem je, že tento kompozit je přibližně pětikrát lehčí a má šestkrát vyšší pevnost než ocel. V čisté formě je sice velmi těžko zpracovatelný, ale v kombinaci např. s kevlarom a epoxidovými pryskyřicemi lze dosáhnout neuvěřitelných vlastností. Nutno zde ale uvést, že rám je konstruován tak, aby byl co nejvíce odolný běžnému zatěžování při jízdě. Problém může nastat při pádu, kdy rám může dostat náraz z jiného směru a v takovou chvíli často dochází k nevratnému poškození.

### ***Shrnutí:***

- Výhody:
- velmi nízká hmotnost při zachování vysoké pevnosti
  - výborně tlumí rázy
  - korozivzdornost
  - neomezené tvarování
  - anizotropie (možnost měnit vlastnosti podle směru vláken)
- Nevýhody:
- náročný na výrobu a zpracování
  - vysoká cena
  - problémy s opravami (náhynost k poškození při pádu)

### 3.4 Slitiny titanu

První hromadná výroba titanových rámu začala v roce 1974. Titan patří mezi neželezné kovy, jehož měrná hmotnost činí  $4,5 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a modul pružnosti v tahu 115 GPa. Titan se v přírodě vyskytuje ve dvou alotropních modifikacích. To znamená, že se prvek vyskytuje ve více strukturních formách, které mají rozdílné fyzikální vlastnosti. Do teploty  $888 \text{ }^\circ\text{C}$  je stabilní fáze alfa, která krystalizuje v těsné hexagonální struktuře. Nad touto teplotou je stabilní fáze beta až po teplotu tavení  $1668 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tato fáze má strukturu kubickou prostorově středěnou. Tento ušlechtilý kov, ze kterého se rámy vyrábějí, je nesmírně drahý a jeho zpracování časově náročné. Titan tak řadíme mezi nejlepší materiály, ale kvůli jeho vysoké ceně je využíván převážně jen v malosériové výrobě. Tato slitina v sobě kombinuje mnoho požadovaných vlastností, přičemž neoptimálnější je přidání legujících prvků, především hliníku a vanadu. Výborný je také jeho poměr pevnosti ku měrné hmotnosti. Mezi hlavní výhody titanu patří nízká náchylnost k únavovému lomu a velmi dobrá korozivzdornost. Nevýhodou je větší náročnost výroby a tendence k iniciaci trhlin v místě vrubu [23, 33, 34].

#### Slitina Ti3Al2,5V

Nejpoužívanější slitina, která kromě titanu obsahuje ještě hliník (3 %) a vanad (2,5 %). Rám vyrobený z této slitiny je při pevnosti blízké oceli výrazně lehčí, nerezaví a má velmi dobrou schopnost tlumit rázy. Nedá se však svařovat na vzduchu, svařování musí probíhat ve speciálních boxech s ochrannou atmosférou z argonu, kde je nutné striktně dodržovat technologický postup. Další důležitou slitinou používanou v cyklistice je Ti6Al4V. Obsah prvků jednotlivých slitin je shrnut v tabulce 6 [6, 7, 34].

Tabulka 6: Obsah prvků v titanových slitinách [26]

Prvek	Obsah prvku [hm. %]						
	Al	V	Fe	O	N	H	C
Ti-6Al-4V	5,75 - 6,75	3,5 - 4,5	max 0,25	max 0,20	max 0,05	max 0,015	max 0,08
Ti-3Al-2,5V	2,5 - 3,5	2,0 - 3,0	max 0,25	max 0,15	max 0,03	max 0,015	max 0,08

### Výroba slitin titanu:

Princip výroby spočívá v působení chlóru a uhlíku na rudy, které obsahují titan. Touto metodou je získáván chlorid titaničitý. Aby bylo možné získat z chloridu titaničitého kov, je nutné ho redukovat roztaveným hořčíkem v argonové atmosféře. Tímto způsobem vznikne tuhá, pórovitá látka. Odstraněním hořčíku a následným přetavením je možné titan používat pro konkrétní výrobky. O tuto moderní technologii výroby titanu a jeho slitin se velmi zasloužil metalurg Dr. William Justin Kroll. Jeho proces je ve velké většině případů používán dodnes [6, 7].

### Aditivní metoda:

Aditivní metoda neboli 3D tisk lze popsat jako postupné vrstvení materiálu. Všechny stroje pro aditivní metodu pracují na principu rozložení počítačového modelu na tenké vrstvy, které stroj přenesou na skutečnou součást. Tato metoda je využívána již několik let převážně u prototypů. V cyklistickém průmyslu se používá poměrně dlouhou dobu při vývoji nových rámu. Dlouhou dobu se však na takto vyrobených prototypy pouze ověřovala reálná funkčnost odpružení a dalších konstrukčních prvků rámu kola. Tyto prototypy byly a jsou vyráběny zpravidla z plastu. Zlom přišel v roce 2014, kdy byl představen první titanový rám vyrobený aditivní metodou (Obr. 14) [33].

Na vývoji této technologie se podílí firma Renishaw, která nabízí stroje pro aditivní výrobu metodou selektivního tavení laserovým paprskem (SLM – Selective Laser Melting). Při vývoji titanového rámu se vycházelo z již známého hliníkového rámu. Kvůli odlišným vlastnostem obou materiálů byl však titanový rám vyráběn aditivní metodou dimenzován pomocí tzv. topologické optimalizace, která je založena na výpočtové metodě konečných prvků. Z částí rámu, kde je menší namáhání, je odebírán materiál, dokud není dosaženo optimální konstrukce z hlediska pevnosti. Díky aditivní metodě je možné vyrobit téměř jakýkoliv výrobek různé tvarové obtížnosti a dosáhnout tak velmi nízké hmotnosti, při zachování požadované pevnosti a tuhosti rámu. Kvůli velkým rozměrům byl finální rám slevpován z několika částí (Obr. 13). Mezi nevýhody aditivní metody na zpracování kovů lze jednoznačně zahrnout vysokou výrobní cenu, která je dána zcela novou technologií a limitní rozměry tisknutých dílů. Z tohoto důvodu není zatím možné vytisknout rám jako jeden celek [33, 35, 40].



Obr. 13: Díly rámu z 3D tisku [40]



Obr. 14: Výsledná sestava titanového rámu [40]

Vzhledem k podstatě aditivního postupu výroby je možné recyklovat téměř všechnen nepoužitý materiál. Tato technologie by tak v budoucnu mohla cenově konkurovat standardním metodám výroby špičkových rámu jízdních kol připravovaných na míru jejich uživatelům. Díky výbornému slinutí materiálu vyniká titanový rám vytvořený 3D tiskem nejen svou hmotností, ale také vysokou pevností. V tomto případě byla snížena hmotnost rámu o 33 % proti standardnímu rámu z hliníku a test zatížení držáku sedla ukázal, že bylo dosaženo šestkrát vyšší pevnosti, než určuje norma ČSN EN ISO 4210 [35, 40].

Titan je v cyklistice vnímám jako jeden z nejexkluzivnějších materiálů. Vyniká výborným poměrem mezi pevností a hustotou. Dalšími unikátními vlastnostmi těchto slitin je výborná korozní odolnost a vysoký komfort rámu, který je dán nízkým modulem pružnosti. Z důvodu odolnosti vůči korozi se lze často setkat s rámy bez finální povrchové úpravy (laků), kde lesk titanu jen podtrhuje jeho exkluzivitu.

### ***Shrnutí:***

Výhody:

- výborný poměr pevnosti a hmotnosti
- výborně tlumí rázy
- odolnost vůči korozi

Nevýhody:

- náročný na výrobu a zpracování
- vysoká cena (jen za rám okolo 60 000 Kč)

### 3.5 Porovnání jednotlivých materiálů

Byly zde uvedeny jednotlivé konstrukční materiály, které se na dnešním trhu cyklistiky používají nejčastěji. Pro názornost jsou shrnuty a porovnány tyto materiály mezi sebou.

Tabulka 7: Porovnání mechanických vlastností jednotlivých materiálů [33]

Materiál		Hustota	Modul pružnosti v tahu	Mez pevnosti v tahu	Mez elasticity	Tažnost
		[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
Ocel	25CrMo4	7800	200	800	600	14
Slitiny hliníku	Al 6061	2700	69	325	240	12
Slitiny titanu	Ti6Al4V	4420	114	1050	910	30
Uhlíkové vlákno	Ultra High Modulus	-	550	4560	-	1,2

V tabulce 7 jsou shrnuty mechanické vlastnosti materiálů nejčastěji se vyskytujících v cyklistice. Z této tabulky je vidět, že suverénně nevyšší modul pružnosti a mez pevnosti v tahu mají uhlíková vlákna (ultra vysoko modulové), resp. kompozity na nich založené. Zároveň jsou ale velmi křehká, což může způsobovat problémy při výrobě rámu. Pokud srovnáme klasické materiály jako ocel, slitiny hliníku nebo titanu vůči uhlíkovým kompozitům z hlediska možnosti ovlivnění mechanických vlastností, tak je největší výhodou kompozitních materiálů možnost optimální dimenzace profilů rámových trubek. Díky možnosti vrstvení jednotlivých uhlíkových vláken je možné dosáhnou různých vlastností v různých částech rámu. Navíc to lze ovlivnit nejen tloušťkou stěny, ale také směrovým uspořádáním jednotlivých uhlíkových vláken.

Tabulka 8: Přehled konkrétních slitin a jejich vlastnosti

materiál	specifikace	mez pevnosti	mez kluzu	hustota	Modul pružnosti	Cena 1 kg	
		Rm [MPa]	Re [MPa]	[kg*m <sup>-3</sup> ]	E [GPa]	[USD]	
ocel	11 523	790	600	7900	200	20	
	25CrMo4	800					
	XCR	1250-1350	900-1000	7800		velmi vysoká	
	Niobium	1050-1250	1030				
	Nirvacrom	950-1050	750				
Al slitiny	6061.T6	340	240	2700	69		30
	6066.T6	440					45
	7005.T6	390				35	
	7020.T6	350	280				
Ti slitiny	Ti3Al2,5V	800	910	4480	107	110	
	Ti6Al4V	1000		4420	114		
uhlíková vlákna	Středně mod.	4000	-	1750	550	350	
	Vysoko mod.	6000				450	



V tabulce 8 je přehled všech konkrétních slitin, kde jsou názorně vidět rozdíly parametrů u jednotlivých materiálů. Tyto parametry mají často rozhodující vliv na to, jaký materiál pro výrobu rámu zvolíme. Všechny hodnoty v tabulce jsou průměrnými hodnotami.

Zde je u uhlíkových vláken uvedena i průměrná hustota materiálu, která ze všech používaných materiálů vykazuje nejnižší hodnoty. Hmotnost je tudíž taktéž nejnižší v případě uhlíkových vláken. Tato pozitiva jsou však vykoupena vysokou cenou, která je v tabulce také uvedena, v porovnání s ostatními materiály.

Z výše uvedených skutečností proto nemůžeme tvrdit, že nejlepší rámy jsou z kompozitů a naopak nejhorší ocelové, protože se jedná o individuální potřeby a dostupné finanční prostředky cyklisty. Ne každý si totiž může dovolit utrácet tisíce za karbonový rám nebo jeho požadavkům dokonce karbonový rám nevyhovuje z důvodu křehkosti. Je tedy výhodné volit kompromis mezi využitelností, očekávanými požadavky a finančními možnostmi jednotlivce. Po zohlednění těchto faktorů bychom měli dospět k materiálu, u kterého dokážeme využít co nejvíce jeho potenciál.

### 3.6 Alternativní konstrukční materiály

Alternativní materiály najdou využití především tam, kde běžné materiály nejsou snadno dostupné, ať už z finančních či jiných důvodů. Francouzský designér Tristan Kopp navrhl rozebíratelný systém mufen (Obr. 15), což umožnilo libovolnou změnu materiálu trubek. V tomto případě se jedná o nepracované větve, ale testovaly se i další varianty, jako například násada na lopatu, bambus i konvenční hliníkové a ocelové trubky. Toto řešení podporuje využití lokálních zdrojů a umožňuje upravovat geometrii rámu a tím i změnu jízdních vlastností [23].



*Obr. 15: Kolo designéra Tristiana Koppa [23]*

### 3.6.1 Bambus

Jako první přišla s využitím bambusu v cyklistice firma Bamboo Cycle Co. Ltd. v roce 1895. Bambus byl vlepován do železných mufen, podobně jako to někteří výrobci dělají i dnes. Toto kolo nebylo na svou dobu levné, ale cílem bylo přesvědčit jeho technickými parametry. Bambusové rámy se však od té doby nezačaly sériově vyrábět. Až roku 1987 se do stavby nového kola z bambusu pustil Craig Calfee a o dva roky později založil firmu Calfee Design. Nejdříve ho lákala pouze estetická stránka bambusového rámu, brzy ale zjistil, že tento materiál má i další přednosti. Pohlcuje vibrace, je dostatečně tuhý a navíc velmi lehký. Ve srovnání s titanovými slitinami nebo karbonovými vlákny je sice o něco těžší, ale výroba je podstatně šetrnější k životnímu prostředí než u běžných materiálů. Dnes tato firma vyrábí jedny z nejkvalitnějších rámu z tohoto materiálu a navíc s úspěchem do-  
tuje v Ghaně výrobu bambusových nákladních kol (Obr. 16) [24].



*Obr. 16: Výroba bambusových kol v Ghaně [50]*

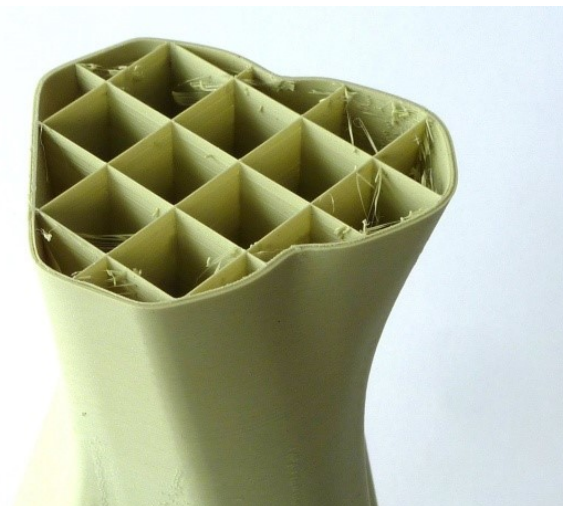
Další výhodou tohoto materiálu je cena. S výjimkou epoxidové pryskyřice se suroviny pro jeho výrobu najdou volně se vyskytující v tropických oblastech, což předurčuje využití v mnoha rozvojových zemích. Pro výrobu zde není potřeba elektřina a drahé nástroje a stejně snadná je i oprava defektů rámu. Nevýhodou zde však představuje náchylnost k tzv. interlaminárnímu lomu a vlivu vlhkosti materiálu na výsledné vlastnosti. Tyto problémy byly důkladně prostudovány ve studii uveřejněné v časopisu *Construction and Building Materials* v článku *The influence of humidity on mechanical properties of bamboo for bicycles*. V této práci zkoumali vzorky bambusu uchovávaných ve vlhkosti od 60 do 80 %. Testy prokázaly, že mechanické vlastnosti (konkrétně smykový modul) poklesly v bambusu vystavenému vysoké vlhkosti vzduchu a bambus vykazoval větší tažnost při torzi [21, 24, 41].

Trendem tohoto odvětví jsou tzv. bambusové kompozity. Tento kompozit se skládá z epoxidové matrice a výztuže z biaxiálního bambusového vlákna. Výroba je velmi podobná výrobní technologii používané u Monocoque rámu z uhlíkových kompozitů. Na Slovensku se bambusovými kompozity a výrobou rámu z nich zabývá Brano Mereš pod značkou BME [24].

### 3.6.2 Polymer

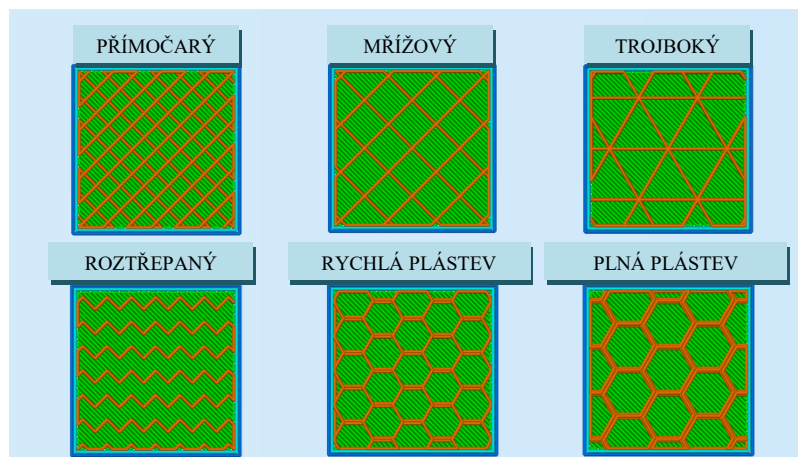
V dnešní době, kdy na trhu dominují plasty, je pochopitelné, že i rámy jízdních kol vyrobených z těchto materiálů se testují, jak by obstály z pohledu technologie výroby a mechanických vlastností.

Italská firma Eurocompositi v roce 2015 představila projekt rámu kola vytištěného na 3D tiskárně s využitím biopolymeru získaného z rostlinného materiálu. Tento projekt s názvem Aenimal také uspěl na veletrhu Eurobike, kde získal zlatou cenu. Firma Eurocompositi použila pro koncept svého rámu jízdního kola biopolymer PLA (kyselina polymléčná), který je vyroben z rostlinných zdrojů jako je kukuřice nebo cukrová třtina. Kyselina polymléčná patří do skupiny biodegradabilních polyesterů, což znamená, že je postupně odbouratelná z přírody účinkem povětrnosti a mikrobiálních procesů. Takovýto materiál je tedy kompostovatelný [42].



