

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

## VOLBA MATERIÁLU PRO KOMPONENTY JÍZDNÍCH KOL

THE MATERIAL SELECTION FOR BICYCLE COMPONENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MIROSLAV TÁBORSKÝ

VEDOUcí PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. KAREL NĚMEC, Ph.D

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Miroslav Táborský

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

### **Volba materiálu pro komponenty jízdních kol**

v anglickém jazyce:

### **The Material Selection for Bicycle Components**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracování přehledu o materiálech v současnosti používaných k výrobě komponentů jízdních kol a následné vyhodnocení hledisek vhodnosti jejich volby pro různé součástky.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Přehled materiálů používaných na velokomponenty
- 2) Popis vlastností jednotlivých materiálů
- 3) Rozbor hledisek volby materiálů pro velokomponenty
- 4) Definice závěrů vyplývajících z tématu

Seznam odborné literatury:

- 1) Ptáček, L.: Nauka o materiálu II. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002., 392 s., ISBN 80-7204-248-3
- 2) Sedláček, V. : Neželezné kovy a slitiny. 1.vyd. Praha: SNTL, 1979, 398 s.
- 3) Chung, Deborah, D. L. : Composite materials: functional materials for modern technologies. London: Springer, 2003. 289 s., ISBN 185233665X
- 4) Ashby, M. F.: Materials selection in mechanical design. 3rd ed. Oxford, Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. 603 s., ISBN 0-7506-6168-2

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Karel Němec, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 11.11.2009

L.S.

---

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Závěrečná práce je zaměřena na problematiku volby materiálu pro komponenty jízdních kol. Obsahuje souhrn základních informací o materiálech v současnosti používaných pro komponenty jízdních kol, které jsou mezi sebou porovnávány z různých hledisek.

## **Abstrakt - anglicky**

The final work is focused on problematics of material selection for bicycle components. It contains summary of basic information about materials which are used for bicycle components and these materials are compared from various aspects.

## **Klíčová slova:**

volba materiálu, komponenty jízdních kol, slitiny hliníku, slitiny hořčíku, slitiny titanu, ocel, plasty, kompozity

## **Klíčová slova – anglicky:**

material selection, bicycle components, aluminium alloys, magnesium alloys, titanium alloys, steel, plastics, composites

## Bibliografická citace

TÁBORSKÝ, M. *Volba materiálu pro komponenty jízdních kol*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Němec, Ph.D.

## Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracoval samostatně a použil pramenů uvedených v seznamu literatury.“

V Brně 27. května 2010

Miroslav Táborský

## Poděkování

Děkuji Ing. Karlovi Němcovi, Ph.D za odbornou pomoc při vypracování a vedení  
mojí bakalářské práce.

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>VOLBA MATERIÁLU</b>	<b>4</b>
2.1	MATERIÁL A KONSTRUKCE	4
2.2	PROCES NÁVRHU	4
2.3	DRUHY KONSTRUOVÁNÍ	5
2.4	NÁSTROJE KONSTRUKCE A MATERIÁLOVÁ DATA	5
2.5	FUNKCE, MATERIÁL, STRUKTURA A TECHNOLOGIE	6
<b>3</b>	<b>MATERIÁLY POUŽÍVANÉ V CYKLISTICKÉM PRŮMYSLU</b>	<b>7</b>
3.1	HLINÍK A JEHO SLITINY	7
3.1.1	<i>Základní vlastnosti</i>	7
3.1.2	<i>Rozdělení slitin hliníku</i>	8
3.1.3	<i>Zpevňování hliníkových slitin</i>	9
3.1.4	<i>Tepelné zpracování slitin hliníku</i>	10
3.1.5	<i>Technologické vlastnosti</i>	10
3.1.6	<i>Slitiny hliníku používané pro výrobu komponent jízdních kol</i>	11
3.2	HOŘČÍK A JEHO SLITINY	13
3.2.1	<i>Slitiny hořčíku</i>	13
3.2.2	<i>Tepelné zpracování</i>	13
3.2.3	<i>Použití slitin hořčíku pro výrobu komponent jízdních kol</i>	14
3.3	TITAN A JEHO SLITINY	15
3.3.1	<i>Slitiny titanu</i>	15
3.3.2	<i>Tepelné zpracování</i>	16
3.3.3	<i>Technologické vlastnosti</i>	17
3.3.4	<i>Slitiny titanu používané pro komponenty jízdních kol</i>	17
3.4	OCEL	17
3.4.1	<i>Vlastnosti čistého železa</i>	18
3.4.2	<i>Soustava železo-uhlík</i>	18
3.4.3	<i>Další prvky v slitinách železa s uhlíkem</i>	18
3.4.4	<i>Tepelné zpracování</i>	19
3.4.5	<i>Technologické vlastnosti</i>	20
3.4.6	<i>Rozdělení a značení ocelí</i>	21
3.4.7	<i>Oceli používané pro komponenty jízdních kol</i>	21
3.5	PLASTY	22
3.5.1	<i>Výroba polymerů</i>	22
3.5.2	<i>Struktura polymerů</i>	23
3.5.3	<i>Mechanické vlastnosti</i>	25
3.5.4	<i>Rozdělení polymerů</i>	26
3.5.5	<i>Plasty</i>	26
3.5.6	<i>Použití plastů pro komponenty jízdních kol</i>	27
3.6	KOMPOZITY	27
3.6.1	<i>Matrice</i>	28
3.6.2	<i>Geometrie výztuže</i>	28
3.6.3	<i>Struktura a vlastnosti vláknových kompozitů</i>	28
3.6.4	<i>Kompozity a komponenty jízdních kol</i>	29
3.6.5	<i>Technologické vlastnosti</i>	30
3.6.6	<i>Důvody použití kompozitů pro komponenty jízdních kol</i>	31



<b>4</b>	<b>VOLBA MATERIÁLU PRO KOMPONENTY JÍZDNÍCH KOL.....</b>	<b>31</b>
4.1	NEJDŮLEŽITĚJŠÍ HLEDISKA PRO VOLBU MATERIÁLU KOMPONENT JÍZDNÍCH KOL .....	31
4.2	UKÁZKA VOLBY MATERIÁLU PRO VIDLICE JÍZDNÍCH KOL .....	34
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>37</b>

# 1 Úvod

Základní podoba jízdního kola (tak jako většiny průmyslových výrobků) je, zjednodušeně řečeno, prakticky neměnná již dlouhá desetiletí, ale v posledních dvou desítkách let došlo k obrovskému převratu na poli používaných materiálů.

Dříve byla hlavním materiálem ocel a jiné materiály byly využívány v minimálním, nezbytně nutném, množství. V současnosti je trend přesně opačný a výrobci používají širokou škálu materiálů zahrnující oceli, slitiny neželezných kovů, plasty, kompozity a další. Každý z těchto materiálů má své specifické vlastnosti a je vhodný pro určitou aplikaci. Cílem této práce je vytvořit ucelený přehled materiálů používaných pro konstrukci komponentů jízdních kol, vzájemné srovnání a popis procesu jejich volby.