*Obr. 17: Profil trubky z PLA vytištěné na 3D tiskárně [42]*

Na výrobu takovýchto rámu se využívá tzv. FDM (Fused Deposition Modeling) technologie 3D tisku, která umožňuje efektivní výrobu vysoce kvalitních modelů z různých materiálů. Podobně jako u aditivní metody na titanové rámy jsou i zde nejprve vytištěny jednotlivé díly, které jsou následně spojeny do jednoho celku. Výhodou polymerních materiálů je široká škála vlastností, které je možné měnit dle potřeby. Hledají se tedy správné rozměry a tvary jednotlivých trubek, aby se zachovala potřebná míra tuhosti a trvanlivosti. V dnešní době už jsou tyto materiály dobře známy a na trhu jsou dostupné i vysokopevnostní speciální polymery rovněž vhodné pro tuto aplikaci. Zda se tento koncept dostane do sériové výroby, však zatím zůstává otázkou [42].



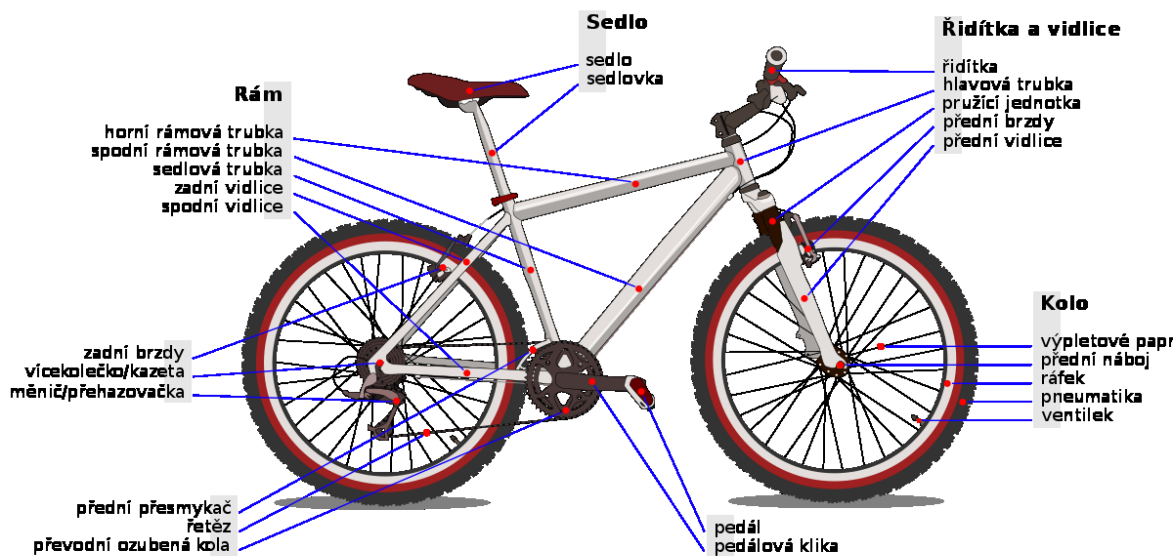
Obr. 18: Vybrané typy vnitřních výplní profilů

Jak můžeme vidět na obrázku 17, je zde možné konfigurovat vnitřní strukturu trubek pro docílení optimální pevnosti při zachování velmi nízké hmotnosti. Existuje několik konfigurací vnitřní struktury profilů (Obr. 18) a hledá se kompromis mezi výslednou pevností a množstvím materiálu, který ovlivňuje konečnou cenu a hmotnost rámu. Obrázek 19 zase poukazuje na to, jak variabilní u tohoto materiálu mohou být tvary trubek z důvodu neomezených možností tisku namísto výroby klasickými technologiemi jako je např. svařování. Hustota u polymerů se pohybuje v průměru kolem  $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  (záleží na typu), což je doposud nejnižší hustota, o které zde byla zmínka. Všechny tyto vlastnosti a navíc nenáročné požadavky na zpracování jen potvrzují fakt, že nabídka materiálů pro aplikace v cyklistice se v budoucích letech může výrazně měnit.



Obr. 19: Výsledný model rámu firmy Eurocompositi [51]

## 4 SOUČÁSTI JÍZDNÍHO KOLA



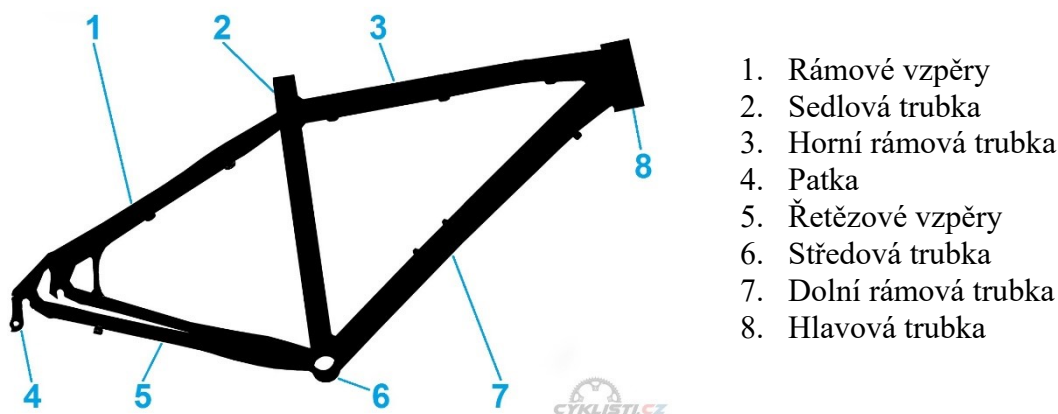
Obr. 20: Schéma znázorňující součásti jízdního kola [52]

Značení dílů jízdních kol předepisuje norma ČSN ISO 6692 a terminologie podléhá normě ČSN EN ISO 4210-1 (Obr. 20). Převážně jsou však rozebrány konstrukčně nejdůležitější prvky, jako rám, vidlice, kola atd. z pohledu jak materiálového, tak mechanického.

### 4.1 Pevné součásti a vidlice

O rámu a vidlici lze jednoznačně říct, že jsou nejdůležitějšími částmi kola, které určují celkovou kvalitu, oblast použití, vlastnosti a cenu jízdního kola jako celku.

#### 4.1.1 Rám



Obr. 21: Rám kola [53]

**Horní rámová trubka**

Délka horní trubky předního trojúhelníku výrazně ovlivňuje komfort a aerodynamiku. Určuje vzdálenost řídítek od sedla a tím i pozici jezdce.

**Dolní rámová trubka**

Zajišťuje spojení hlavové a středové trubky. Její délka předurčuje úhel sklonu hlavové trubky.

**Hlavová trubka**

Slouží k uložení hlavového složení, které do rámu přenáší síly z předního kola pomocí ložisek. Hlavový úhel má zásadní vliv na stabilitu kola. U horských kol se používají zpravidla menší úhly než u silničních.

**Patka**

Prvek umožňující spojení zadního náboje kola k rámu. Často zde bývá umístěn ještě komponent k uchycení zadní přehazovačky. Tento vyměnitelný a levný komponent slouží jako pojistka, která praskne při nárazu do přehazovačky dřív, než by došlo k jejímu poškození.

**Středová trubka**

Zde je uloženo středové složení skládající se ze dvou ložisek, ke kterým jsou připevněny kliky pedálů. Důraz je zde kladen na dokonalou souosost, která bývá mnohdy podceňována a musí se po čase znovu obrobit.

**Řetězové vzpěry**

Jedná se o dvě trubky spojující středovou trubku s patkou, ve které je uchyceno zadní kolo. V oblasti středové trubky bývají zahnuté, aby došlo k rozšíření, což je nutné z důvodu zachování prostoru pro zadní pneumatiku.

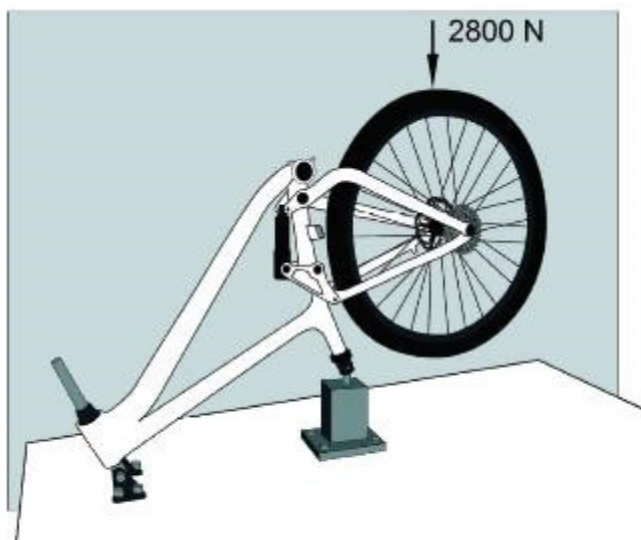
**Rámové vzpěry**

Zde se opět jedná se o dvě trubky, které spojují sedlovou trubku s patkou zadního kola. Opět zde musí být rozšíření u sedlové trubky pro zachování prostoru pro plášť.

**Sedlová trubka**

Slouží k vyztužení rámu v místě, kde dochází k největšímu namáhání. Zároveň je zde uložena sedlovka, pomocí které si můžeme volit výšku sedla [23].

Pod pojmem rám si lze představit soustavu trubek, které jsou různými technologiemi spojeny v jeden celek. Lze jej rozdělit na hlavní rámový trojúhelník a zadní stavbu. Hlavní rámový trojúhelník je tvořen sestavou hlavové, sedlové, horní a dolní rámové trubky. Zadní stavba se pak skládá z rámové a řetězové vzpěry a patky (Obr. 21). Konstrukce zadní stavby nám určuje, pro jaký typ kola je rám určen. Obecně tyto typy lze rozdělit na rámy pevné (tzv. hardtail) a pohyblivé (fullsuspension), které navíc obsahují tlumič [33].



Obr. 22: Testovací stolice na rámy s tlumičem ČSN EN ISO 4210-6

Na obrázku 22 je znázorněné zkušebnictví na testovací stolici pro rámy obsahující tlumič. Tuto zkušební metodu stanovuje norma ČSN EN ISO 4210-6.

Na výrobu takovýchto rámu se dnes používají všechny výše uvedené konstrukční materiály, které zásadně ovlivňují vlastnosti kola jako například hmotnost, pevnost či schopnost absorbovat rázy.

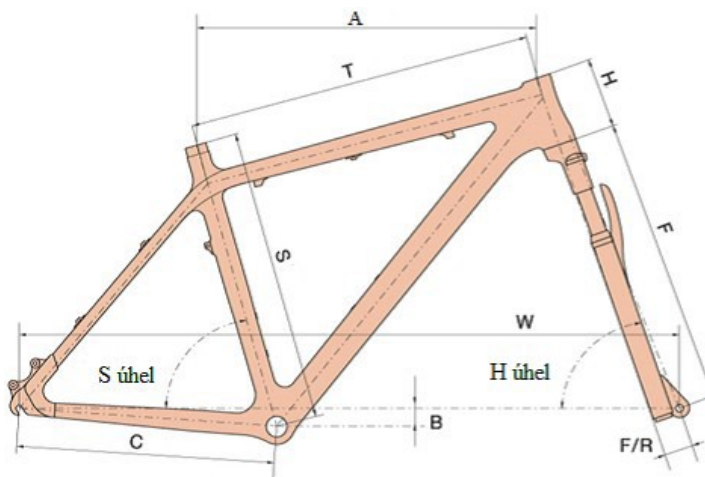
- Geometrie rámu

Označení geometrie rámu představuje délky rámových trubek a úhly pod kterými jsou spojeny. Je pochopitelné, že délky a tvar jednotlivých trubek mají zásadní vliv na jízdní a mechanické vlastnosti kola. Největší vliv má délka horní rámové a sedlové trubky a úhel, který spolu tyto trubky svírají. Dále je velmi významný úhel hlavové trubky, který je dán délkou spodní rámové trubky.

Nejpoužívanější jsou geometrie, které vychází z typu „Diamond“, jenž je tvořen dvěma trojúhelníky (Obr. 23). Odstranění či přidání rámových trubek patří mezi alternativní kon-



strukční úpravy. Takovýmito úpravami vznikly např. rámy bez sedlové trubky nebo speciální kolo s uchycením předního nebo zadního kola pouze na jedné straně konstrukce. Opět se zde zkouší hledat alternativa, kdy by došlo ke snížení hmotnosti, ale zachovávala by se dostatečná pevnost. Mezi další typ můžeme například zařadit i rám tvaru písmene Y. V tomto dělení je možné dále pokračovat, ale pro tuto práci budou popsány jen základní délky a úhly nejběžnější konstrukce [23].



Obr. 23: Důležité parametry geometrie rámu [54]

#### Významné úhly:

S úhel – úhel sedlové trubky

H úhel – úhel mezi osou hlavové trubky a spojnicí osy předního a zadního kola

#### Významné délky:

S – délka sedlové trubky od středu středového složení po její vrchol

A – horizontální délka horní rámové trubky

T – skutečná délka horní rámové trubky

H – délka hlavové trubky

W – rozvor kol (vzdálenost os předního a zadního kola)

C – délka řetězové vzpěry

F – délka vidlice od spodní části hlavového složení po střed náboje předního kola

F/R – vzdálenost mezi osou hlavové trubky a osou vidlice měřené ve středu předního kola, tzv. “Off Set“

B – vzdálenost mezi pomyslnou spojnicí středu kol a osy středového složení (měřeno od středového složení) [23].

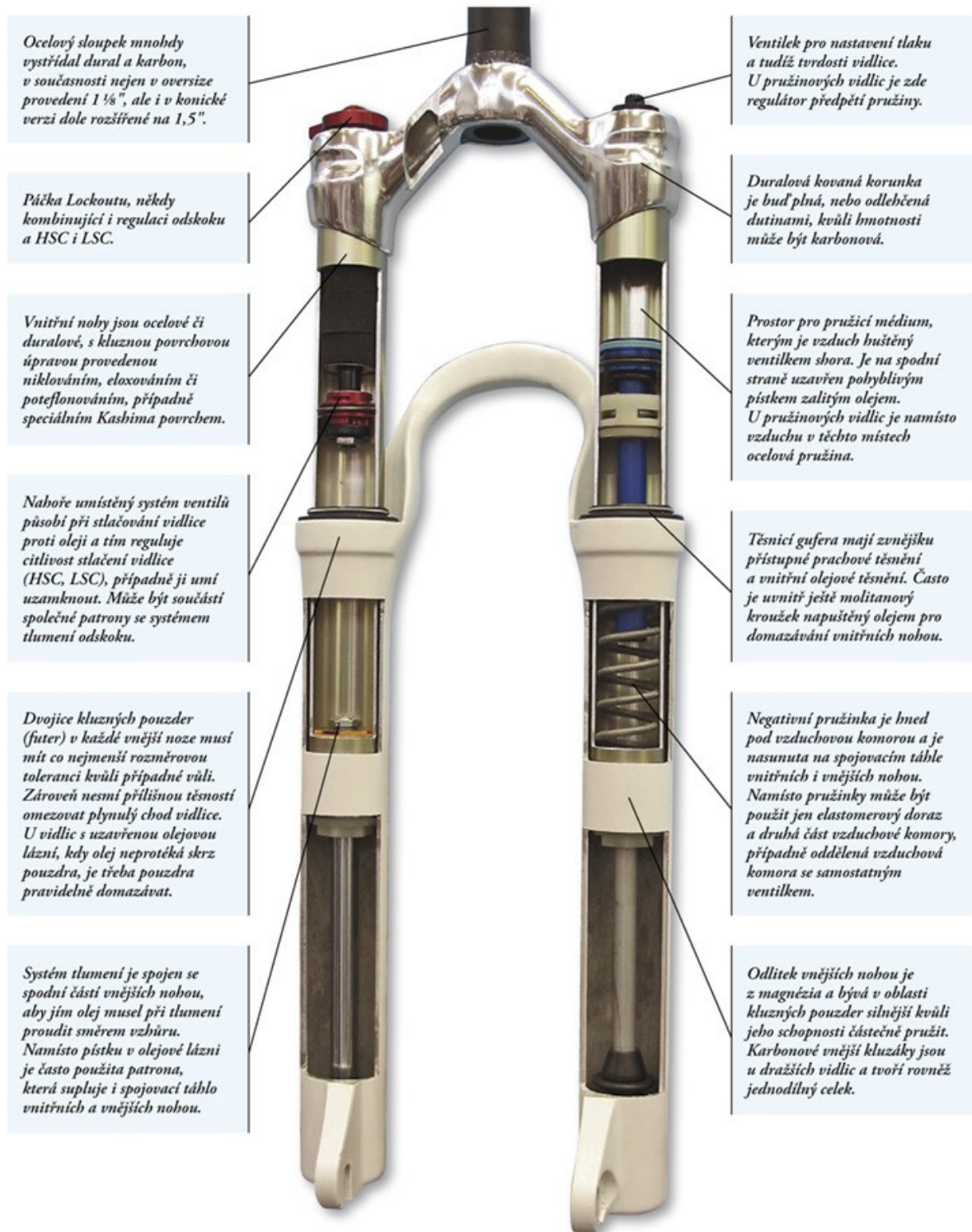
#### 4.1.2 Vidlice

Nezbytnou součástí každého jízdního kola je vidlice, která spojuje přední kolo s rámem a řídicím ústrojím. Dříve byly vidět pouze vidlice pevné, dnes jsou na trhu i odpružené, které našli své uplatnění především u horských kol a z velké části i u krosových či trekinkových modelů. Ovšem i pevné vidlice se s výhodou používají u silničních a speciálních tzv. streetových kol či BMX.

Poprvé se s odpruženými vidlicemi od firmy RockShox představili závodníci na horských kolech. Bylo nutné zajistit větší jízdní komfort při překonávání překážek a jízdě v terénu, což právě odpružená vidlice splnila. Vidlice totiž není jen prosté odpružení, ale obsahuje zpravidla dva systémy, a sice tlumení a pružení. Tlumení (elastomer) pohlcuje rázy a vibrace a pružení (ocelová pružina, stlačený vzduch) se stará a přilnavost kola k povrchu.