## 2 Volba materiálu

Při pohledu do historie zjistíme, že materiál byl vždy limitujícím faktorem pro technickou úroveň výrobků a staveb. Celá období existence lidstva jsou pojmenována podle hlavního materiálu, který hrál nejdůležitější roli – doba kamenná, bronzová, železná. Z tohoto pohledu lze dnešní dobu považovat za řekněme dobu multimateriálovou. Rozvoj materiálů nebyl nikdy tak rychlý, před 20 lety neexistovala polovina dnes známých materiálů. [1]

### 2.1 Materiál a konstrukce

Návrh nového výrobku je proces při kterém dochází k transformaci nového nápadu nebo požadavku trhu na detailní informace, které umožní produkci tohoto výrobku. Každý z kroků během návrhu takového výrobku je spojen z rozhodnutím jaký materiál zvolit, tak aby zabezpečoval správnou funkci a byl technologicky vyrobitelný. Obvykle je výběr materiálu diktován konstrukcí, designem nového produktu. Někdy ale dochází k potřebě zvolit nový materiál pro již existující výrobek. Tato potřeba může být vyvolána různými důvody – estetické požadavky, nová technologie výroby, atd. Dochází i k tomu, že potřeba nového výrobku vede k vývoji nového materiálu a obráceně. Škála dostupných materiálů se v současnosti pohybuje okolo sto dvaceti tisících. Je zde sice snaha o standardizaci a snížení tohoto počtu, nicméně vývoj nových materiálů stále pokračuje.

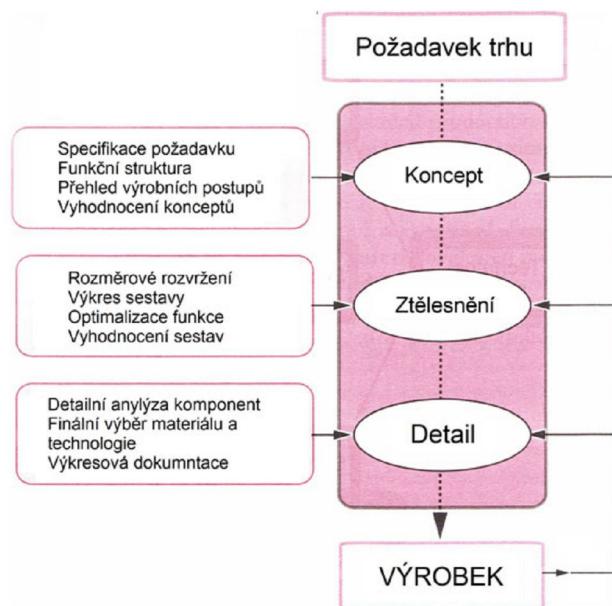
Tento obrovský výběr může být proto značně kontraproduktivní, protože vybrat vhodný materiál pro daný účel je stále náročnější. Do nedávné minulosti byl výběr materiálu založen na zkušenosti konstruktéra. To může být sice velmi účinný nástroj, ale v době informačních technologií poněkud těžkopádný. Obrovská dynamika rozvoje nových materiálů vyžaduje systematický postup, který umožní rychlý výběr, ale zároveň budou jeho výsledky dostatečně robustní. To umožňuje implementace výpočetní techniky do procesu při kterém je volba materiálu propojena s nástroji pro konstrukci výrobku. Na začátku konstrukce jsou podmínky poměrně široké, každý materiál musí být zvážen. Jakmile se představy o designu nového výrobku zpřesňují, kritéria výběru se zužují. Následným krokem je získání přesných dat pomocí různých analýz. Výsledkem tohoto procesu by měl být konkrétní materiál přesně vyhovující danému účelu.

Volba materiálu nemůže být dělána nezávisle na výběru technologie výroby, spojování, povrchové úpravy a dalších výrobních postupů. Dalším důležitým měřítkem je cena vstupů – ta závisí nejen na ceně daného materiálu, ale také na technologickém postupu, který vede ke kýženému výsledku. Nezanedbatelným parametrem je působení prostředí na materiál a obráceně, ekologická hlediska jsou velmi důležitá. Konstrukce výrobku a volba materiálu musí být také prováděna s ohledem na estetické vyznění produktu, což rozhoduje o jeho tržním úspěchu. [1]

### 2.2 Proces návrhu

Počátečním bodem je požadavek trhu nebo nová idea, koncovým je úplná specifikace produktu. Je těžké definovat potřebu jako takovou, ale lze ji charakterizovat jako zařízení, které dokáže XY. Mezi potřebou a specifikací produktu je několik fází viz. *Obr. 2.1*. V koncepční fázi jsou všechny možnosti otevřeny, jsou vytvořeny alternativní koncepty, které lze různě kombinovat. Výsledkem této fáze je výběr jednoho z konceptů. V dalším kroku, ztělesnění, je vybraný koncept podroben podrobnější analýze, která určí základní rozměry výrobku a jeho komponent, skupinu materiálů, které nejlépe vyhovují požadavkům na mechanické zatížení, teplotní rozsah, odolnost vůči prostředí a ekonomickou náročnost. Ve finální fázi je vytvořena podrobná specifikace pro každou z komponent daného výrobku. Jsou provedeny podrobné analýzy mechanického namáhání. Součásti jsou optimalizovány tak, aby dosahovaly co nejlepších parametrů. Proběhne konečná volba materiálu, tvaru,

výrobní technologie, je proveden podrobný finanční rozbor. Celý tento proces je iterativní, pokud je v některých ze stupňů shledáno, že vybrané řešení je nevyhovující, následuje návrat k předchozímu stupni a jeho přehodnocení. [1]



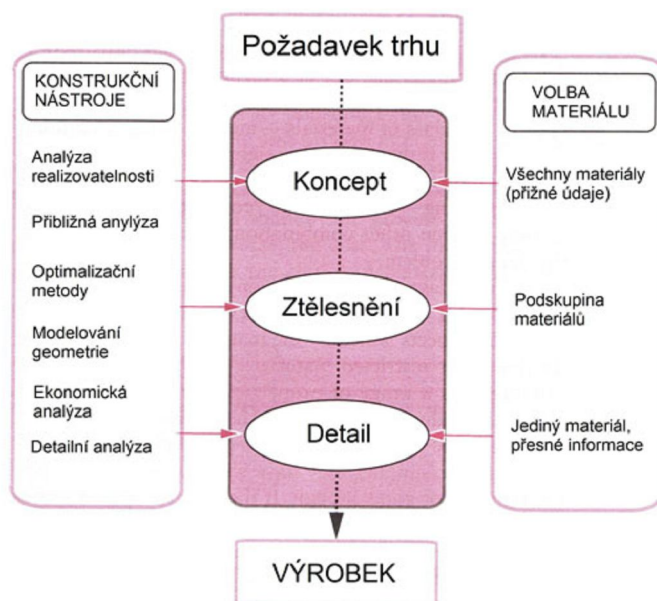
Obr. 2.1 – Schéma procesu návrhu [1]