Materiály samotného těla vidlice jsou z oceli, duralu, karbonu nebo titanu, avšak u vnitřních nohou se aplikuje kluzná povrchová úprava niklováním, eloxováním či poteflonováním, případně se lze setkat se speciálním Kashima Coating povrchem. Tato technologie se vyznačuje zlatavým zbarvením s velmi nízkým koeficientem tření a vysokou odolností proti poškození. Tento proces spočívá ve vyplňování mikroskopických pórů na povrchu kluzáku sulfidem molybdenu pomocí elektrické indukce. Touto povrchovou úpravou tak lze docílit až čtyřikrát lepších třecích vlastností a vysoké odolnosti vůči opotřebení v porovnání s běžně používaným anodizovaným hliníkem [30].

Na trhu existuje spousta typů a technologií určených k jednotlivým cyklistickým disciplínám, které zde nyní ve stručnosti uvedu.



Obr. 24: Popis vidlice [55]

Na obrázku 24 je detailní popis a terminologie jednotlivých dílů odpružené vidlice. Z obrázku je taky patrné, že na detailní studium vidlice by rozsah této bakalářské práce nebyl dostačující. Z tohoto důvodu uvedu jen stručný princip jednotlivých typů vidlic a k celkové funkci a systémům používaných v této oblasti se odkážu na uvedený obrázek.

Princip pružení zjednodušeně spočívá ve vzájemném zajištění dvou teleskopů do sebe. Spojení vidlice a rámu zajišťuje sloupek (krk vidlice) a korunka, jejíž součástí jsou nalísované, vlepené či našroubované vnitřní nohy. V rámu je pro korunku nachystaná hlavová trubka v provedení oversize nebo kónické verzi. Zajištění a vymezení vůlí mezi rámem a vidlicí zajišťuje hlavové složení opatřené ložisky a stavěcím šroubem. Na korunku vidlice jsou nasunuty vnější kluzáky, nejčastěji magneziové, odlité z jednoho kusu, případně karbonové nebo jejich kombinace a duralu. Oba díly se vůči sobě pohybují díky kluzným pouzdrům, která jsou uvnitř vnějších kluzáků vlisovaná, nalepená nebo nasunutá. Kvalita kluzných pouzder ovlivňuje provozní vůli vidlice „vakl“, který vzniká buď jejich opotřebením, nebo je vlivem větší tolerance rozměrů daný už z výroby. Aby nám kluzáky nevyjelely z vnitřních noh ven, bývají spojeny táhlem nebo patronou. Tato táhla a patrony, které propojují oba navzájem se proti sobě pohybující díly, svojí konstrukcí ovlivňují převážnou většinu funkcí vidlice [27].

V současnosti rozlišujeme tři základní typy vidlic – pevná, pružinová a vzduchová.

#### Pevná vidlice

Jak už bylo zmíněno, tato vidlice bývá využívána především u silničních kol nebo u nejnižších modelů kvůli finanční úspoře. Má však své nesporné výhody, kterými jsou nízká váha, tuhost a v neposlední řadě nevyžaduje pravidelný servis, čehož se často využívá u expedičních modelů. Její významná tuhost pak zajistí maximální přenos energie vynaložené při šlapání.

#### Pružinová vidlice

Tyto vidlice představují nejlevnější způsob odpružení. Konstrukčně se jedná pouze o pružinu s elastomerem zapouzdřených ve vnějších nohách vidlice. Lepší modely pak využívají kombinací pružiny s olejovým nebo vzduchovým tlumičem.

#### Vzduchová vidlice

Tento typ obsahuje tlakovou vzduchovou komoru s olejovým tlumičem. Výhodou zde je nižší hmotnost a snadné nastavení chodu podle hmotnosti a požadavků jezdce. Chod vidlice lze nastavit jednoduše pomocí dofoukání vzduchové komory na požadovaný tlak pomocí speciální pumpičky, zatímco u pružinových je nutné vyměnit celou pružinu. Je zde využívána funkce lock-out neboli uzamykání vidlice, kdy dojde k uzavření průtoku oleje, při-

padně jeho přivření tak, aby vidlice nepružila nebo dovolila propružit pouze několik milimetrů. Této funkce lze využít například při jízdě na zpevněném povrchu, kdy je možné vidlici omezit pružení pro větší efektivitu při šlapání. Dále zde rozlišujeme vidlice jednodukomorové (solo air), kde je negativní a pozitivní komora spojena a hustíme pouze jedním ventilkem. Pak dvou-dukomorové (dual air), kde se hustí zvlášť pozitivní a negativní komora. Takto lze dosáhnout ještě individuálnějšího nastavení [28].

Celá problematika vidlic je však mnohem obsáhlejší. Uvedu zde pojmy, se kterými se zde setkáváme, ale pro jejich detailní popis se odkážu na literaturu.

**Pružení** – Jev daný zajížděním dvou dílů do sebe. Pružení zajišťuje pružina, vzduch případně elastomer.

**Stlačení** – Stlačením pružícího média dochází tedy k pružení. Mírou stlačení lze ovlivňovat tuhost vidlice.

**Zdvih** – Udává rozsah pružení v milimetrech. Označuje hodnotu, o kolik jsou dva díly vidlice do sebe schopny zajet.

**Tlumení odskoku** – Ovlivňuje pohyb opačný vůči pružení, tedy roztahování vidlice na původní hodnotu zdvihu. Tento faktor je důležitý, aby vidlice příliš nekopala do řídítek, nebo aby naopak dlouho nebyla stlačená a nechovala se pak jako pevná.

**Tlumení komprese** – Komprese neboli stlačení je vlastně míra zamáčknutí do zdvihu. U komprese rozlišujeme vysokorychlostní (HSC - High Speed Compression) nebo nízkorychlostní (LSC - Low Speed Compression). HSC představuje systém podobný lock-out, tedy zamezení průtoku oleje, který umožní propružení až s nárazem určité síly. LSC zase ovlivňuje chod vidlice do zdvihu při zatížení jezdce např. při brzdění [27, 28].

### 4.1.3 Řídicí ústrojí

Zprostředkovává spojení a ovládání předního kola s rámem a řídítky. Skládá se tedy z hlavového složení (umístěném v hlavové trubce rámu), představce a řídítek. Zkušební postupy pro řízení předepisuje norma ČSN EN ISO 4210-5.

#### Hlavové složení

Soustava dvou axiálně zatěžovaných ložisek, vložených nebo nalisovaných v hlavové trubce rámu kola. Rozlišujeme dva typy podle konstrukce na závitové a AHEAD hlavové složení. Se závitovým hlavovým složením se dnes setkáváme pouze u starších, nebo základ-

ních modelů. Hlavové složení AHEAD (Obr. 25) má větší styčnou plochu mezi představcem a sloupkem vidlice. Toto hlavové složení se dále dělí na klasické, polointegrované, integrované a tzv. tapered kdy má každé ložisko jiný průměr (spodní větší než horní), což zajišťuje vyšší tuhost spojení. U takového složení musí mít však i krk vidlice kónický tvar [33].



Obr. 25: Součásti hlavového složení [56]

### Představec

Spojuje krk vidlice s řídítky. K dispozici jsou různé konstrukce a provedení, zejména však pevné a stavitelné. Řeší se zde délka a úhel sklonu představce, čímž lze doladit dokonalý posed jezdce. Používají se stejné konstrukční materiály jako u rámu kol.

### Řídítka

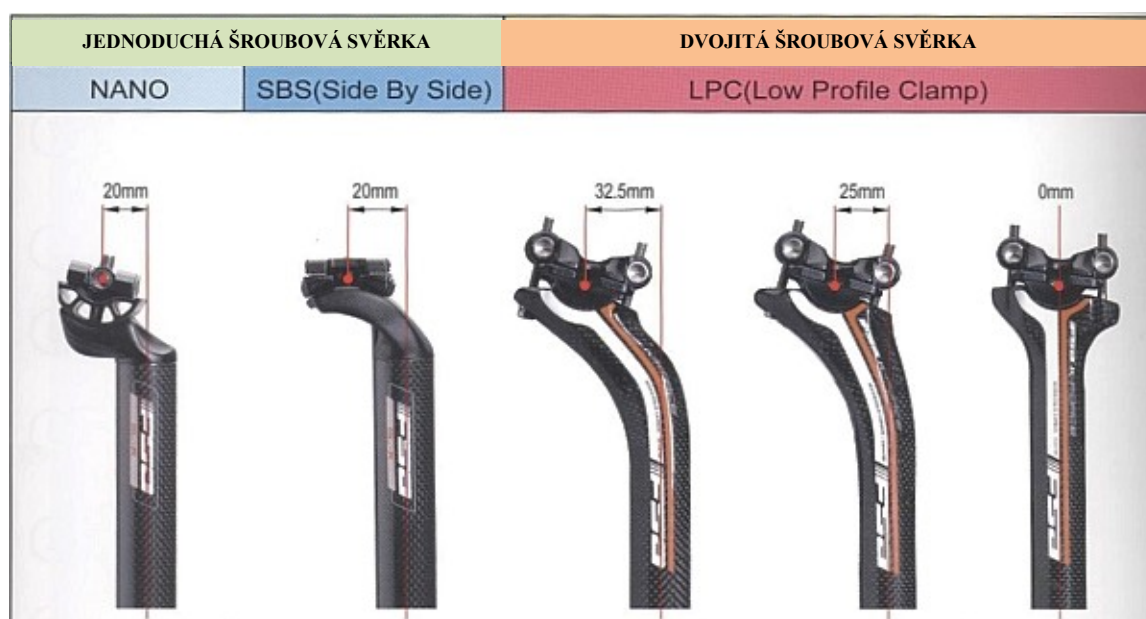
Umožňují komfortní ovládání předního kola. Vyrábí se v různých provedeních podle jízdní disciplíny. Rozlišujeme řídítka rovná (Flat Bar), která se využívají na sportovní a závodní jízdu, vlašťovky (Reiser Bar) dovolující vzpřímenější a pohodlnější posed. Využití nacházejí především v technicky náročnějších oblastech, kde díky často větší šířce a výšce úchopu umožňují vyšší ovladatelnost. Dále jsou řídítka silniční (berany) a další speciální typy. Materiály opět obdobné (ocel, slitiny hliníku, karbon).

#### 4.1.4 Sedlová část

Skládá se ze sedla a sedlové trubky (sedlovky). Zkušebnictví pro sedlo a sedlovku stanovuje norma ČSN EN ISO 4210-9.

##### Sedlová trubka

Zajišťuje spojení sedla s rámem, přičemž dovoluje nastavení výšky posedu. Rozlišujeme sedlovky pevné a teleskopické (nastavitelné během jízdy ovladačem na řídkách pomocí hydrauliky). Posed jezdce lze ovlivnit výškou sedla a pomocí tzv. offsetu (Obr. 26) lze ještě doladit vzdálenost sedla od řídek. Materiály jsou shodné jako u rámu.



Obr. 26: Druhy offsetů na sedlovkách [57]

##### Sedlo

Součástí jízdního kola, která nejvíce přichází do styku s lidským tělem, proto je zde pozornost věnována především komfortu. Tvary vychází z anatomické stavby pánve a stylu jízdy, pro kterou je kolo konstruováno. Pro zvýšení komfortu se vyrábějí sedla s gelovou výplní. Kostru sedla ovlivňuje především materiál, z něhož je vyrobena. Nejlepší volbou je kostra z karbonu, jehož výhody při absorpci rázů byly popsány výše. Ližiny umožňují posuv a náklon na sedlové trubce pro nastavení optimálního posedu. Vyrábějí se z karbonu, titanu nebo chrom-molybdenové oceli. Potah sedla bývá vyroben z kůže (přírodní či syntetické). Někdy bývá potah vyztužen v exponovaných částech kevlarovými vlákny proti oděru.

## 4.2 Pohonný systém

Mechanismus přenášející vynaloženou rotační energii ze šlapání na zadní kolo. Tento přenos je zprostředkován soustavou, jejíž části nyní stručně rozeberu. Zkušební metody pro systém pohonu a pedálů jsou stanoveny normou ČSN EN ISO 4210-8.

### 4.2.1 Středové složení

Dvě ložiska zprostředkovávající spojení rámu s klikami a pedály. Dříve se používaly osy pevné (klínkový střed, čtyřhran s úkosem). Dnes převažují osy duté (integrované) např. Hollowtech a Octalink. Nejvyšší tuhost představuje systém integrované osy a kliky v jednom celku. U tohoto spojení jsou však ložiska vně středové trubky rámu, což zapříčiní jejich expozici nečistotám a vlhkosti, a pokud nejsou perfektně utěsněna, omezuje se jejich chod a životnost [17].

#### Kliky

Spojují pedály se středovým složením kola. Umožňují šlapání vytvořením ramena, čímž dojde ke zvýšení krouticího momentu. S klikami jsou spojeny také převodníky neboli přední ozubená kola pohánějící řetěz.

#### Pedály

Představují plochu pro bezpečné uchycení podrážky boty. Obsahují závit pro spojení s klikou a ložisko, umožňující volný rotační pohyb. Pro tuto funkci se používají pedály standardní, nášlapné a platformové. Nášlapné vyžadují speciální obuv s klipsem (tretry), který zacvakne do pedálu. Takovéto spojení je nejefektivnější (dovoluje záběr i směrem vzhůru) a taky nedovolí sklouznutí boty například za vlhka. Ovšem pro disciplíny jako sjezd nebo BMX se nehodí z důvodu právě pevného spojení. Pro tyto disciplíny se využívají pedály s platformou (široké) obsahující tzv. piny (ocelové šroubky vystupující z pedálu), které se zakousnou do podrážky a pevně drží botu, kterou je možné kdykoliv dát na zem a zamezit tak případnému pádu. Pedály se vyrábí z plastu (nejlevnější), oceli nebo slitin hliníku a osa nejčastěji z Cr-Mo oceli.



#### 4.2.2 Pohonné ústrojí zadního kola

Řetěz za pomoci tzv. kazety neboli zadních ozubených kol (pastorků) roztáčí náboj zadního kola (Obr. 27). Dnes existují kazety až o 12 pastorcích, což zvyšuje počet převodů a umožňuje tak jízdu v různých náročnostech terénu. Kazeta je s nábojem spojena tzv. volnoběžným unašečem (ořechem). Ořech dovoluje volnoběžné otáčení kola, aniž by roztácel pastorky a tím i kliky pedálů např. při jízdě z kopce. Tuto funkci zajišťují kuličková ložiska v něm zapouzdřená. Všechna ozubená kolečka pohonného systému jsou vyráběna z vysokopevnostní oceli, často s pochromovanou úpravou, a u nejnovějších trendů, kde se snižuje počet převodníků a zvětšuje počet pastorků (1x12 – 1 převodník a 12 pastorků), se největší pastorek vyrábí z hliníku pro ještě větší úsporu hmotnosti [18].



Obr. 27: Pohonné ústrojí zadního kola [33]

#### 4.2.3 Řetěz

Řetěz přenáší sílu z převodníků na pastorky kazety. Skládá se z vnitřních a vnějších destiček, mezi nimiž jsou vloženy kroužky a dohromady jsou spojeny čepy (Obr. 28). Řetěz se volí podle počtu pastorků, což ovlivňuje jeho délku a šířku. Počet článků bývá nejčastěji v rozmezí 106 – 116 článků [29].



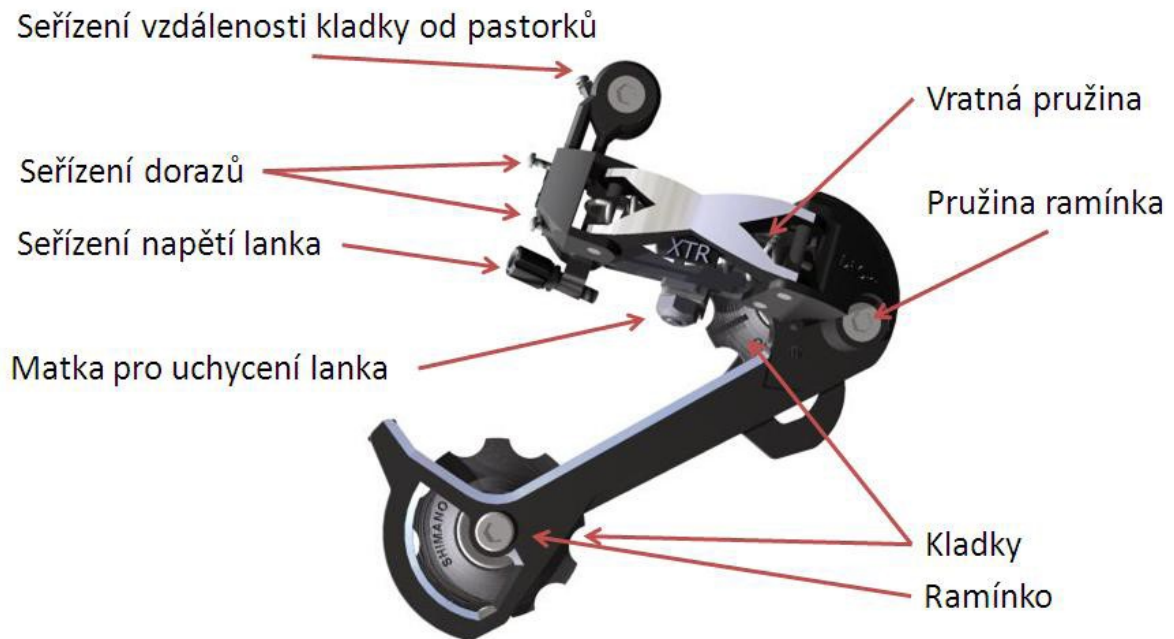
Obr. 28: Části řetězu [29]

Řetěz se používáním postupně vytahuje a vybrušuje v místech ohybu (zvětšuje se jeho délka), přičemž vybrušování lze omezit pravidelným čištěním a mazáním. Důležité je včas odhalit a vyměnit vytahaný řetěz, jinak by došlo k nevratnému poškození dalších součástí, jako jsou převodníky a kazeta, což by celou operaci podstatně prodražilo. K tomuto účelu slouží speciální měrky, nebo lze stupeň vytahání zjistit posuvným měřítkem. V případě pozdě vyměněného řetězu dochází k vymačkání zubů na ozubených kolech, jejich následná nekompatibilita s řetězem novým. Řetězy bývají spojeny pomocí spojky (rozebíratelného článku), kterou lze rozpojit ohybem (kleštěmi) nebo nýtovačkou (vyražením čepu). Kvalita oceli u řetězu používané a přesnost opracování v místech ohybu, ovlivní jeho váhu a životnost [18].