### 2.3 Druhy konstruování

Ne vždy je nezbytné začínat konstrukci od nuly. V případě *originální-původní konstrukce* ano. Tato potřeba je vyvolána novým nápadem nebo objevením nového funkčního principu. Nový materiál může nabídnout unikátní kombinaci vlastností, které umožní zcela odlišnou konstrukci. V případě specifických požadavků je snaha vyrobit materiál, který bude co nejlépe splňovat tyto požadavky. *Adaptivní konstrukce* si klade za cíl vylepšení již existujícího konceptu, to je často umožněno vývojem nového materiálu. *Variantní konstrukce* se zaměřuje na změnu měřítka, rozměrů výrobku, pro různé velikosti výrobku sloužícího ke stejnému účelu, může být vhodný jiný materiál. [1]

### 2.4 Nástroje konstrukce a materiálová data

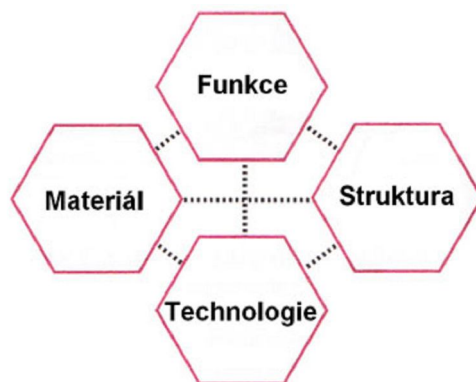
Konstrukční nástroje (viz. Obr. 2.2) umožňují modelování a optimalizaci konstrukce v každé fázi návrhu. Analýzy proveditelnosti vyberou funkční návrhy. 3D modelování umožní vizualizaci, následně lze tyto modely podrobit podrobným analýzám mechanických vlastností (například metoda konečných prvků). Tyto 3D návrhy lze dále využít v číslicově řízených prototypových a výrobních systémech. Další nástroje umožňují cenovou optimalizaci, optimalizaci výrobního a montážního postupu. Volba materiálu vstupuje do každé fáze návrhu. V koncepční fázi jsou všechny možnosti otevřené, pro jeden koncept může být vhodný plast, pro jiný kovový materiál. Ve ztělesňujícím kroku je výběr zúžen na určitou vhodnou skupinu materiálů, například hliníkové slitiny. Ve finální fázi dochází k výběru jednoho nebo několika málo materiálů, pro které je potřeba znát všechna data, dochází k případnému testování prototypů. Dobrým přírovnáním je výběr nového jízdního kola. Nejdříve je vybrán vhodný typ odpovídající podmínkám využívání (horské kolo, silniční kolo, městské, ...). Následně přichází volba rámu, řazení, brzd, vidlice atd. V poslední fázi, pokud je na tento výběr kladen důraz, dojde na hledání dalších informací, recenzí, testů v odborných magazínech, sledování názorů uživatelů a celý proces je ukončen vlastním testem vybraných kandidátů. [1]



Obr. 2.2 – Schéma návrhu nového výrobku [1]

## 2.5 Funkce, materiál, struktura a technologie

Volba materiálu a výrobního postupu nemůže být učiněna nezávisle na výběru struktury výrobku Obr. 2.3. Slovem struktura je myšlen jak tvar, rozměry, profil, povrch součásti, tak i její vnitřní struktura. Aby bylo vytvořena struktura musí projít materiál procesem výroby, který zahrnuje primární tvarování (jako je odlévání, tváření), následně procesem odběru materiálu (obrábění), dokončovacími operacemi (leštění) a procesem spojování (např. svařování). Funkce, materiál, struktura a technologie výroby jsou ve vzájemné interakci. Funkce určuje materiál a strukturu. Technologie výroby se musí přizpůsobit použitému materiálu, jeho tvářitelnosti, obrobitelnosti, svařitelnosti, tepelné zpracovatelnosti atd. Dále je vybraná technologie limitujícím faktorem pro tvar, rozměry, povrch, přesnost, cenu. Tyto interakce jsou oboustranné. Čím je konstrukce propracovanější, tím jsou interakce těsnější. [1]



Obr. 2.3 – Znárodnění interakce mezi technologií, funkcí, materiálem a strukturou [1]

Aby byla volba materiálu úspěšná, je třeba se seznámit s jednotlivými materiály použitelnými na výrobu komponentů jízdních kol. Touto problematikou se bude zabývat následující kapitola.

## 3 Materiály používané v cyklistickém průmyslu

### 3.1 Hliník a jeho slitiny

Hliník je třetím nejčastěji se vyskytujícím prvkem v zemské kůře (hned po kyslíku a křemíku). V přírodě se nikdy nevyskytuje jako čistý kov, vždy je vázán ve sloučeninách, nejčastěji s kyslíkem jako oxid hlinitý  $Al_2O_3$  v minerálu Bauxit (podle francouzského města Les Baux kde byl objeven). Kovový hliník se získává elektrolytickou reakcí taveniny oxidu hlinitého ve směsi s kryolitem. Hlavní nevýhodou této metody je velká energetická náročnost a z toho plynoucí vyšší cena. Průmyslová výroba započala až na konci 19. století. Teprve v roce 1906 byla vyvinuta první slitina hliníku, dural ( $AlCu4Mg$ ). Tento materiál způsobil revoluci ve stavbě letecké techniky. V současnosti patří slitiny hliníku k běžným konstrukčním materiálům a kromě ocelí také nejpoužívanějším. [3], [5]

#### 3.1.1 Základní vlastnosti

##### *Dobrý poměr pevnost/měrná hmotnost*

Hustota hliníku je  $2700 \text{ kg/m}^3$ , to odpovídá zhruba jedné třetině hustoty oceli. Pevnost v tahu u hliníkových slitin dosahuje až 700 MPa, což je podobná hodnota jako u nízkouhlíkových ocelí.

##### *Technologické vlastnosti*

Hliník je jeden z nejlépe tvářitelných kovů. V podstatě všechny metody tváření používané pro jiné kovy, mohou být použity pro hliník. Jsou to například protlačování, ohýbání, válcování, tažení, kování. Hliník a jeho slitiny jsou vhodné také pro slévárenské účely. Naopak nedostatkem je nízká tvrdost, která způsobuje problémy při třískovém obrábění (problémy s oddělováním třísky – materiál se maže). Součásti vyrobené z hliníku a jeho slitin lze spojovat všemi konvenčními metodami včetně svařování a lepení

##### *Korozní odolnost*

Hliník velmi rychle reaguje s kyslíkem a na jeho povrchu se vytváří vrstva tvrdého oxidu, který tak vytváří přirozenou ochranou vrstvu. To platí i pro slitiny, pokud neobsahují měď. Pouze v alkalickém prostředí je odolnost velmi malá. Je nutné také myslet na elektrochemickou korozi, která může při vodivém styku s jinými materiály působit značné problémy.

##### *Mechanická vlastnosti za nízkých teplot*

Narozdíl od oceli, titanu a jiných materiálů si hliník a jeho slitiny zachovává mechanické vlastnosti i za velmi nízkých teplot, pevnost dokonce roste. Toho se využívá pro konstrukce v chladných klimatických podmínkách nebo pro výrobu nádob pro přepravu zkapalněných plynů (například teplota kapalného zemního plynu je  $-162 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

##### *Další vlastnosti*

Hliník má výbornou elektrickou vodivost, tepelná vodivost je asi třikrát vyšší než oceli. Dále se vyznačuje vysokou odrazivostí viditelného i infračerveného záření. Je netoxický.