#### 4.2.4 Řazení

##### Přehazovačka

Přehazovačkou jsou dnes osazena všechna horská, silniční i treková kola, výjimku tvoří pouze tzv. „singlespeedy“, které obsahují pouze jeden pastorek. Její hlavní funkcí je přehazování řetězu z jednoho pastorku na druhý a jeho následné napnutí. Tuto činnost zajišťují dvě kladky - horní vodící a spodní napínací (Obr. 29). Vodící kladka (G-kladka) udržuje řetěz na daném pastorku, má malou vůli kvůli případnému vychýlení, obsahuje většinou kluzné ložisko, u dražších modelů s keramickou dráhou. Napínací kladka (T-kladka) díky pružině v raménku napíná řetěz v závislosti na zařazeném pastorku a převodníku, její ložisko je standardně také kluzné, u dražších modelů valivé, vůle by neměla být žádná [19].



Obr. 29: Popis přehazovačky [19]

Na samotné tělo a vodítko přehazovačky se používají hliníkové slitiny. U kladek (ozubených koleček) a pružin je standardně používaná ocel. Další součástí řazení je přesmykač, který se uchycuje k sedlové trubce rámu a slouží k přehazování řetězu mezi převodníky.

### Bovdeny a lanka

Bovden slouží pro vedení a zakřivení dráhy lanka tak, aby se však lanko dalo stále napínat. Zároveň zamezuje ulpění nečistot na samotném lanku. Vyrábí se ve dvou provedeních (brzdové a řadící), které se mezi sebou liší průměrem a vnitřní strukturou. Brzdový bovden je o něco tlustší a jeho tělo tvoří ocelová šroubovice. Tělo řadících bovdenu naopak tvoří podélné ocelové struny, které nejsou nijak namotány (tzv. SP bovden). Uvnitř bovdenu se dnes už standardně nachází teflonová trubička pro snížení tření. Celé tělo bovdenu je skryto v polyethylenové bužírce, pro zamezení vstupu nečistot. Dalšími typy bovdenu jsou spletený a článkovaný, přičemž oba lze použít jako brzdové i řadící [18].

Ocelové lanko přenáší silovým působením (utažením nebo povolením) informaci od páčky na řídítkách k přehazovačce. Pro snížení třecího odporu v bovdenu bývá lanko potažené teflonem. U hydraulických systému bývá bovdenu vedena brzdová kapalina nebo minerální olej, jehož stlačováním přenášíme sílu na brzdový třmen.

### 4.3 Kola a brzdy

Kola zprostředkovávají spojení mezi vozovkou a jízdním kolem. Jejich rotací nastává jízda a brzdy mají za úkol tento pohyb zastavit nebo omezit.

#### 4.3.1 Kola

Pro jednotlivé cyklistické disciplíny se volí kola o různých průměrech a šířích. Skládají se z ráfku, výpletových paprsků, náboje, pláště a duše. Zkušební metody pro kola a ráfky jsou dány normou ČSN EN ISO 4210-7.

##### Ventilky a duše

Hlavní funkcí duše je udržení nahuštěného vzduchu, tudíž zajištění nízké propustnosti pro plyny. Tuto vlastnost splňuje butyl kaučuk (IIR), konkrétně jeho vulkanizát, který se pro tuto aplikaci používá. Pro zajištění oděruodolnosti je zapotřebí přidávat do butylkaučuku aktivní plniva (saze). V poslední době je trendem využití tzv. bezdušových systému (tubeless), kde je zapotřebí zajistit dokonalou těsnost mezi patkou pláště a ráfkem kola. Používají se tak speciální UST (Universal System Tubeless) ráfky a pláště. Další variantou je páska, která se vloží do standardního ráfku a ucpe otvory na niple, které slouží ke správnému vycentrování kola (dotažení špic).

Ventilky slouží k nahuštění duše (příp. prostoru mezi ráfkem a pláštěm). Používají se tři druhy, tzv. autoventilek, galuskový ventilek a ventilek pro bezdušové systémy. Vnitřní prostor pláště u bezdušových systémů se vyplňuje tmelem, který při defektu zajistí utěsnění vzniklého otvoru.

Zkoušení duší do pláštů pro silniční vozidla a jízdní kola předepisuje norma ČSN 63 1595.

##### Náboje

Náboje zajišťují spojení mezi rotujícím kolem a statickým rámem (příp. vidlicí). Toto spojení je realizováno nejlépe pevnou osou uchycenou mezi kuličkovými ložisky.

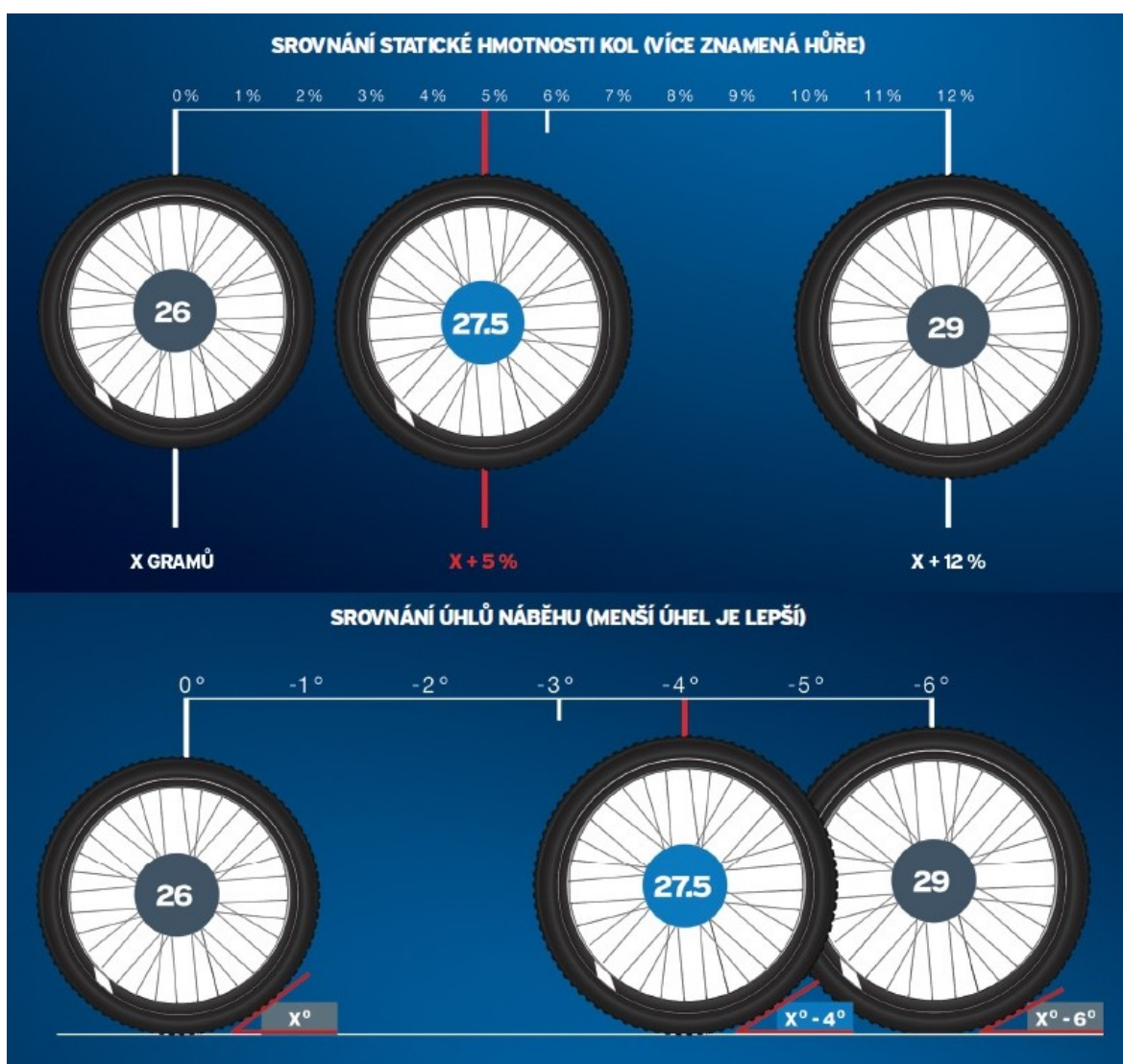
##### Ráfky a Pláště

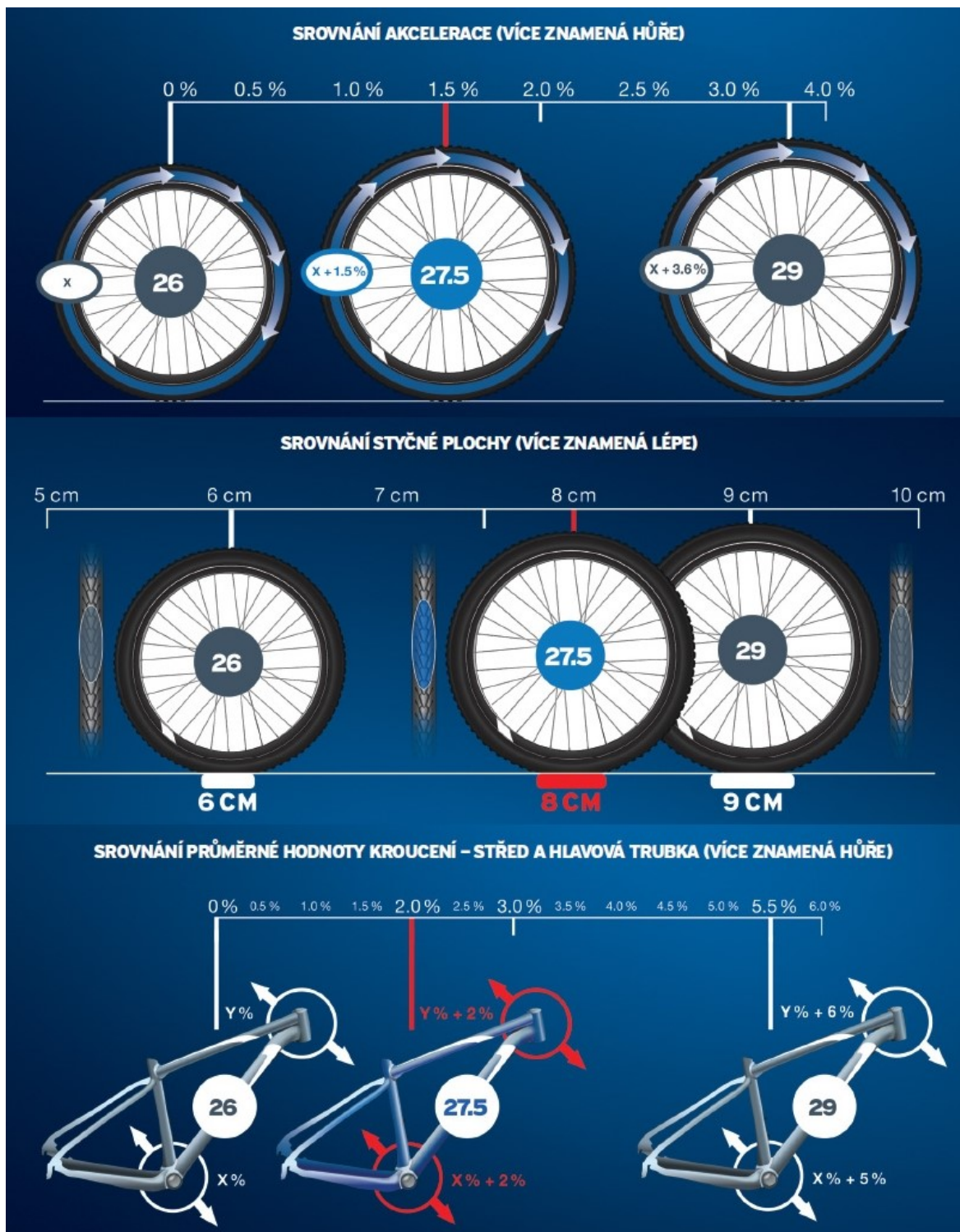
Existuje několik typů a průměrů lišících se podle disciplíny nebo stylu jízdy. Vyzdvihnou zde ty nejběžnější a podrobněji rozeberu vlastnosti horských kol o průměru 26, 27,5 a 29 palců. U silničních kol se používají kola o průměru 29 palců s bezdušovými hladkými pláš-

ti (tzv. galusky), u trekingových pak kola s průměrem 28 palců s pláště klasickými. Na horských kolech se pak objevují výše uvedené průměry a klasické nebo bezdušové pláště.

Ráfky jsou dnes převážně vyráběny z hliníkových slitin nebo karbonu, přičemž u ráfků z karbonu je u silničních kol důležitý vhodný materiál na špalku brzdového třmenu. Vyrábí se i varianty kde se kombinuje karbonový ráfek s hliníkovou slitinou v oblasti brzdné plochy. Špice pak slouží jako výztuž a spojení ráfku s nábojem.

Porovnání vlivu průměru kola z pohledu hmotnosti, efektivity při překonávání překážek (nájezdny úhel), akceleraace, trakce a vlivu na tuhost rámu znázorňuje obrázek 30.





Obr. 30: Vliv velikosti kola na výsledné vlastnosti [58]

Z obrázku 30 jasně vyplývá, že velikost kola přizpůsobíme požadovanému stylu jízdy. Větší kola se hodí pro rychlejší a plynulejší jízdu, ovšem v technických pasážích budou hůře ovladatelné a kola menší naopak. Zjistilo se však, že přesný střed mezi velikostmi 26 a 29 palců tedy 27,5 palců vykazuje vlastnosti, které se vždy blíží k požadovanějším vlast-

nostem, než by byl přesný střed. Je to dáno tím, že tato závislost, která tyto vlastnosti ovlivňuje, není lineární. Velikost kola je také limitována vzrůstem člověka.

Z problematiky pláštěů uvedu pouze poznámku k materiálu, na jehož recepturu si každý výrobce dává z konkurenčního hlediska pozor, avšak obecně se jedná o kombinaci gumárenských směsí plněných sazemí. Patky pláštěů, jejichž funkcí je zajištění těsného spojení s ráfkem se vyrábí buď s ocelovým drátem, nebo z kevlaru (ohebné). Vzorek se pak volí podle ježděného terénu s ohledem na přilnavost a valivý odpor.

### 4.3.2 Brzdy

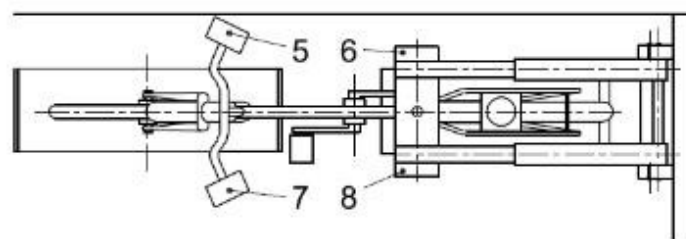
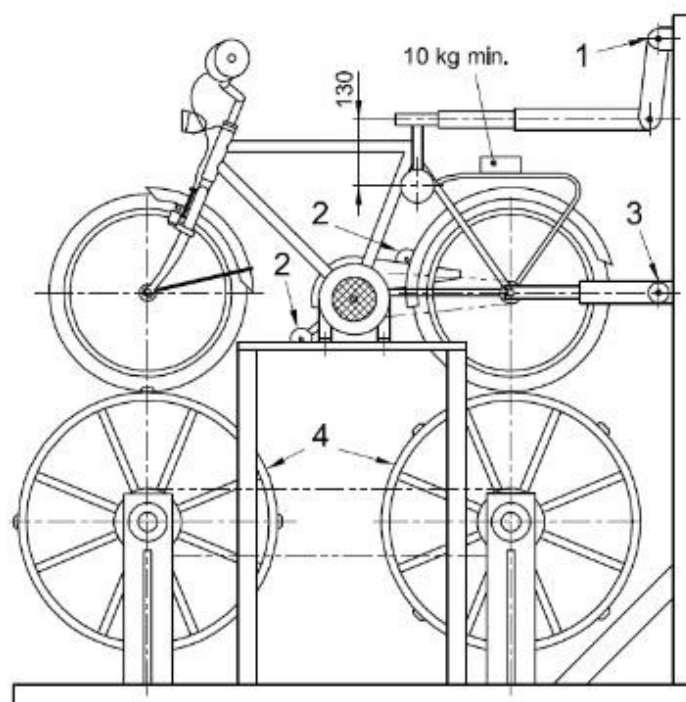
V cyklistice se pro systém brzd využívají tři mechanismy. Protišlapná brzda (torpedo) se využívá dnes pouze u dětských kol. Ráfkové brzdy, kde jsou brzdové špalky na raménkách brzdy přitlačovány brzdovou pákou na stěny ráfku. Nejvyšší účinnost však mají brzdy kotoučové. Standardem těchto brzd je kotouč z ocelové slitiny připevněný k náboji kola a brzdový třmen s pístem a brzdovými destičkami. Vyrábí se ve dvou konstrukcích – mechanické (ovládané lankem) a hydraulické (bovden s kapalinou), kde jako brzdící médium se používá minerální olej nebo brzdová kapalina. Brzdové destičky se vyrábí buď organické, nebo slinuté (sintrované). Organické jsou vyrobeny z přírodních materiálů nebo polymerů (sklo, guma, pryskyřice, kevlar) a jsou levnější a měkčí než sintrované. Sintrované se vyrábí ze směsi kovových prášků (převážně mědi), žáruvzdorných materiálů, modifikátorů tření a grafitu. Tato směs se v konečné fázi spéká (sintruje) do konečného tvaru při vysoké teplotě. Tyto destičky vydrží déle, mají o něco větší účinek a jsou hlučnější než organické. Zkušební metody pro brzdění stanovuje norma ČSN EN ISO 4210-4 [18].