##### *Recyklovatelnost*

Hliník je dobře recyklovatelný. Opětovná produkce hliníku z recyklovaného materiálu spotřebuje pouze 5 % energie nutné na výrobu stejného množství z rudy.

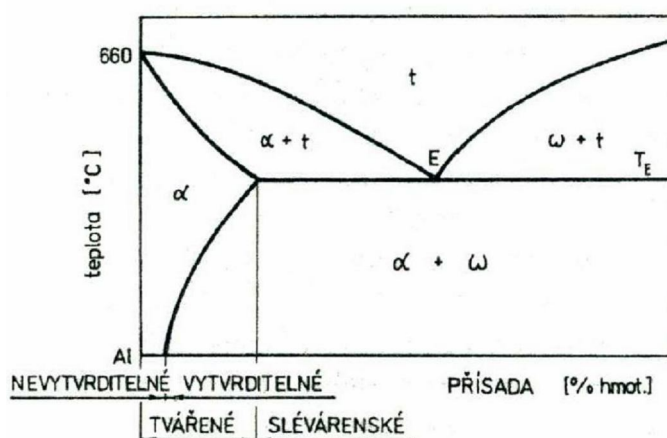
[4], [5]

### 3.1.2 Rozdělení slitin hliníku

Hliník tvoří s většinou přísadových kovů tuhé roztoky. Největší rozpustnost v tuhém stavu je v eutektické bodě, s klesající teplotou klesá i rozpustnost. Mezi nejvýznamnější přísady patří zinek, mangan, hořčík, měď a křemík. Celkově je používáno asi 15 různých legujících prvků. Množství legur zpravidla nepřesahuje 10 %. [2], [4]

Základní rozdělení slitin hliníku je na dvě velké skupiny – slitiny hliníku pro tváření a slitiny hliníku pro odlitky.

Dalším často používaným kritériem pro rozdělení hliníkových slitin je jejich schopnost zvýšit pevnost a tvrdost tepelným zpracováním - vytvrzováním. Tato schopnost souvisí s chemickým složením slitin, tedy jejich polohou v rovnovážném diagramu a mimo jiné je podmíněna dostatečným přesycením tuhého roztoku přísadovými prvky, dosahovaným při rychlém ochlazení slitin z oblasti existence tuhého roztoku  $\alpha$ . [3]



Obr.3.1.1 – Schéma obecného rovnovážného diagramu binárních slitin hliníku. [3]

Asi nejsrozumitelnější způsob třídění slitin hliníku je dle norem EN, které bylo v podstatě převzato ze značení dle severoamerické Aluminum Association.

#### Slitiny hliníku pro tváření

Pro velo komponenty je tato skupina nejdůležitější. Označení se sestává z písmen EN, z mezerou oddělené zkratky AW (A značí hliník, W značí tvářený výrobek) a pomlčkou odděleného čtyřčíslí: EN AW-XXXX. První číslice označuje hlavní přísadový prvek, druhá číslice určuje modifikaci slitiny, třetí a čtvrtá číslice slouží k rozlišení jednotlivých slitin v rámci skupiny. [3]

Tab. 3.1.1 Třídění slitin hliníku pro tváření a přehled jejich základních charakteristik [3]

Skupina slitin	Hlavní přísadový prvek	Relativní odolnost	korozní	Relativní pevnost v tahu	Vytvrditelnost
1xxx	Al technické čistoty	Výborná		Malá	Ne
2xxx	Cu	Špatná		Vysoká	Ano
3xxx	Mn	Dobrá		Malá	Ne
4xxx	Si	-		-	Ne
5xxx	Mg	Dobrá		Dobrá	Ne
6xxx	Si, Mg	Dobrá		Dobrá	Ano
7xxx	Zn	Špatná		Vysoká	Ano

### **1xxx**

Hliník technické čistoty – čistota slitiny je nad 99 % hliníku. Poslední dvě číslice v označení udávají právě čistotu nad 99 %, například 1060 znamená 99,6 % hliníku. Pevnost v tahu se pohybuje v rozmezí 70 – 130 MPa. Používá se zejména v elektrotechnice, v chemickém průmyslu a pro výrobu obalů.

### **2xxx**

Hlavním legujícím kovem je měď, která způsobuje vysokou pevnost v tahu, ale negativně působí na korozní odolnost. Slitiny této řady byly prvními slitinami hliníku vůbec, známé jsou také jako duraly. Nevýhodou těchto slitin je horší svařitelnost.

### **3xxx**

Přísadovým prvkem v této řadě je mangan. Ten zvyšuje mechanické vlastnosti oproti čistému hliníku asi o 20 %. Korozní odolnost a tvářitelnost je dobrá. Používají se hlavně ve stavebnictví ve formě plechů.

### **4xxx**

Křemík snižuje teplotu tání, toho se využívá pro svařování a pájení. Hlavní využití této řady spočívá ve výrobě svařovacích drátů a pájek.

### **5xxx**

Slitiny Al - Mg. Hořčík zvyšuje pevnost v tahu a korozní odolnost je výborná. Hlavní využití nacházejí slitiny této řady ve stavbě lodí a jako svařovací dráty.

### **6xxx**

Legujícími prvky jsou křemík a hořčík v poměru vycházejícím z obsahu jednotlivých prvků v křemičitanu hořečnatém ( $Mg_2Si$ ). Tyto slitiny představují nejvyváženější poměr mezi korozní odolností a pevností. Mez kluzu je porovnatelná s nízkouhlikovou ocelí. Slitiny řady 6xxx jsou momentálně nejpoužívanější. Jejich oblíbenost je způsobena také snadnou tvářitelností za studena. Protlačováním lze vyrábět tvarově velmi složité profily.

### **7xxx**

Primární legurou je zinek. Tato řada se dále dělí na dvě podskupiny, hliník – zinek – hořčík a druhou skupinu hliník – zinek – hořčík – měď. Slitiny této řady patří k jedním z nejpevnějších, pevnost v tahu běžně přesahuje 500 MPa. Používají se na rámy letadel, v automobilovém průmyslu, rámy jízdních kol. Korozní odolnost je dobrá, u slitin obsahujících měď je horší, ale stále dostačující.

### **8xxx**

Slitiny legované jinými prvky, například lithiem nebo skandiem. [5]

## **Slévárenské litiny hliníku**

Slitiny pro odlitky obsahují větší podíl přísad než slitiny pro tváření. To způsobuje větší heterogenitu, nižší houževnatost a pevnost v tahu (cca 250MPa). Obvyklou přísadou slévárenských slitin je křemík, který zvyšuje zabíhavost, nezbytnou pro odlévání. Odlévá se do písku, kovových forem a tlakově. [3]

### **3.1.3 Zpevňování hliníkových slitin**

Dalším z kritérií pro rozdělení hliníkových slitin je způsob jejich zpevňování. Možnosti jsou v podstatě dvě – deformační zpevňování a precipitační vytvrzování, kterého jsou schopny pouze některé slitiny viz. *Tab. 3.1.1*. Deformačním zpevňováním pomocí tváření lze zvýšit pevnost pouze na hodnoty blízké se 300 MPa a navíc je omezen rozměr výrobku,



který lze takto zpevnit. Precipitační vytvrzování je většinou urychlováno tepelným zpracováním a lze jím dosáhnout značné pevnosti. [2]

### 3.1.4 Tepelné zpracování slitin hliníku

Tepelné zpracování hraje významnou roli v konečných vlastnostech hliníkových slitin. Nejčastějším tepelným zpracováním hliníku je rekrytalizační žihání. Hlavními operacemi tepelného zpracování součástí ze slitin hliníku jsou žihání a vytvrzování.