Celá problematika jednotlivých komponentů a jejich sestav je velmi obsáhlá a jednotlivé prvky musí být mezi sebou kompatibilní. Pro detailní studium a popis funkcí a materiálů všech komponentů se z kapacitních důvodů odkáží na knihu *Bike manual* [17].

## 4.4 Zkušební metody

Jízdní kolo podléhá bezpečnostním pokynům, které jsou ověřovány normalizačními zkouškami, které se vztahují jak k jednotlivým dílům, tak i k sestavě jízdního kola jako celku. Bezpečnostní pokyny a zkušební postupy k jednotlivým dílům jsou uvedeny v normě u příslušného komponentu. Jízdní kolo jako celek musí splňovat bezpečnostní předpisy dané normou ČSN EN ISO 4210-3, kde zcela sestavené jízdní kolo je připevněno na zkušební zařízení a zatíženo přesně definovanými závažími na daných místech (Obr. 31).

Rozměry v milimetrech



**Legenda**

- 1 nastavitelná výška
- 2 závaží o hmotnosti 18 kg
- 3 nastavitelná výška
- 4 bubem o průměru 760 mm
- 5 závaží o hmotnosti 6,75 kg
- 6 závaží o hmotnosti 18 kg
- 7 závaží o hmotnosti 6,75 kg
- 8 závaží o hmotnosti 18 kg

Obr. 31: Zkouška dynamické pevnosti sestavy jízdního kola ČSN EN ISO 4210-3



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 STANOVENÍ CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

V praktické části je provedena pevnostní analýza 3D modelu rámu. Model byl vytvořen pracovníkem firmy a za úplatu byl poskytnut pro pevnostní analýzu. 3D model rámu byl vytvořený v CAD systému SolidWorks. Pro výpočty byl uvažován jeden typ rámu vyrobený každý z jiného materiálu. Na základě pevnostních výpočtů byly rámy posouzeny z pohledu pevnosti, koncentrací napětí a hmotnosti. Následně byly mezi sebou kritériálně porovnány z materiatického pohledu. Pevnostní analýza byla provedena s vedoucím této práce metodou konečných prvků ve firmě K.P.R. Engineering Otrokovice v softwaru SamcefField.

## 6 METODA KONEČNÝCH PRVKŮ (MKP)

MKP je numerická metoda, jejímž matematickým základem je diskretizace spojitého kontinua. Metoda spočívá v rozdělení spojitého kontinua (tělesa) na konečný počet podoblastí (konečné prvky). Jednotlivé prvky jsou spolu spojeny v uzlových bodech.

V současnosti je MKP nejpoužívanější metoda pro řešení úloh mechaniky kontinua.

Základní deformační varianta MKP vychází z Lagrangeova variačního principu minima celkové potenciální energie soustavy. Pro spojité třídimenzionální těleso rozdělené do  $m$  elementů je princip formulovaný rovnicí [15, 16]:

$$\Pi^e = \sum_{e=1}^m \Pi^e - \{d\}^T \{P\}, \quad (1)$$

kde součin  $\{d\}^T \{P\}$  představuje práci vykonanou soustředěnými vnějšími silami.

Pro rovnováhu systému nabývá potenciální energie minima, tzn., že první variace energetického potenciálu:

$$\partial \Pi(u, v, w) = \sum_{e=1}^m \partial \Pi^e (u \ v \ w) = 0 \quad (2)$$

Matematickými úpravami dostaneme základní rovnici MKP pro diskretizované těleso s  $m$  uzly:

$$\begin{bmatrix} M \times M \\ K \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M \times 1 \\ d \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} M \times 1 \\ f \end{Bmatrix}, \quad (3)$$

kde  $[K]$  je matice tuhosti pro celý systém,  $\{d\}$  je vektor uzlových posunutí pro celý systém,  $\{f\}$  vektor výsledných sil v uzlech,  $M = 3m$  pro 3D úlohu a  $M = 2m$  pro 2D úlohu.

Velikost tenzoru napětí v závislosti na posuvech lze vypočítat:

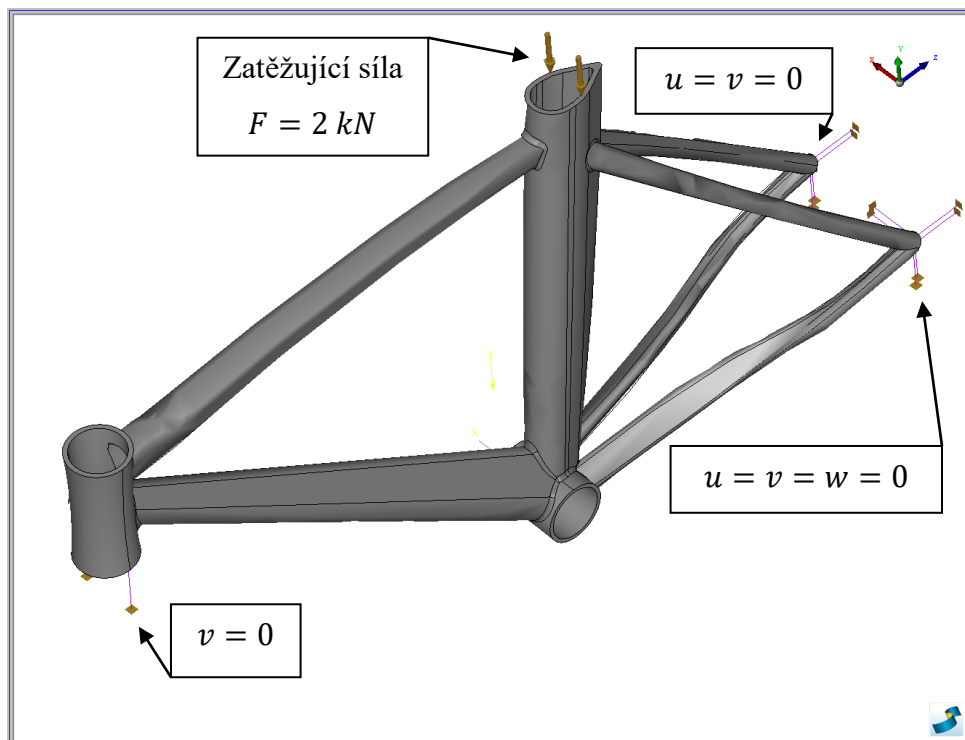
$$\{\sigma\}^e = [D]^e [B]^e \{\delta\}^e \quad (4)$$

V případě, že existuje počáteční napětí, je nutné jej superponovat.

## 7 VÝSLEDKY ANALÝZY

Analýza je provedena pro ocelové, hliníkové a titanové rámy z pohledu deformací a napěťových špiček. Je uvedena i celková hmotnost rámu pro jednotlivé materiály.

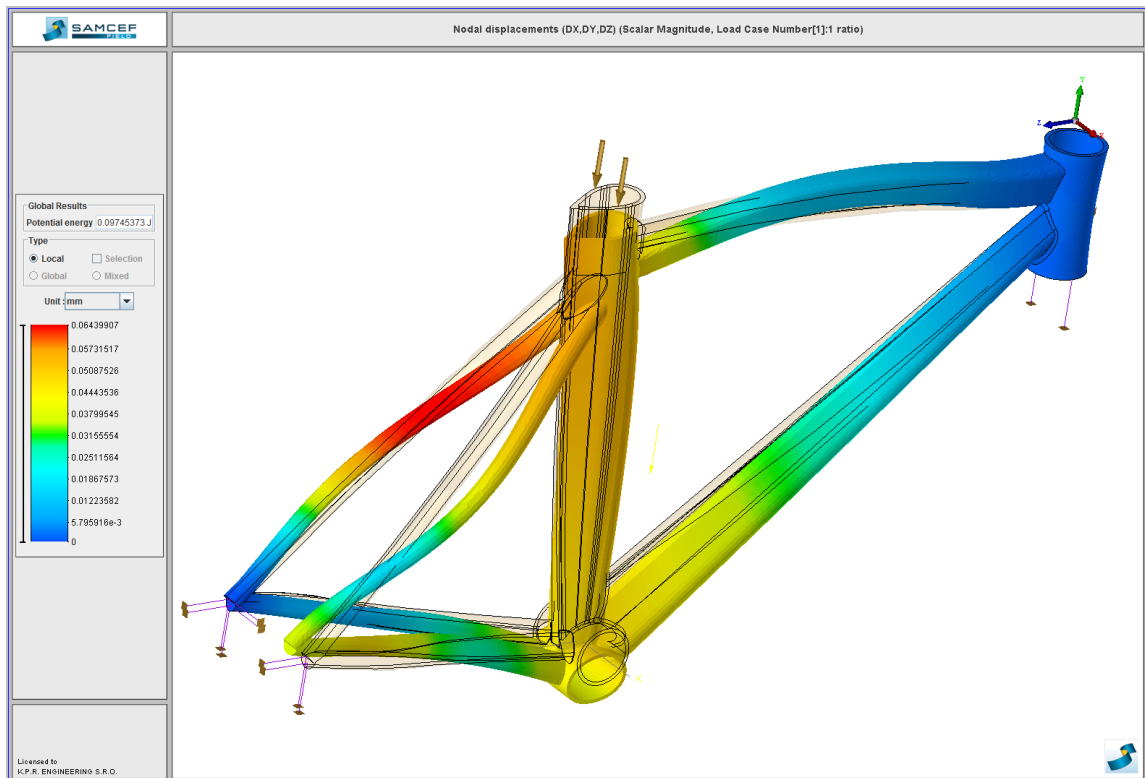
### 7.1 Zatížení na sedlové trubce rámu



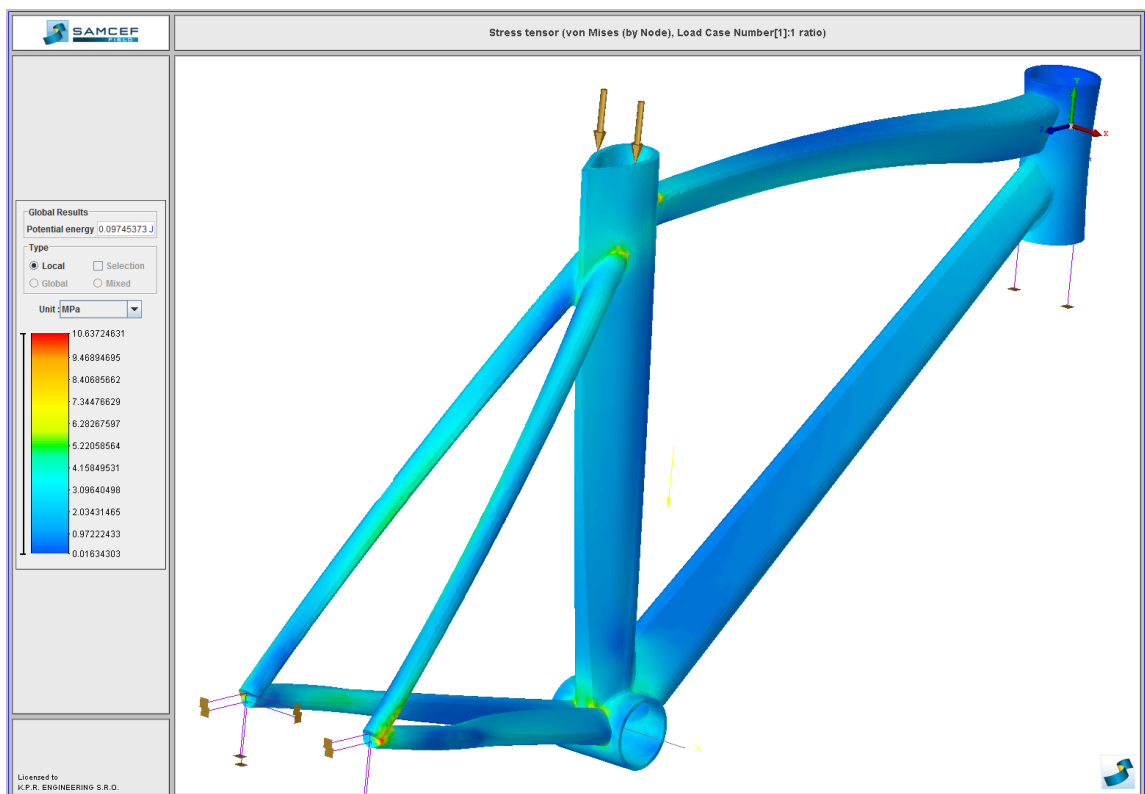
Obr. 32: Zatížení na sedlové trubce rámu kola a okrajové podmínky

Při zatížení sedla předpokládám zamezení pohybu jedné rámové vzpěry k náboji kola pevně ve všech třech osách ( $u$ ,  $v$ ,  $w$ ) a druhé pouze ve dvou osách ( $u$ ,  $v$ ).