*Žihání na odstranění pnutí* se používá u tvarově složitých součástí tvářených za tepla, u odlitků litych zejména do kovové formy, a po svařování.

*Žihání rekrytalizační* se nejčastěji zařazuje jako mezioperace po tváření za studena. Může být po tváření i operací konečnou, je-li spolu s dostatečnou pevností požadována i vysoká tvárnost materiálu.

*Homogenizační žihání* se používá před tvářením k odstranění dendritického odmišení v hutním polotovaru

*Žihání vytvrzených slitin k dosažení odpevnění* se používá tehdy, je-li vytvrzený materiál určen k další operaci tváření.

*Vytvrzování* se skládá z rozpouštěcího ohřevu, následného ochlazení a vytvoření metastabilního přesyceného roztoku a následného umělého stárnutí. Minimální potřebná rychlost ochlazování z teploty rozpouštěcího ohřevu je určena kritickou rychlostí ochlazování, kterou lze stanovit z kinetických diagramů rozpadu nerovnovážného roztoku  $\alpha$ . Prakticky pro všechny slitiny hliníku se jako ochlazovací prostředí používá voda o teplotě 20 až 40 °C. U tenkostěnných součástí to znamená rychlost 600 až 800 °C za sekundu, což je mnohonásobně více, než je kritická rychlost ochlazování kterékoliv slitiny hliníku. Získaný metastabilní tuhý roztok  $\alpha$  je ve srovnání s výchozím stavem slitiny tvářitelný bez nebezpečí vzniku trhlin, čehož se velmi často využívá. Tento stav je také někdy označován jako stav T4. Stárnutí znamená rozpad přesyceného tuhého roztoku  $\alpha$ , provázený růstem tvrdosti a pevnosti a snižování tvárnosti. U některých slitin probíhá samovolně již při pokojové teplotě, u jiných je nutný ohřev. Stav po umělém stárnutí se označuje zkratkou T6. [3]

### 3.1.5 Technologické vlastnosti

Jak již bylo zmiňováno na začátku této kapitoly, technologické vlastnosti hliníku a jeho slitin jsou velmi dobré, a proto lze použít širokou škálu metod zpracování jak pro tváření, tak i pro třískové obrábění.

Pro tváření je rozhodujícím pojmem tvařitelnost, čímž rozumíme schopnost materiálu k velkým plastickým deformacím bez potušení soudržnosti. [2]

Tváření lze rozdělit na dvě hlavní skupiny – za studena a za tepla, přičemž pro výrobu komponent jízdních kol je nejčastěji používáno tváření za studena. Konkrétněji jde hlavně o kování, zpravidla zápuštěkové, a dále o lisování do kterého spadá i momentálně velmi oblíbená metoda hydroforming, původně vyvinutá pro letecký průmysl. Jedná se o vytvarování polotovaru pomocí hydrostatického tlaku kapaliny přesně podle tvaru formy. Takto lze velmi produktivně vyrobit tvarově složitou součásti s vysokou tuhostí.

Z třískového obrábění jsou nejpoužívanější frézování, vrtání a soustružení. Nedostatkem hliníkových slitin je relativně nízká tvrdost, proto může docházet ke špatnému oddělování třísky tzv. mazání materiálu, což je nežádoucí.

Svařitelnost – v oblasti jízdních kol se nejčastěji bavíme o tavném svařování pomocí elektrického oblouku, kdy se oba spojované materiály místně nataví a vytvoří slitinu mezi sebou nebo s přidaným materiálem.

Hliník a jeho slitiny jsou poměrně dobře tavně svařitelné, hlavním problémem je vysoká afinita hliníku ke kyslíku, která vede ke tvorbě oxidu křemičitého ve svaru a to je nepřípustné. Proto vždy probíhá v ochranné atmosféře argonu, helia nebo dusíku, případně jejich kombinací. Tomuto odpovídají metody WIG (Wolfram Inert Gas) a MIG (Metal Inert Gas). Rozdíl mezi těmito metodami spočívá v tom, že v případě WIG hoří elektrický oblouk mezi netavnou wolframovou elektrodou a materiálem, u MIG hoří oblouk mezi materiálem a elektrodou, kterou tvoří přídavný materiál.

Součástky z hliníkových slitin se často povrchově neošetřují nebo se používají různé nátěry. Zajímavým způsobem povrchové úpravy je tzv. eloxování – elektrochemický proces, který je založen se přirozené vlastnosti hliníku tvořit vrstvu oxidu hlinitého, který součástku dostatečně chrání.

### 3.1.6 Slitiny hliníku používané pro výrobu komponent jízdních kol

Slitiny hliníku se v posledních letech staly pro toto použití velmi populární, zejména pro jejich příznivý poměr cena/výkon. Následující kapitola bude proto zaměřena na detailnější popis nejčastěji používaných slitin hliníku v segmentu výroby komponent jízdních kol.

Tab. 3.1.2 Nejčastěji používané slitiny hliníku a jejich chemické složení [5]

Slitina	Chemické složení - zastoupení jednotlivých prvků								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ostatní
<b>2014</b>	0,50 - 1,2	0,7	<b>3,9 - 5,0</b>	0,40 - 1,2	0,20 - 0,8	0,1	-	0,25	0,15
<b>2017</b>	0,20–0,8	0,70	<b>3,5 – 4,5</b>	0,40 - 1,0	0,40 - 0,8	0,10	0,20	0,15	0,15
<b>6061</b>	<b>0,40 - 0,8</b>	0,70	0,15 - 0,40	0,15	<b>0,8 - 1,2</b>	0,04 - 0,35	0,25	0,15	0,15
<b>7005</b>	0,35	0,40	0,10	0,20 - 0,7	1,0 - 1,8	0,06 - 0,20	<b>4,5 - 5,0</b>	0,01 - 0,06	0,15
<b>7020</b>	0,35	0,40	0,20	0,05 - 0,5	1 - 1,4	0,1 - 0,35	<b>4,0 - 5,0</b>	-	0,15
<b>7075</b>	0,40	0,50	1,2 - 2,0	0,30	2,1 - 2,9	0,18 - 0,28	<b>5,1 - 6,1</b>	0,20	0,15

Tab. 3.1.3 Nejčastěji používané slitiny hliníku a jejich základní mechanické vlastnosti [4]

Slitina	Základní mechanické vlastnosti					
	Tah [MPa]		Střih [MPa]	Tvrdość	Mez únavy [MPa] <sup>2</sup>	Modul pružnosti
	Mez pevnosti	Mez kluzu	Mez pevnosti	Brinell <sup>1</sup>		[GPa]
<b>2014 T6</b>	468	413	282	-	-	72,4
<b>2017 T4</b>	427	276	262	105	124	72,4
<b>6061 T6</b>	310	275	207	95	97	68,9
<b>7005 T6</b>	350	290	215	94	150	72
<b>7020 T6</b>	350	280	-	-	-	-
<b>7075 T6</b>	572	503	331	150	159	71,7

1 – zátěž 500 kg a průměr kuličky 10 mm

2 - zatěžováno 500 000 000 cykly, zkoušečka typu RR Moore

## 2017

Klasická vytvrditelná slitina. Obsah mědi je do 4,5 %, mechanické vlastnosti však značně závisí na obsahu hořčíku a manganu viz. *Tab.3.1.2*. Kromě těchto prvků pak významně působí obsah křemíku. U této slitiny probíhá přirozené stárnutí poměrně rychle po rozpouštěcím žhání při teplotě 500 °C. Překročení této teploty vede k výraznému poklesu mechanických vlastností. Pevnost se pohybuje okolo 400 MPa viz. *Tab. 3.1.3*. Hlavní nevýhodou je omezená svařitelnost, omezená tvařitelnost za studena i horší třísková obrobitelnost. Používá se například pro výrobu těl nábojů kol. [2]

## 2014

Další slitina řady 2xxx, ve všech parametrech velmi podobná s se slitinou 2017, jediným podstatným rozdílem je pomalé přirozené stárnutí, proto se provádí uměle. Uplatnění nachází u komponent jako jsou například řídítka. [3]

## 6061

Je typickým zástupcem slitin skupiny Al - Mg - Si a vyznačuje se poměrně malým obsahem přísadových prvků. Mechanické vlastnosti závisí citlivě nejen na obsahu hlavních legovacích prvků, ale také na jejich poměru. V soustavě Al - Mg - Si vzniká intermetalická sloučenina Mg<sub>2</sub>Si a vyznačuje se značnou stabilitou tuhého roztoku, takže při rozpouštěcím žhání (při 530 °C) není nutná vysoká ochlazovací rychlost. Používá se jako zpevněna tvářením za studena nebo vytvrzovaná. Vyznačuje se dobrou svařitelností, korozní odolností a schopností povrchových úprav. Používá se na širokou škálu komponentů jízdních kol jako představce, řídítka, sedlové trubky, vidlice. [3] [4]

## Slitiny řady 7xxx

Poslední často používané slitiny ve velo průmyslu jsou slitiny Al - Zn - Mg. Patří mezi vytvrzovatelné slitiny, u kterých se dosahuje optimálních vlastností nejen složením, ale i zvláštním umělým stárnutím. Slitiny tohoto typu se zásadně dělí na dvě skupiny, lišící se obsahem mědi. Slitiny bez mědi (7005, 7020) jsou dobře svařitelné, přičemž svar může bez dodatečného rozpouštěcího žhání zabezpečit po stárnutí až 90 % pevnosti základního materiálu. Složení, ale i obsah nečistot a tepelné zpracování určují plastické vlastnosti a náchylnost ke koroznímu praskání, kterou lze ovlivnit přidávkem dalších prvků jako Mn, Cr. Strukturně jsou tyto slitiny velmi složité, citlivé a náročné na tvářením i tepelné zpracování. Běžně se používá dvoustupňového umělého stárnutí. Mechanickými vlastnostmi stojí slitiny Al - Zn - Mg nejvýše mezi hliníkovými slitinami viz. *Tab. 3.1.3* a tvoří přechod ke skupině slitin s vyšší pevností. S rostoucím obsahem zinku a zejména hořčíku se zvyšuje pevnost, ale zároveň roste náročnost na tvářením i tepelné zpracování. [3] [4]



Obr. 3.1.2 – Řídítka a představec vyrobeny z hliníkových slitin [12], [13]

Slitiny hliníku zastávají ve výrobě komponent jízdních kol důležitou pozici, kterou jim zaručuje výborný poměr hmotnosti, pevnosti, technologických vlastností a v neposlední řadě ceny. Mezi nevýhody patří kratší životnost a změna vlastností v závislosti na čase. Dalším negativem je nízký útlum vibrací, který je oproti ostatním materiálům používaných v tomto odvětví nejhorší.

## 3.2 Hořčík a jeho slitiny

Hořčík je v zemské kůře zastoupen zhruba dvěma procenty v podobě rud jako uhličitán hořečnatý  $MgCO_3$  a uhličitán vápenato - hořečnatý  $CaMg(CO_3)_2$ . Další průmyslově využitelné množství obsahuje mořská voda. Hořčík je získáván buď elektroliticky nebo termickým způsobem. [8]

Čistý hořčík se pro konstrukční účely nepoužívá. Výhodou je sice nízká hustota, ale jeho pevnost není dostatečná, následkem hexagonální struktury má velmi omezenou tvárnost za studena a malou odolnost proti korozi, proto se téměř výhradně používají jeho slitiny. [2]

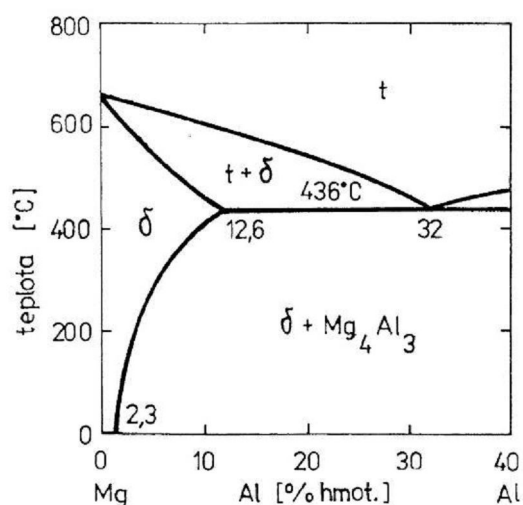
### 3.2.1 Slitiny hořčíku

Hlavní předností slitin hořčíku je nízká měrná hmotnost ( $1\,760$  až  $1\,990\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), měrná pevnost srovnatelná s obdobnými slitinami hliníku i řady ocelí, vysoký útlum vibrací a výborná obrobiteľnosť. Naopak za nedostatky lze považovat obtížnější a nákladnější výroba a zpracování než u slitin hliníku v důsledku vysoké reaktivity za vyšších teplot, malá tvárnost za studena a nízká rychlost difúzních pochodů při tepelném zpracování. Nežádoucí vlastností slitin hořčíku je sklon k intenzivní elektrokorozí v kontaktu s většinou kovů a slitin, zhoršená svařitelnost, nízká odolnost za vyšších teplot, a nedostatečná vrubová houževnatost. [3], [8]

Nejběžněji používanými slitiny hořčíku jsou slitiny Mg-Al-Zn, které jsou známé pod názvem elektrony. Hlavním zpevňujícím prvkem je hliník, zinek má na zpevnění podstatně menší vliv. Tvářené polotovary z hořčíkových slitin se ve velkém průmyslu používají pouze pro stavbu rámu, u komponent se zpravidla jedná o odlitky, pro které je tato slitina vhodná. Jediná normovaná slitina v České republice je MgAl18Zn1 (ČSN 42 4911), která je ekvivalentní slitině, dle amerických norem, označované značkou AZ 81. Další často používané slitiny této soustavy jsou AZ 91 a AZ 61, podrobnější informace viz Tab. 3.2.1 a 3.2.2. Tyto slitiny se odlévají do forem pískových, kovových nebo pod tlakem, vzhledem k vysoké afinitě Mg ke kyslíku je vždy nutné použití inhibitorů hoření, nejčastěji na bázi síry. [3], [7], [10]