### 7.1.1 Hliníkový rám

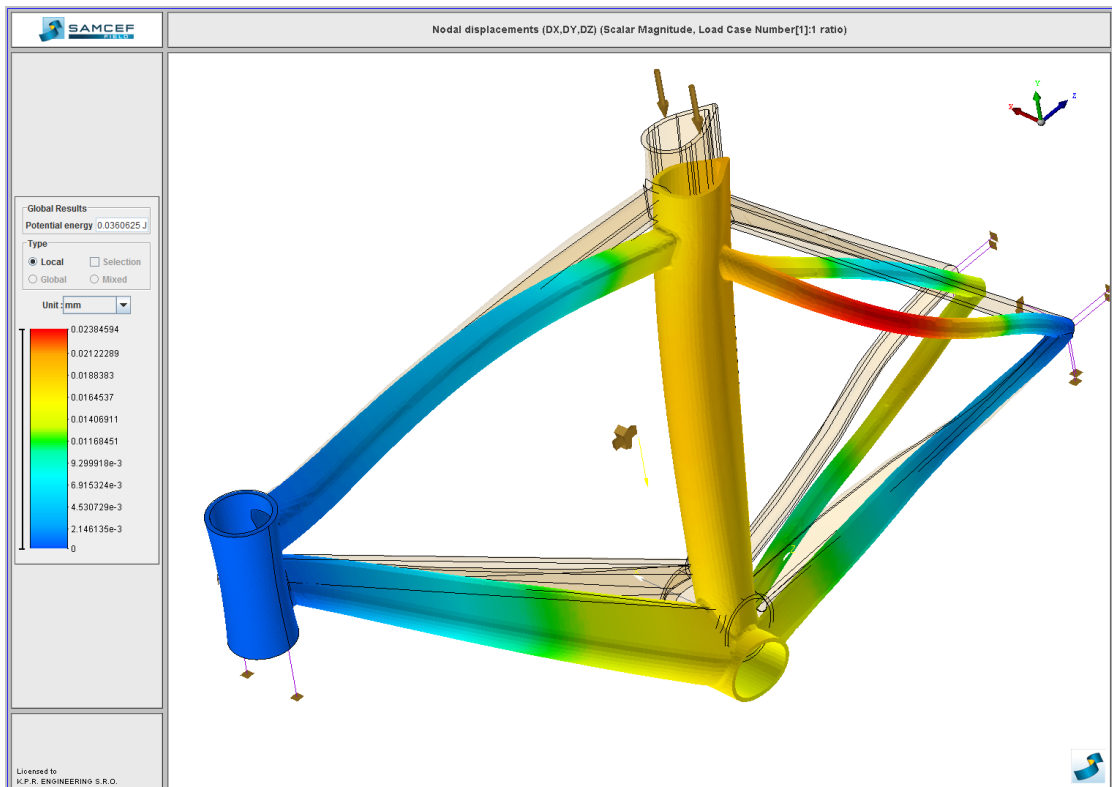


Obr. 33: Celková deformace

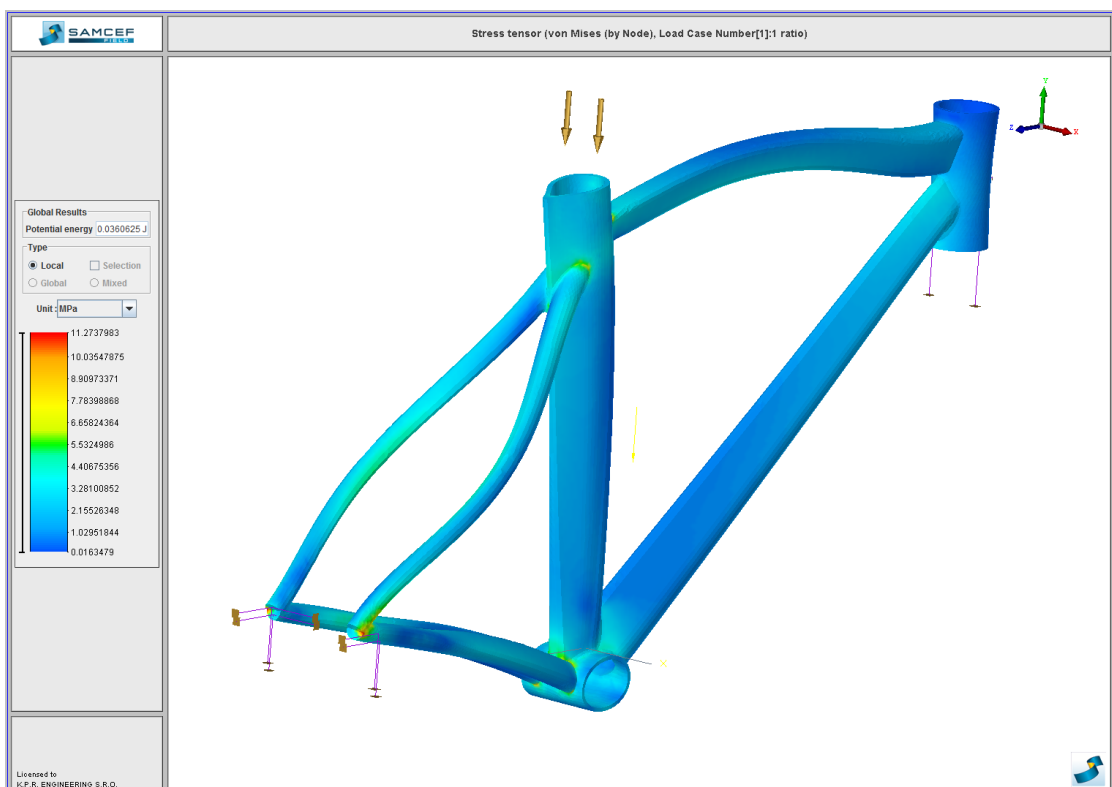


Obr. 34: HMH napětí

### 7.1.2 Ocelový rám

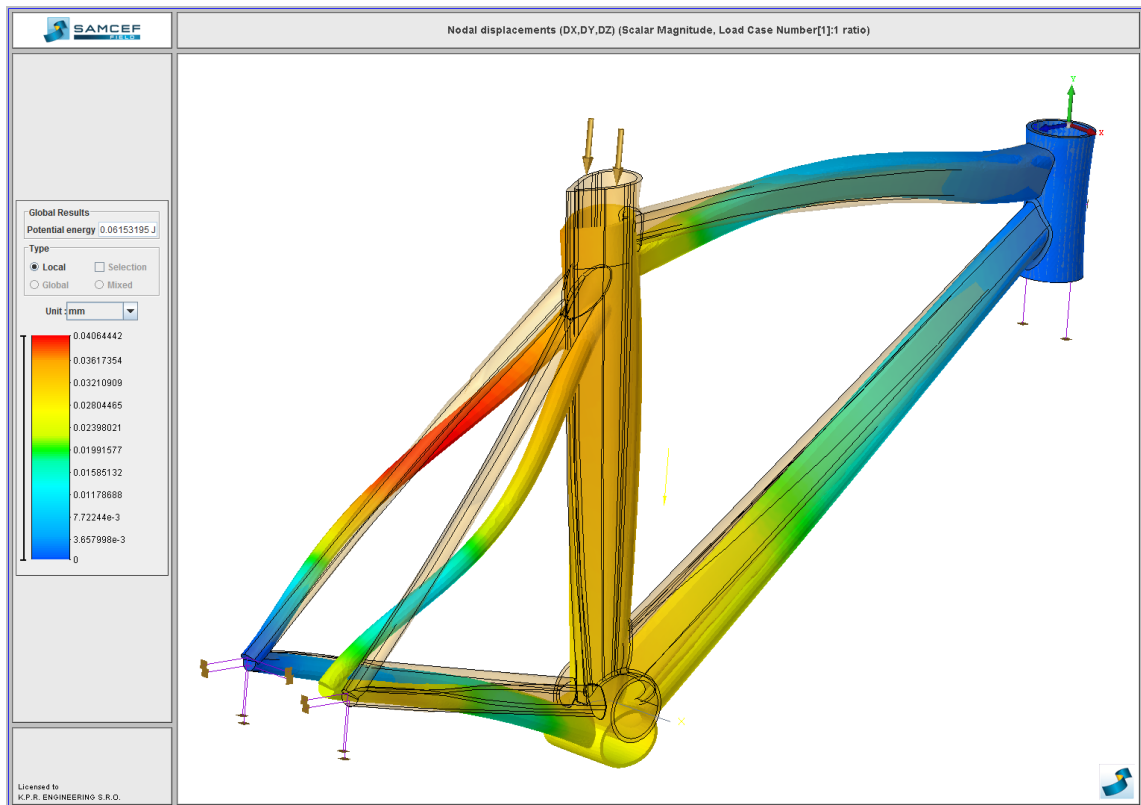


Obr. 35: Celková deformace

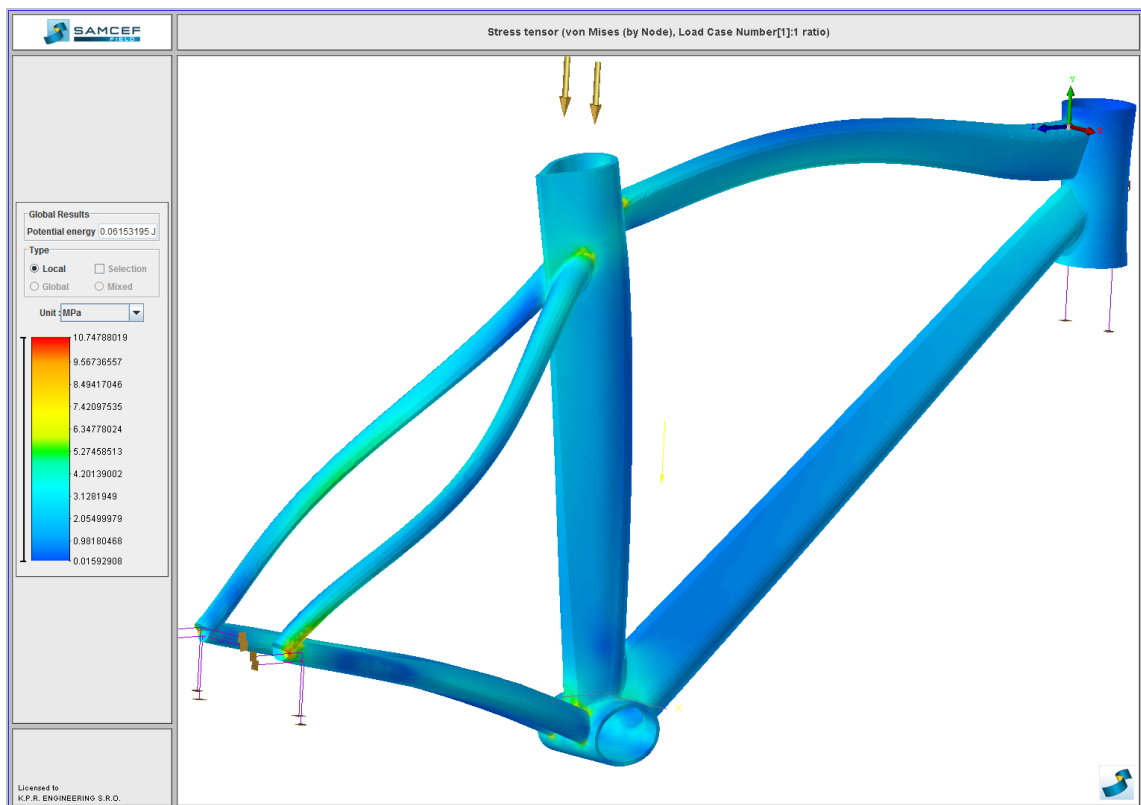


Obr. 36: HMH napětí

### 7.1.3 Titanový rám



Obr. 37: Celková deformace



Obr. 38: HMH napětí

### 7.1.4 Výsledky pevnostní analýzy

#### Hliníkový rám

- Maximální deformace: 0,06 mm
- Maximální napětí: 10,64 MPa

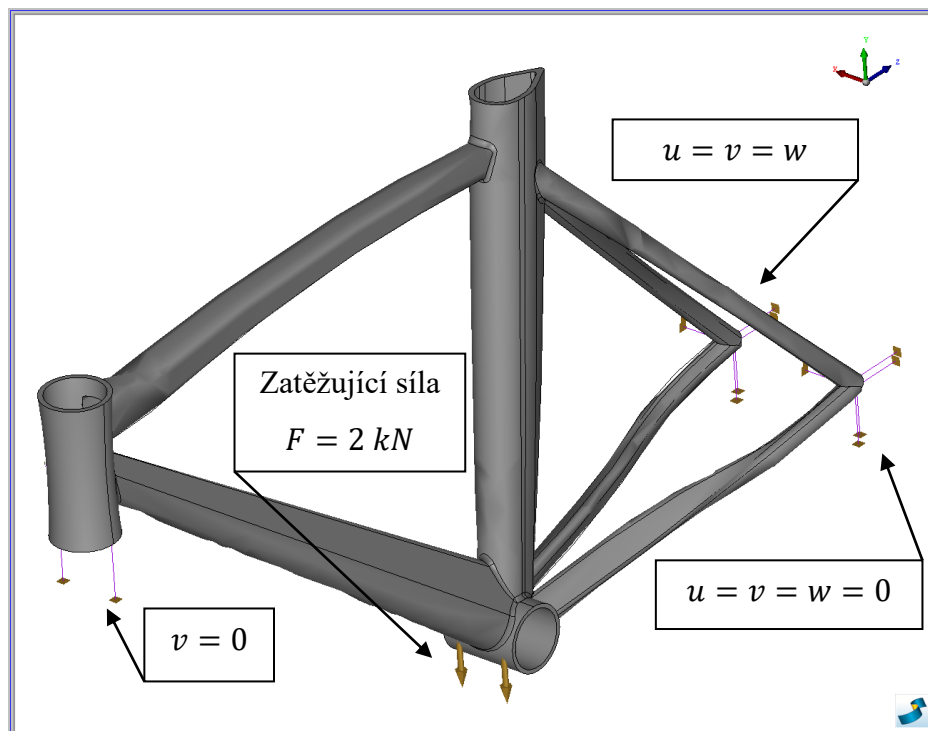
#### Ocelový rám

- Maximální deformace: 0,02 mm
- Maximální napětí: 11,27 MPa

#### Titanový rám

- Maximální deformace: 0,04 mm
- Maximální napětí: 10,75 MPa

## 7.2 Zatížení pedálů na středové trubce rámu

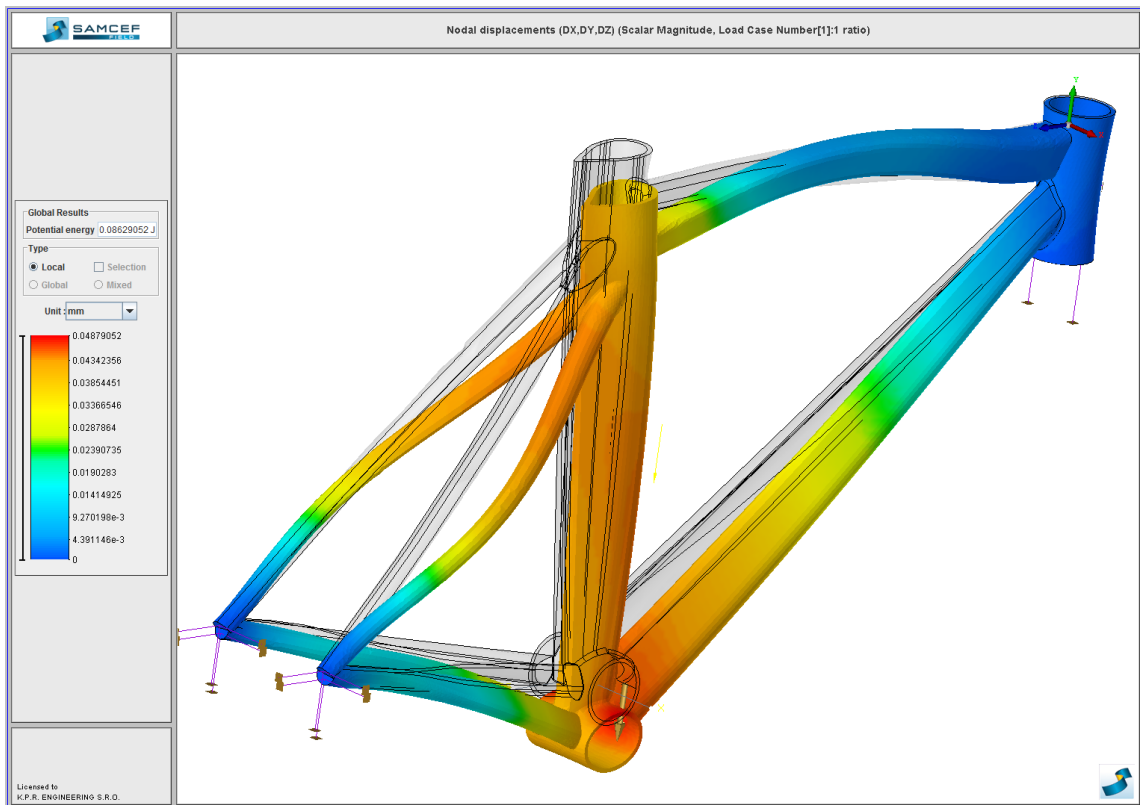


Obr. 39: Zatížení pedálů na středové trubce rámu kola a okrajové podmínky

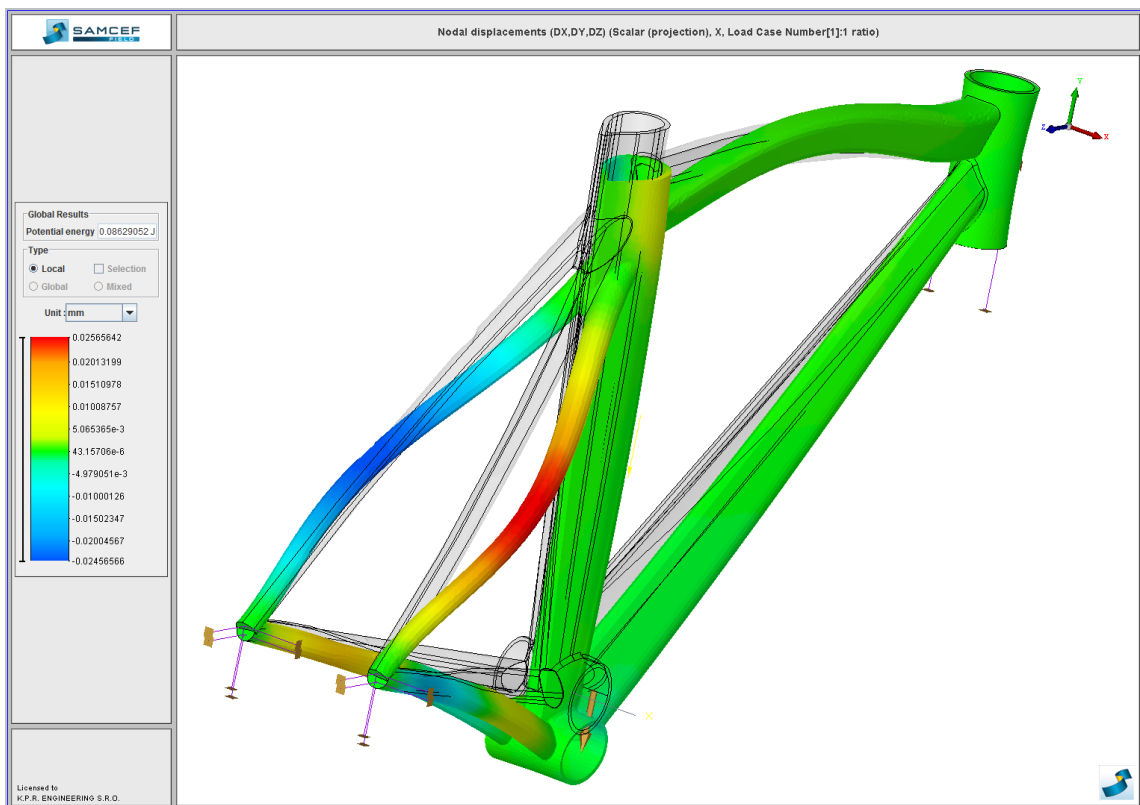
Při tomto zatížení bylo pro porovnání zamezeno pohybu uložení vzpěr k náboji kola ve všech třech osách.