### 3.2.2 Tepelné zpracování

Ve srovnání se slitinami hliníku jsou při tepelném zpracování nutné delší výdrže na teplotách. Pro zamezení oxidace se tepelné zpracování provádí v atmosféře vzduch s 0,7 až 1 hm. % oxidu siřitého. Ohřev odlitků je možný i v taveninách solí dichromanu sodného a draselného. Nejčastějším tepelným zpracováním slitin hořčíku je homogenizační žíhání, které slouží k odstranění nerovnovážného rozdělení přísadových prvků v objemu slitiny po krystalizaci a tím ke zlepšení pevnostních a tvárnostních charakteristik odlitků. Elektrony jsou v litém stavu křehké v důsledku značného množství eutektických částic sloučeniny  $Mg_4Al_3$  vyloučených po hranicích zrn tuhého roztoku  $\alpha$  (Obr. 3.2.1). Po ochlazení odlitku z teploty homogenizačního žíhání je struktura tvořena homogenním tuhým roztokem  $\alpha$  a nevelkým množstvím nerozpuštěných minoritních fází, zejména částic manganu, který bývá přítomen jako příměs. Žíhání na snížení vnitřního pnutí a rekrytalizační žíhání se používají pouze omezeně.



Obr. 3.2.1 – Část rovnovážného diagramu soustavy Mg-Al [3]

Vytvrzování se skládá z rozpouštěcího ohřevu a následného umělého stárnutí. Zvláštností je možnost ochlazování z teploty rozpouštěcího ohřevu volně na vzduch nebo ve vřelé vodě. U některých slitin se umělé stárnutí provádí i bez předchozího rozpouštěcího ohřevu.

Tab. 3.2.1 Chemické složení běžně používaných elektronů [4]

Slitina	Chemické složení - zastoupení jednotlivých prvků							
	Al	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	Zn
<b>AZ 61</b>	0,58 - 7,2	<= 0,050	<= 0,0050	92	>= 0,15	<= 0,0050	<= 0,10	0,40 - 1,50
<b>AZ 81</b>	7,0 - 8.10	<= 0,10	-	92	>= 0,13	<= 0,010	<= 0,30	0,40 - 1,0
<b>AZ 91</b>	8,10 - 9,30	<= 0,015	<= 0,0050	90	0,17 - 0.35	<= 0,0010	<= 0,20	0,35 - 1.0

Tab. 3.2.2 Základní mechanické vlastnosti běžně používaných elektronů [4]

Slitina	Základní mechanické vlastnosti					
	Tah [MPa]		Střih [MPa]	Tvrdoost	Mez únavy [MPa]	Modul pružnosti [GPa]
	Mez pevnosti	Mez kluzu	Mez pevnosti	Brinell <sup>1</sup>		
<b>AZ 61A-F</b>	310	230	140	60		45
<b>AZ 81A T4</b>	275,00	83,00	125,00	55	76 <sup>3</sup>	45
<b>AZ 91E T6</b>	275	145	-	70	85 <sup>2</sup>	44,8

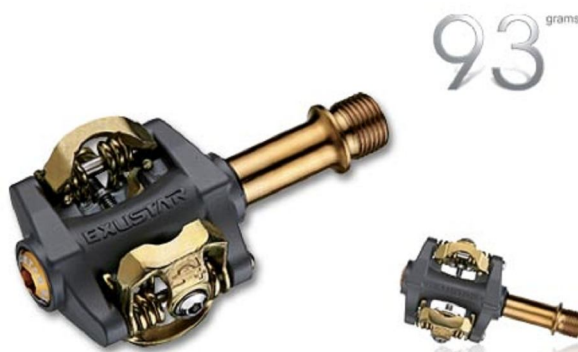
1 - zátěž 500 kg a průměr kuličky 10 mm

2 - zatěžováno 500 000 000 cykly, zkoušečka typu RR Moore

3 - zatěžováno 100 000 000 cykly, zkoušečka typu RR Moore

### 3.2.3 Použití slitin hořčíku pro výrobu komponent jízdních kol

I přes nižší hodnoty mechanických vlastností jsou slitiny hořčíku výborným materiálem pro konstrukci velo komponentů, protože díky velice nízké hustotě lze použít větší množství materiálu, tak aby byly zaručeny požadované pevnostní parametry výrobku při zachování jejich nízké hmotnosti. Dalším nezanedbatelným kladem je výborný útlum vibrací a rázů, tato vlastnost se navíc se vzrůstajícím zatížením zlepšuje a mezi kovovými materiály je bezkonkurenční. Hlavní nevýhodou tak zůstává vyšší cena a obtížnější zpracování, proto hořčíkové slitiny používá pouze omezený počet výrobců a zásadně na vyšší řady komponent.



Obr. 3.2.2 – MTB pedály jejichž tělo je odlito z hořčíkové slitiny, hmotnost jednoho tohoto pedálu je pouze 93 g. [14]

### 3.3 Titan a jeho slitiny

Titan, jehož praktické využití se datuje od roku 1948, je čtvrtý nejvíce zastoupený prvek v zemské kůře a často bývá označován jako „zázračný kov“ s výbornou pevností, tvárností, odolností proti únavovému poškození, příznivou měrnou hmotností ( $4\,505\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) v kombinaci s perfektní odolností vůči okolnímu prostředí. Tyto vlastnosti si zachová při zvýšených i snížených teplotách. [4]

Značná složitost při získávání titanu z jeho rud (hlavně rutilu a ilmenitu) spočívající v převodu chlorováním na chlorid titaničitý a následné redukci hořčíkem na kovový titan, způsobuje vysokou cenu. Další nemalé náklady vznikají díky přísným podmínkám během dalšího zpracování. Těmito přísnými podmínkami je myšleno zejména obtížnější obrábění, vysoká reaktivita titanu za teplot nad  $700\text{ °C}$  s plyny a žáruvzdornými hmotami, nutnost nákladného odlévání ve vakuu nebo ochranné atmosféře argonu, obtížné tavné svařování, které je provázeno hrubnutím zrna a nepříznivými fázovými přeměnami při chladnutí spoje. [3]

Čistý titan by svou pevností patřil do skupiny kovů střední pevnosti ( $R_m$  až  $250\text{ MPa}$ ). Vyznačuje se také vysokou hodnotou tažnosti – až  $60\%$ . Jeho vlastnosti však značně závisí na čistotě, především na obsahu kyslíku, uhlíku, dusíku, ale i železa. Tvářením za studena lze pevnost podstatně zvýšit. Využití nachází především v chemickém průmyslu. [2]

#### 3.3.1 Slitiny titanu

Titan má dvě alotropické modifikace - Ti  $\alpha$  s mřížkou cp hexagonální, stabilní do  $882,5\text{ °C}$  a Ti  $\beta$  s mřížkou b.c.c, stabilní od  $882,5\text{ °C}$  do teploty tání  $1668\text{ °C}$ .