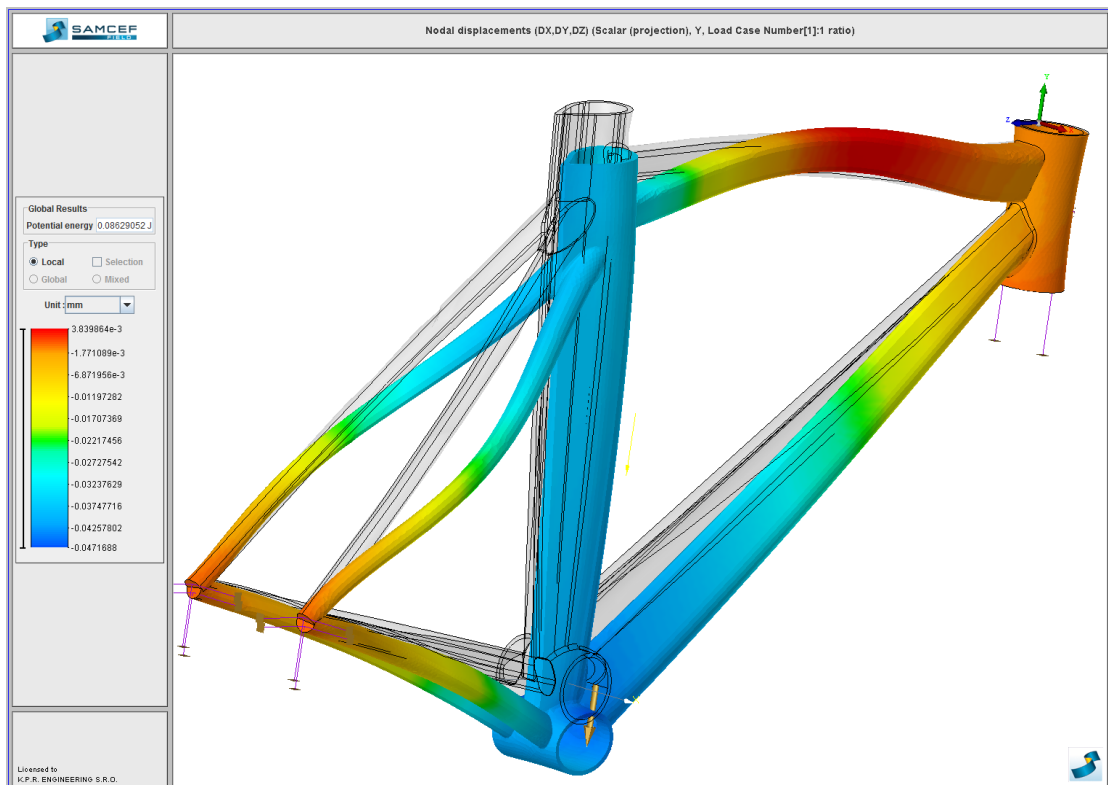
### 7.2.1 Hliníkový rám



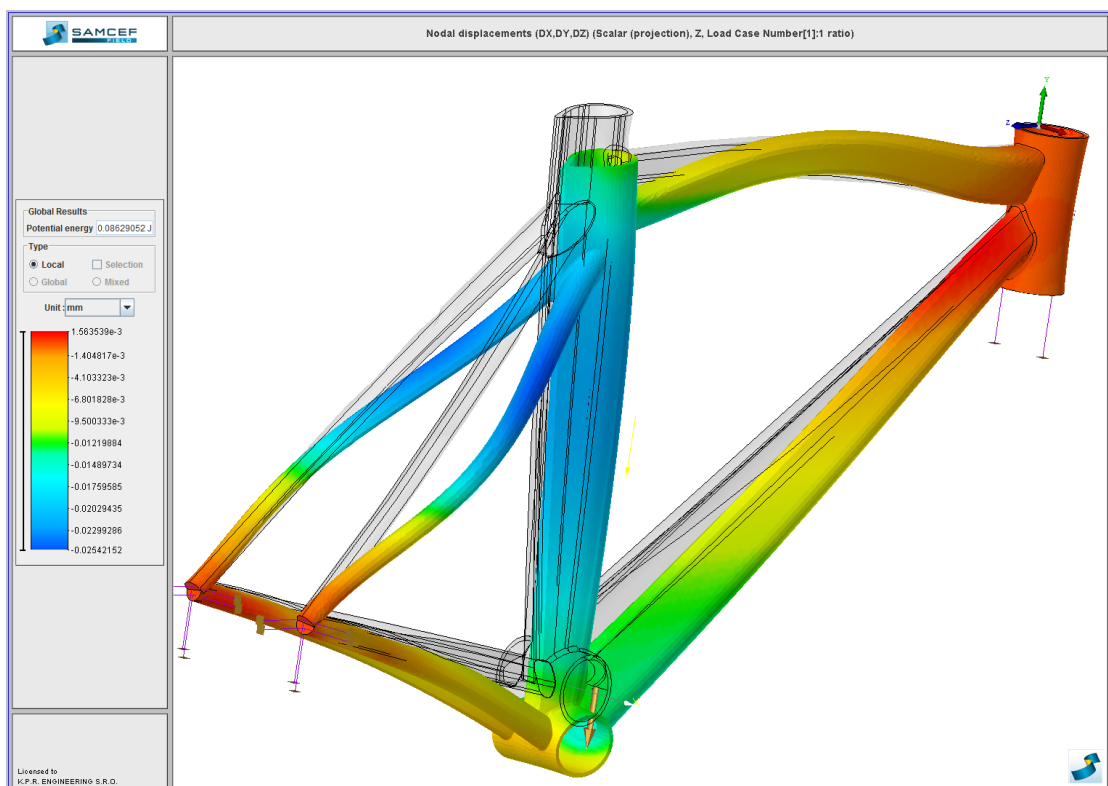
Obr. 40: Celková deformace



Obr. 41: Deformace v ose x

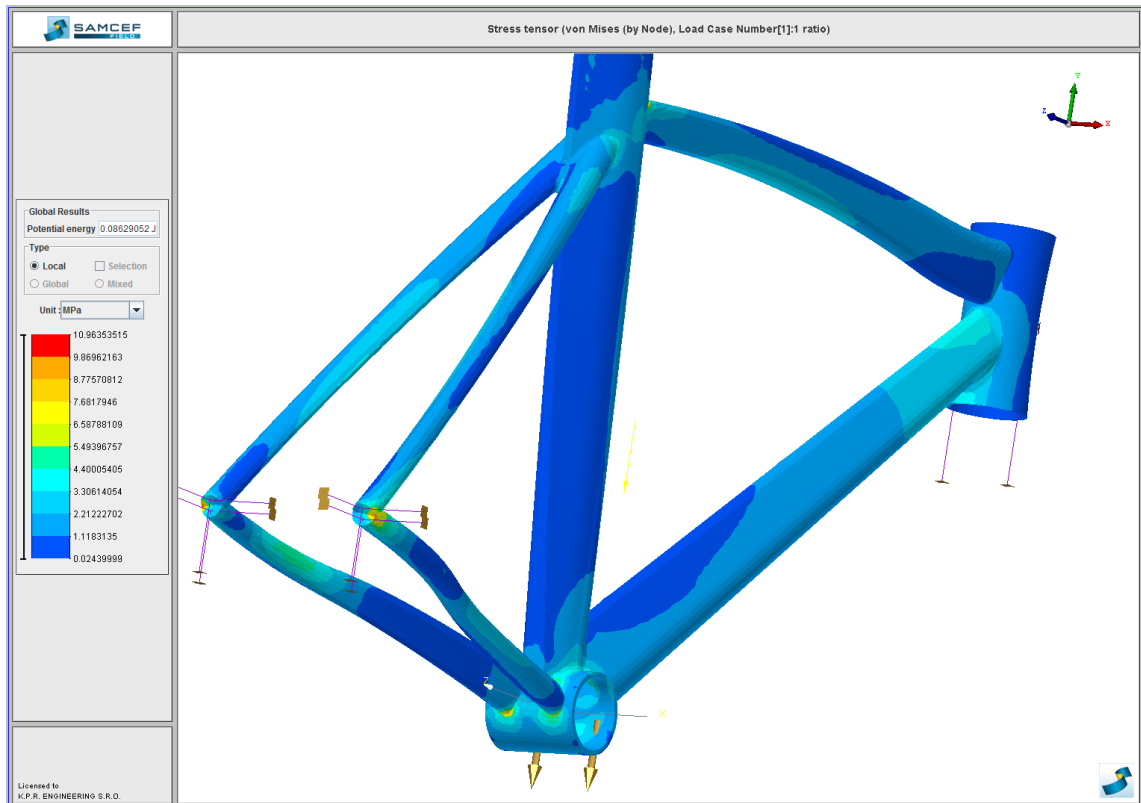


Obr. 42: Deformace v ose y



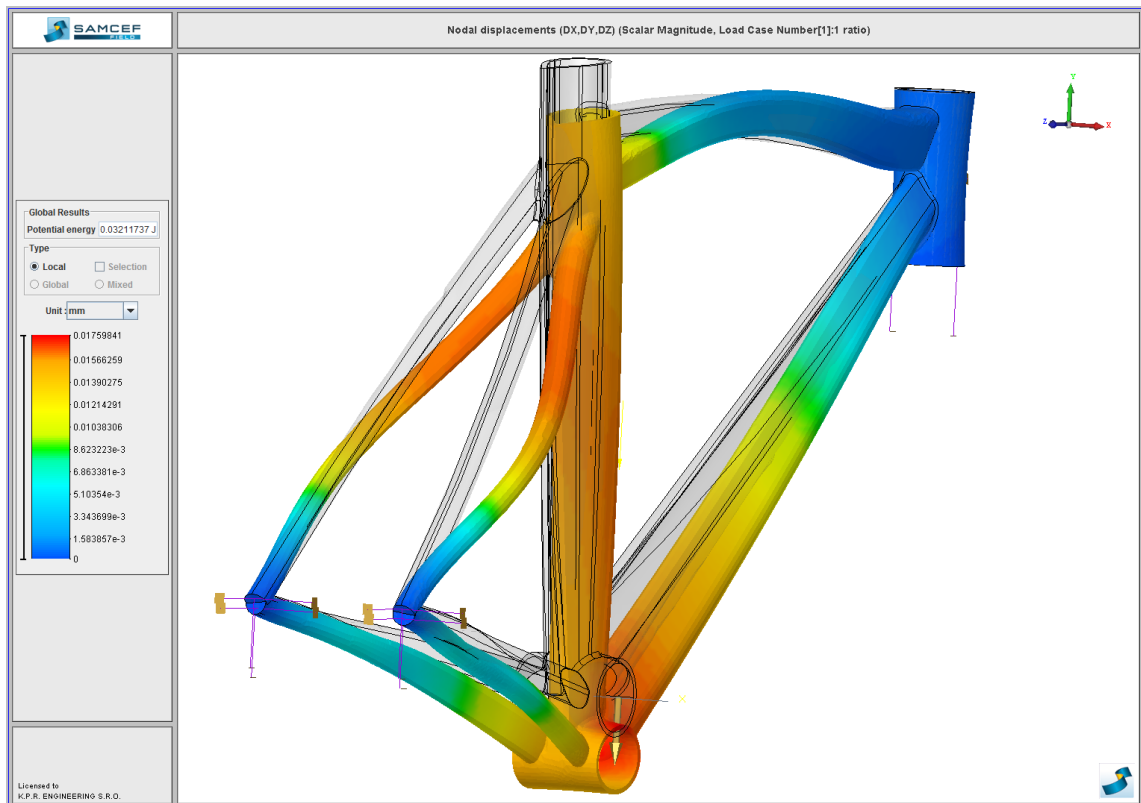
Obr. 43: Deformace v ose z

Při zatěžování pedálů byly zvoleny symetrické okrajové podmínky a jsou zde uvedeny deformace v jednotlivých osách pro znázornění symetrických deformačních účinků.

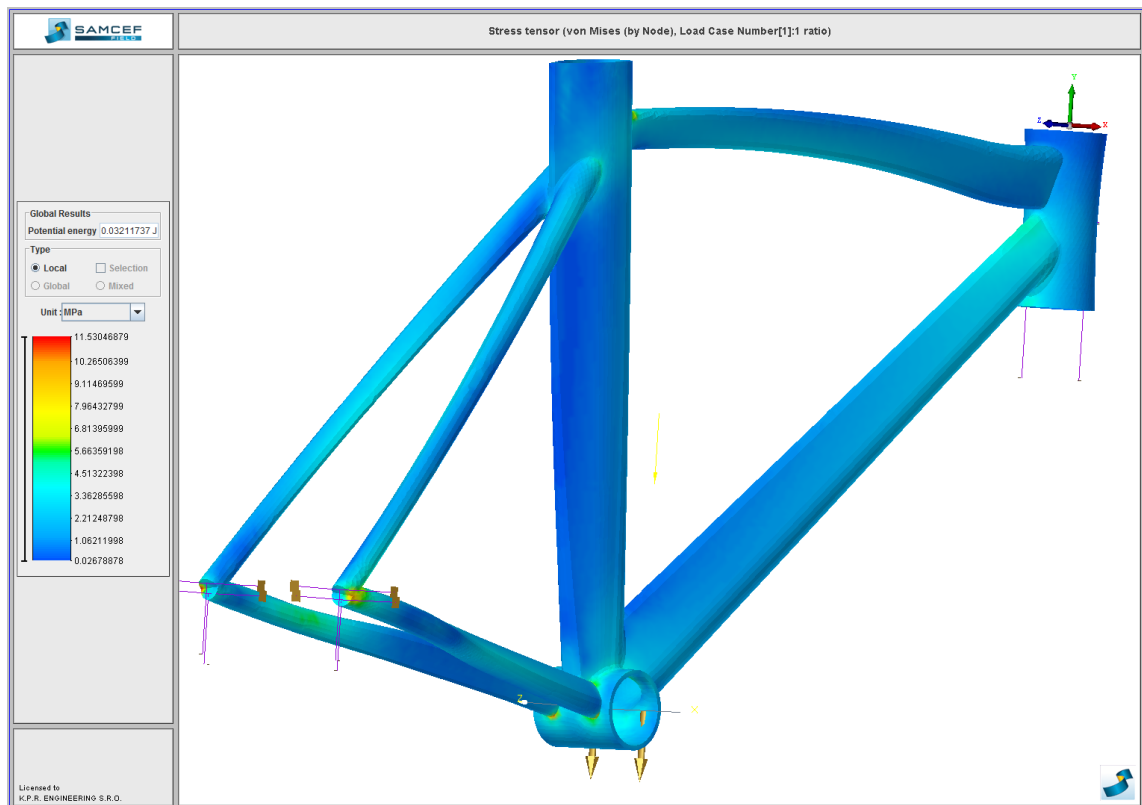


Obr. 44: HMH napětí

## 7.2.2 Ocelový rám



Obr. 45: Celková deformace



Obr. 46: HMH napětí

### 7.2.3 Výsledky pevnostní analýzy

#### Hliníkový rám

- Maximální deformace: 0,05 mm
- Maximální napětí: 10,96 MPa

#### Ocelový rám

- Maximální deformace: 0,02 mm
- Maximální napětí: 11,53 MPa

Pro všechny rámy z jednotlivých materiálů byly následně vypočítány celkové hmotnosti. Všechny tyto parametry jsou shrnuty v tabulce 9.

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Tabulka 9: Shrnutí výsledků z pevnostní analýzy

	ocel	hliník	titan
hmotnost [kg]	16,73	5,76	9,42
max. deformace [mm]	0,02	0,06	0,04
max. napětí [MPa]	11,53	10,96	10,75

Z celé sestavy jízdního kola byl pro pevnostní analýzu zvolen rám, jako jeden z nejdůležitějších prvků na kole. Analýza celkové sestavy jízdního kola je však mnohem komplexnější a jednotlivé komponenty (např. vidlice) a úhly mezi nimi, ovlivňují výsledné vlastnosti celku. Z těchto skutečností a pro jisté kapacitní důvody této práce je tedy uvažováno toto zjednodušení.

Z tabulky 9 je patrné, že maximální deformace u daných materiálů jsou hluboko pod mezí kluzu, tudíž je zkonstruovaný rám předdimenzovaný. Hmotnost rámu z hliníku vyšla nejnižší, čehož v praxi není možné dosáhnout z důvodu měkkosti hliníku, kterou dokazuje nejvyšší maximální deformace. Trubky používané na výrobu hliníkových rámu tak musí mít větší průměr, aby splňovaly požadovanou pevnost, a tím dojde také ke zvýšení celkové hmotnosti. Vysoká hmotnost u oceli je také dána nevhodnou konstrukcí rámu. V praxi se pro jednotlivé materiály použité na výrobu rámu volí optimalizovaná konstrukce, protože každý materiál vykazuje odlišné chování.

Všechny materiály, které byly pevnostní analýze podrobeny, jsou čisté kovy, nikoliv slitiny, a díky slitinám získává materiál mnohem lepší materiálové hodnoty.

## ZÁVĚR

Byly zde uvedeny a podrobně rozebrány konstrukční materiály, které se na výrobu jízdních kol používají. S ohledem na rozvoj a hledání nových možností, zde bylo poukázáno také na alternativní materiály, jako je bambus a polymer. Dnes jsou polymerní materiály běžně dostupné a jejich vlastnosti lze vhodně upravovat dle potřeby. Bambus zase našel uplatnění především v rozvojových zemích v tropických oblastech, kde se volně vyskytuje v přírodě. Mechanické vlastnosti bambusu ovšem předčily očekávání a zjistilo se, že je pro tyto účely velmi vhodný. Ovšem žádný z těchto alternativních materiálů se u nás sériově nevyrábí a dominujícími materiály u jízdních kol jsou stále oceli, slitiny hliníku a titanu a nejrozšířenější karbonové kompozitní materiály. Kompozity dodnes vykazují nejlepší materiálové vlastnosti a nejnižší hustotu. Další jejich velkou výhodou je možnost libovolného tvarování a vrstvení materiálu na více exponovaných místech. Tyto charakteristiky jsou však vykoupeny vysokou pořizovací cenou. Všechny materiálové vlastnosti včetně ekonomického zhodnocení v podobě ceny za kilogram materiálu jsou uvedeny v tabulce 8.

V teoretické části bylo poukázáno kromě materiálů také na zkušební metody, které je nutno splnit před uvedením na trh. Tomuto zkušebnictví podléhají jak jednotlivé komponenty jízdního kola, tak také jízdní kolo jako celek. Zkušební metody a postupy jsou stanoveny normami, které jsou u příslušných komponent uvedeny. Byla také uvedena ukázka testování kompletně složeného kola a vypsán kompletní seznam norem, které se na jízdní kola vztahují. Dále byla u jednotlivých komponent objasněna jejich funkce a materiál, ze kterých se vyrábí.

V praktické části byly vlastnosti materiálů ověřeny pevnostní analýzou na 3D modelu rámu jízdního kola metodou konečných prvků. Konkrétně byly testovány materiály ocel, hliník a titan. Jelikož se jednalo o čisté kovy nikoliv o slitiny, vypočtené hodnoty hmotnosti byly odlišné. Z výsledků pevnostní analýzy však šlo odhalit charakter jednotlivých materiálů. Bylo potvrzeno, že hliník jakožto nejměkčí materiál vykazoval nejvyšší hodnotu maximální deformace. Shrnutí všech výsledků z provedené analýzy je uvedeno v tabulce 9.

Vývoj a zpracování konstrukčních materiálů se stále posouvá dopředu, přičemž jeho hlavní směr je zaměřen na uhlíkové kompozity a aditivní metody (3D tisk). Tento trend se odvíjí od výzkumu a vývoje kovových materiálů, a tudíž jízdní kola na tento trend přirozeně navazují. Problematika návrhu rámu je však mnohem komplexnější, a je potřeba brát v úvahu parametry jako jsou ergonomie a design, což přesahuje rámec této bakalářské práce.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### Literatura

- [1] ONDRÁČEK J., HŘEBÍČKOVÁ S. *Cykloturistika. 1. vyd.* Brno, Masarykova univerzita, 2007. ISBN 9788021044432
- [2] SOULEK I., MARTÍNEK K. *Cyklistika: horská, silniční, rekreační, výkonnostní. 1. vyd.* Praha, Grada Publishing, a. s., 2000.
- [3] HLUCHÝ M., KOLOUCH J. *Strojírenská technologie 1 (1. díl).* Praha, Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-26-5
- [4] HLUCHÝ M., KOLOUCH J., PAŇÁK R. *Strojírenská technologie 2 (1. díl).* Praha, Scientia, 2001. ISBN 80-7183-244-8
- [5] LEINVEBER J., VÁVRA P. *Strojnické tabulky. Úvaly,* Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7
- [6] PTÁČEK L. a kol. *Nauka o materiálu II.* Brno, CERM, 1999. ISBN 80-7204-130-4
- [7] HRIVŇÁK I. *Zvaranie a zvariteľnosť materialov.* Trnava, STU, 2009. ISBN 9788022731676
- [8] MICHNA Š. a kol. *Encyklopedie hliníku.* Prešov, Adin s.r.o., 2005. ISBN 80-89041-88-4
- [9] LEGENDRE A. *Uhlíkové materiály.* Praha, Informatoruim, 2001. ISBN 80-86073-82-3
- [10] MACEK K. a kol. *Kovové materiály.* Praha, Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03513-1
- [11] MACEK V., SODOMKA J. *Nauka o materiálu: Kovy a kovové materiály, 1. Část.* Praha, Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02424-5
- [12] TOTTEN G. E., MACKENZIE D. S. *Handbook of Aluminum: Vol. 1: Physical Metallurgy and Processes.* New York, Marcel Dekker, Inc. 2003. ISBN 0-8247-0494-0
- [13] BAREŠ R. A. *Kompozitní materiály.* Praha, SNTL, 1988.
- [14] DAĐOUREK K. *Kompozitní materiály – druhy a jejich užití.* Liberec, Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-279-1

- [15] KOLÁŘ V., NĚMEC I., KANICKÝ V. *FEM – principy a praxe metody konečných prvků*. Praha, Computer Press, 1997. ISBN 80-7226-021-9.
- [16] BITTNAR Z., ŠEJNOHA J. *Numerické metody mechaniky I, II*. Praha, ČVUT, 1992.
- [17] MILSON F. *Bike manuál: vše, co potřebujete vědět o svém kole*. Praha, Grada Publishing, a. s., 2008.
- [18] JONES C. C. *Velká modrá kniha o servisu jízdních kol. 1. vyd.* Praha, PEDALSPORT s.r.o., 2009. ISBN 978-80-254-5926-3

### Odborné publikace

- [19] ČERMÁK T. *Přehazovačka u jízdního kola*. Středoškolský projekt, České vysoké učení technické, Praha, 2009.
- [20] PALÁN J. *Bezpečnost provozování cykloturistiky v rámci výuky na ZŠ a SŠ*. Diplomová práce, Masarykova univerzita, Brno, 2011.
- [21] JAKOVLJEVIČ S., LISJAK D., ALAR Ž., PENAVA F. *The influence of humidity on mechanical properties of bamboo for bicycles*. Construction and Building Materials, 2017. 150, 35–48 s
- [22] DAVID O. *Materiály používané pro výrobu rámu jízdních kol*. Bakalářská práce, Vysoká škola Báňská, Ostrava, 2014.
- [23] LUŽNÝ F. *Analýza mechanických vlastností rámu jízdního kola*. Bakalářská práce, Vysoká škola Báňská, Ostrava, 2015.
- [24] KOVALSKÝ J. *Aplikace bambusu v designu jízdního kola*. Bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati, Zlín, 2013.
- [26] BÁRTKOVÁ D. *Vysokocyklová únava titanové slitiny Ti6Al4V*. Diplomová práce, Vysoké učení technické, Brno, 2013.

### Internetové odkazy

- [27] Cykl [cit. 2018-04-01] <http://cykl.cz/item/seridte-si-odpruzenou-vidlici-1-cast>



- [28] Kolo [cit. 2018-04-08]  
<https://kolo.cz/clanek/proc-mit-odpruzenou-vidlici-a-jakou/kategorie/rady-vybirame-kolo>
- [29] Cyklo-atom [cit. 2018-04-08]  
<http://www.horska-silnicni-kola.cz/show-free.htm?fid=39>
- [30] Mtbs [cit. 2018-04-25]  
<https://mtbs.cz/clanek/upozorneni-fox-kashima-coating/kategorie/bleskovka-technika#.WuB9imesB7s>
- [31] International Bicycle Fund – Bicycle history [cit. 2017-10-26]  
<http://www.ibike.org/library/history-timeline.htm>
- [32] International Bicycle Fund – Bicycle statistics: Usage, Production, Sales, Import, Export [cit. 2017-10-30] <http://www.ibike.org/library/statistics-data.htm>
- [33] Cyklisti [cit. 2017-11-23] <http://www.cyklisti.cz/novinky-a-clanky>
- [34] Cyklo [cit. 2018-01-20] [http://www.cyklo.cz/tipy/popis\(dily\)/ramy.htm](http://www.cyklo.cz/tipy/popis(dily)/ramy.htm)
- [35] Renishaw – Aditivní metoda [cit. 2018-01-20]  
<http://www.renishaw.cz/cs/prvni-kovovy-cyklisticky-ram-vyrobeny-spolecnosti-renishaw-pro-empire-cycles-technologie-3d-tisku--24154>
- [36] Wikipedia – Jízdní kolo [cit. 2018-03-16]  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/J%C3%ADzdn%C3%AD\\_kolo](https://cs.wikipedia.org/wiki/J%C3%ADzdn%C3%AD_kolo)
- [37] Základní vlastnosti technických materiálů [online] [cit. 2018-03-16]  
[www.isstechn.cz/objekty/zakladni-vlastnosti-techn--materialu.doc](http://www.isstechn.cz/objekty/zakladni-vlastnosti-techn--materialu.doc)
- [38] Columbus Tubi [online]. [cit. 2018-03-16] <http://www.columbustubi.com/eng/1.htm>
- [39] Scott Veloservis Pardubice - Scott a karbon [online] [cit. 2018-03-16]  
<http://www.scottmtb.cz/znacka-scott/scott-a-karbon/>
- [40] 3D tisk – Aditivní metoda [cit. 2018-03-20]  
<https://www.3d-tisk.cz/ultralehky-titanovy-ram-horskeho-kola-vytvoreny-3d-tiskem-vazijen-14-kilogramu/>
- [41] Osel – Bamboo Bike [cit. 2018-03-20] <http://www.osel.cz/3355-bamboo-bike.html>

[42] Kolo [cit. 2018-03-20]

<https://kolo.cz/clanek/v-italii-vytvorili-ram-jizdniho-kola-vytisteny-na-3d-tiskarne-ktery-muzete-zkompostovat>

## Odkazy k obrázkům

[43] Ludwig von Drais [cit. 2017-09-28]

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Karl\\_Drais#/media/File:KarlDrais.jpg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Karl_Drais#/media/File:KarlDrais.jpg)

[44] Původní draisina [cit. 2017-09-28]

[upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/ZweiRadMuseumNSU\\_Draisine1.JPG](upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/ZweiRadMuseumNSU_Draisine1.JPG)

[45] Vélocipede [cit. 2017-09-28]

<https://www.oldspokeshome.com/museum/all-metal-velocipede-dubois-avenue-de-paris-104-st-denis-france-circa-1870>

[46] Geometrie silničního kola [cit. 2018-03-12] <https://www.evanscycles.com/help/bike-sizing-TT>

[47] Geometrie horského kola [cit. 2018-03-12] <https://www.evanscycles.com/help/bike-sizing-mountain>

[48] Tříkolka poháněná pomocí horních končetin [cit. 2018-03-16]

<http://docplayer.cz/8338255-Vysoke-uceni-technicke-v-brne-brno-university-of-technology.html>

[49] Stolice na uchycení trubek pro svařování rámu [cit. 2018-03-16]

<https://www.thefabricator.com/article/tubepipefabrication/success-on-two-wheels>

[50] Výroba bambusových kol v Ghaně [cit. 2018-03-20]

<https://pisecky.denik.cz/z-regionu/volebni-dozvuky-od-sousedu-20151013-f3xw.html>

[51] Výsledný model rámu firmy Eurocompositi [cit. 2018-03-20]

<https://newatlas.com/aenimal-bhulk-3d-printed-mountain-bike/39180/>

[52] Součásti jízdního kola [cit. 2017-10-30]

[cs.wikipedia.org/wiki/Seznam\\_sou%C4%8D%C3%A1st%C3%AD\\_j%C3%ADzdn%C3%ADho\\_kola#/media/File:Bicycle\\_diagram-cs.svg](cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_sou%C4%8D%C3%A1st%C3%AD_j%C3%ADzdn%C3%ADho_kola#/media/File:Bicycle_diagram-cs.svg)

[53] Rám kola [cit. 2017-11-16]

<http://www.cyklisti.cz/novinky-a-clanky/materialy-ramu-kol.html>

[54] Důležité parametry geometrie rámu [cit. 2018-03-12]

[http://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle\\_frame](http://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_frame)

[55] Popis vidlice [cit. 2018-04-01] <http://cykl.cz/media/1137/vidlenejvetsi.jpg>

[56] Součásti hlavového složení [cit. 2018-04-08] [bike-tuning-centrum.cz](http://bike-tuning-centrum.cz)

[57] Druhy offsetů na sedlovkách [cit. 2018-04-08]

<https://www.mtbiker.sk/forum/komponenty/offset-sedlovky-t18832.html>

[58] Vliv velikosti kola na výsledné vlastnosti. [cit. 2018-04-25]

<https://www.moolbike.cz/poradna/jaky-rozmer-kola-zvolit--26-27-5--nebo-29/>

## SEZNAM NOREM

ČSN 63 1595 - Duše do plášťů pro silniční vozidla a jízdní kola. Zkoušení

ČSN EN ISO 4210-1 - Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na jízdní kola - Část 1: Termíny a definice

ČSN EN ISO 4210-2 - Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na jízdní kola - Část 2: Požadavky na městská a trekkingová jízdní kola, na jízdní kola pro mládež, na horská a závodní jízdní kola

ČSN EN ISO 4210-3 - Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na jízdní kola - Část 3: Obecné zkušební metody

ČSN EN ISO 4210-4 - Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na jízdní kola - Část 4: Zkušební metody pro brzdění

ČSN EN ISO 4210-5 - Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na jízdní kola - Část 5: Zkušební metody pro řízení

ČSN EN ISO 4210-6 - Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na jízdní kola - Část 6: Zkušební metody pro rám a vidlici

ČSN EN ISO 4210-7 - Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na jízdní kola - Část 7: Zkušební metody pro kola a ráfky

ČSN EN ISO 4210-8 - Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na jízdní kola - Část 8: Zkušební metody pro systém pohonu a pedálů

ČSN EN ISO 4210-9 - Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na jízdní kola - Část 9: Zkušební metody pro sedlo a sedlovku

ČSN EN 16054 - Jízdní kola BMX - Bezpečnostní požadavky a zkušební metody

ČSN EN 15194+A1 - Jízdní kola - Jízdní kola s pomocným elektrickým pohonem - Jízdní kola EPAC

ČSN EN 15532 - Jízdní kola – Terminologie

ČSN ISO 6692 - Jízdní kola. Značení dílů jízdních kol

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

BMX	Bicycle Motocross
R <sub>m</sub>	Mez pevnosti v tahu
R <sub>e</sub>	Mez kluzu
R <sub>p0,2</sub>	Smluvní mez kluzu
E	Modul pružnosti v tahu
TIG	Tungsten Inert Gas
MIG	Metal Inert Gas
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
$\sigma$	Napětí
F	Síla
IRA	Izotermický rozpad austenitu
ARA	Anizotermický rozpad austenitu
SLM	Selective Laser Melting
USD	United States Dollar
PLA	Kyselina polymléčná
FDM	Fused Deposition Modeling
HSC	High Speed Compression
LSC	Low Speed Compression
SBS	Side By Side
LPC	Low Profile Clamp
IIR	Isobutylen, Isoprene Rubber
UST	Universal System Tubeless

---

MKP	Metoda konečných prvků
$\Pi$	Celková potenciální energie
$\Pi^e$	Potenciální energie elementu
$\{d\}$	Vektor uzlových posunutí pro celý systém
$\{f\}$	Vektor výsledných sil v uzlech
[K]	Matice tuhosti pro celý systém
[D]	Matice fyzikálních konstant
[B]	Transformační matice

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Ludwig von Drais [43]</i> .....	12
<i>Obr. 2: Původní Draisina [44]</i> .....	12
<i>Obr. 3: Vélocipede [45]</i> .....	13
<i>Obr. 4: Safety bike [36]</i> .....	14
<i>Obr. 5: Geometrie silničního kola [46]</i> .....	16
<i>Obr. 6: Geometrie horského kola [47]</i> .....	17
<i>Obr. 7: Tříkolka poháněná pomocí horních končetin [48]</i> .....	18
<i>Obr. 8: Druhy namáhání [37]</i> .....	19
<i>Obr. 9: Stolice na uchycení trubek pro svařování rámu [49]</i> .....	22
<i>Obr. 10: Spřádání uhlíkových vláken [22]</i> .....	33
<i>Obr. 11: Schéma znázorňující výrobu uhlíkových vláken [22]</i> .....	34
<i>Obr. 12: Příklady rozložení uhlíkových vláken [22]</i> .....	35
<i>Obr. 13: Díly rámu z 3D tisku [40]</i> .....	39
<i>Obr. 14: Výsledná sestava titanového rámu [40]</i> .....	39
<i>Obr. 15: Kolo designéra Tristianana Koppa [23]</i> .....	42
<i>Obr. 16: Výroba bambusových kol v Ghaně [50]</i> .....	43
<i>Obr. 17: Profil trubky z PLA vytištěné na 3D tiskárně [42]</i> .....	44
<i>Obr. 18: Vybrané typy vnitřních výplní profilů</i> .....	45
<i>Obr. 19: Výsledný model rámu firmy Eurocompositi [51]</i> .....	45
<i>Obr. 20: Schéma znázorňující součásti jízdního kola [52]</i> .....	46
<i>Obr. 21: Rám kola [53]</i> .....	46
<i>Obr. 22: Testovací stolice na rámy s tlumičem ČSN EN ISO 4210-6</i> .....	48
<i>Obr. 23: Důležité parametry geometrie rámu [54]</i> .....	49
<i>Obr. 24: Popis vidlice [55]</i> .....	51
<i>Obr. 25: Součásti hlavového složení [56]</i> .....	54
<i>Obr. 26: Druhy offsetů na sedlovkách [57]</i> .....	55
<i>Obr. 27: Pohonné ústrojí zadního kola [33]</i> .....	57
<i>Obr. 28: Části řetězu [29]</i> .....	58
<i>Obr. 29: Popis přehazovačky [19]</i> .....	59
<i>Obr. 30: Vliv velikosti kola na výsledné vlastnosti [58]</i> .....	62
<i>Obr. 31: Zkouška dynamické pevnosti sestavy jízdního kola ČSN EN ISO 4210-3</i> .....	64
<i>Obr. 32: Zatížení na sedlové trubce rámu kola a okrajové podmínky</i> .....	68

---

<i>Obr. 33: Celková deformace</i> .....	69
<i>Obr. 34: HMH napětí</i> .....	69
<i>Obr. 35: Celková deformace</i> .....	70
<i>Obr. 36: HMH napětí</i> .....	70
<i>Obr. 37: Celková deformace</i> .....	71
<i>Obr. 38: HMH napětí</i> .....	71
<i>Obr. 39: Zatížení pedálů na středové trubce rámu kola a okrajové podmínky</i> .....	72
<i>Obr. 40: Celková deformace</i> .....	73
<i>Obr. 41: Deformace v ose x</i> .....	73
<i>Obr. 42: Deformace v ose y</i> .....	74
<i>Obr. 43: Deformace v ose z</i> .....	74
<i>Obr. 44: HMH napětí</i> .....	75
<i>Obr. 45: Celková deformace</i> .....	75
<i>Obr. 46: HMH napětí</i> .....	76



**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 1: Mechanické vlastnosti exkluzivních materiálů z oceli [38]</i> .....	24
<i>Tabulka 2: Složení slitiny Al 6061 [22]</i> .....	27
<i>Tabulka 3: Složení slitiny Al 6066 [22]</i> .....	27
<i>Tabulka 4: Složení slitiny Al 7005 [22]</i> .....	28
<i>Tabulka 5: Porovnání slitin hliníku z pohledu mechanických vlastností [23]</i> .....	28
<i>Tabulka 6: Obsah prvků v titanových slitinách [26]</i> .....	37
<i>Tabulka 7: Porovnání mechanických vlastností jednotlivých materiálů [33]</i> .....	40
<i>Tabulka 8: Přehled konkrétních slitin a jejich vlastnosti</i> .....	40
<i>Tabulka 9: Shrnutí výsledků z pevnostní analýzy</i> .....	77

**SEZNAM GRAFŮ**

<i>Graf 1: Světová produkce kol v porovnání s automobilem v letech 1950 – 2000 [32].....</i>	<i>15</i>
<i>Graf 2: Porovnání meze pevnosti a meze kluzu u jednotlivých slitin hliníku [33].....</i>	<i>29</i>
<i>Graf 3: Znáznornění únavových křivek kompozitů v porovnání s ocelí [23].....</i>	<i>31</i>
<i>Graf 4: Znáznornění modulu pružnosti v tahu u uhlíkových vláken [33].....</i>	<i>32</i>