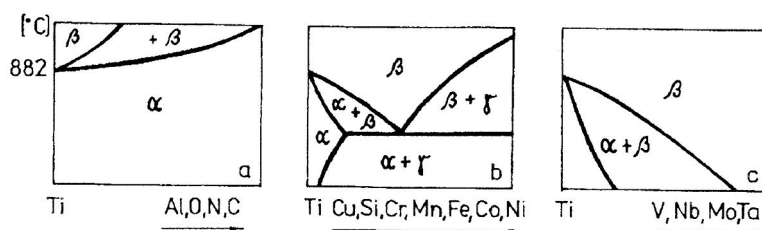
Přísadové prvky se v obou modifikacích titanu rozpouštějí úplně nebo částečně a tvoří roztoky  $\alpha$  a  $\beta$ , které mají zachovány mřížky dané modifikace titanu. Některé prvky se navíc s titanem slučují a tvoří intermetalické sloučeniny. Podobně jako v ocelích mohou ve slitinách titanu existovat při nerovnovážných podmínkách fázových přeměn metastabilní fáze martenzitického typu.

Rovnovážné stavy soustav Ti-přísadový prvek jsou vyjádřeny rovnovážnými digramy. Pro popis fázových přeměn v tuhém stavu, které vedou ke stavům rovnovážným, se obvykle používají spodní části těchto diagramů, které slouží ke klasifikaci charakteru přísadových prvků (Obr. 3.3.1).

$\alpha$  stabilizátory (Al, O, N, C) teplotu fázové přeměny  $\alpha$ - $\beta$  zvyšují, tedy stabilizují tuhý roztok alfa. Nekovy O, N a C jsou nečistoty, jejichž obsah je třeba udržet minimální, protože i jejich malé množství zbytečně zvyšují tvrdost a křehkost slitin.

$\beta$  stabilizátory teplotu fázové přeměny  $\alpha$ - $\beta$  snižují, stabilizují tuhý roztok beta. Při dostatečně vysoké koncentraci těchto prvků zůstává tuhý roztok  $\beta$  zachován až do normální teploty jako fáze stabilní (V, Nb, Mo, Ta) nebo se tuhý roztok  $\beta$  rozpadá eutektoidní přeměnou (Cu, Si, Cr, Mn, Fe, Co, Ni).

Neutrální prvky (Sn, Zr) na teplotu fázové přeměny  $\alpha$ - $\beta$  nemají vliv. [2]



Obr. 3.3.1 – Vliv přísadových prvků na teplotu polymorfni přeměny ve slitinách titanu [2]

## Základní druhy slitin titanu

Podle konečné struktury, vytvořené při pomalém ochlazování z teploty žíhání, se slitiny titanu dělí na:

### Slitiny $\alpha$

Kromě hliníku obvykle obsahují neutrálně působící cín a zirkon. Jsou to slitiny s velkou tepelnou stabilitou, dobrou pevností a odolností proti křehkému porušení i za velmi nízkých teplot. Mají dobrou žárupevnost do 300 °C. Optimální vlastnosti mají slitiny s asi 5 hm. % hliníku a 2 až 3 hm. % cínu. [2]

### Dvoufázové slitiny $\alpha + \beta$

Zahrnují širokou škálu slitin, které se od sebe liší složením, které určuje poměr a stabilitu jednotlivých fází. V podstatě všechny obsahují hliník, stabilizující alfa fázi, a různé další prvky, zejména vanad a molybden, stabilizují beta fázi, nebo chrom, železo, mangan, jejichž rovnovážné diagramy jsou komplikovány eutektoidní reakcí. Všechny dvoufázové slitiny jsou dobře tvárné za tepla, kdežto za studena je jejich tvárnost omezena. Pouze některé lze svařovat. Používají se většinou tvářené za tepla, případně homogenizačně žíhané. U některých slitin lze provádět umělé stárnutí. Slitiny této soustavy jsou průmyslově nejpoužívanější a nejinak je tomu v cyklistickém odvětví, proto budou některé z nich popsány podrobněji. [2]

### Slitiny $\beta$

Jsou to silně legované slitiny, většinou se tepelně zpracovávají. V kombinaci s tvářením za studena lze dosáhnout pevnosti až 1500 MPa při tažnosti 3 až 5 %. Výhodou je dobrá tvárnost a svařitelnost. Negativem je vysoký obsah legur (například slitina Ti3Al13V11Cr), který zvyšuje měrnou hmotnost a nároky na vysokou čistotu výchozích surovin a celého zpracování. [2]

Pseudo slitiny se jak složením tak i vlastnostmi pohybují mezi hranicemi, které vymezují jednotlivé „nepseudo“ slitiny.

Podle použití se slitiny titanu dělí klasicky na slitiny pro tvářením a slitiny pro odlitky, nicméně valnou většinu produkce tvoří slitiny pro tvářením. [2]

## 3.3.2 Tepelné zpracování

Slitiny titanu se tepelně zpracovávají žíháním a vytvrzováním.

*Žíhání na odstranění pnutí* vzniklých po třískovém obrábění, rovnání, svařování apod. Provádí se při 450 až 650 °C. Pro průběh rekrytalizačních pochodů jsou to teploty nízké.

*Žíhání rekrytalizační* k odstranění deformačního zpevnění slitin tvářených za studena. Obvyklá teplota žíhání je 800 °C.

Pro slitiny  $\alpha + \beta$  lze použít také žíhání izotermické, dvojité nebo stabilizační.

*Žíhání izotermické* sestává z ohřevu na 800 až 950 °C, ochlazení součásti v peci do teploty 500 až 650 °C, následuje výdrž a ochlazení. Slitiny získávají poměrně vysokou pevnost a žárupevnost spolu s dobrou tvárností.

*Žíhání dvojité* se od izotermického liší tím, že po výdrži na prvním stupni následuje ochlazení na vzduchu do pokojové teploty. V závislosti na složení slitiny může vzniknout metastabilní fáze  $\beta$ , která se při novém ohřevu rozpadá na směs stabilních fází  $\alpha + \beta$  a dochází tak ke zpevnění slitiny. Dvojité žíhání přináší vyšší pevnost, ale nižší tvárnost.

*Žihání stabilizační* je obdobou předchozích způsobů žihání s tím rozdílem, že před žiháním nebylo prováděno tváření za studena a tedy vyvolání rekystalizace není hlavním cílem. Stabilizační žihání se používá k dosažení stability struktury a pro maximální snížení tvrdosti.

*Vytvrzování* slitin  $\alpha + \beta$  sestává z rozpouštěcího ohřevu, kalení a stárnutí. Teplota rozpouštěcího ohřevu je volena v oblasti  $\alpha + \beta$  tak, aby kalením bylo zachováno co největší množství metastabilní fáze  $\beta$ . Kalení se provádí do vody. Čas od vyjmutí předmětu z pece do ponoření do vody má být co nejkratší, v sekundách. Poté následuje nový ohřev - stárnutí při teplotě 500 až 600 °C.

[3]

### 3.3.3 Technologické vlastnosti

Jak již bylo několikrát zdůrazňováno, slitiny jsou poměrně dobře tvárné, to umožňuje použití většiny konvenčních metod tváření. Problémy však nastávají při třískovém obrábění. Příčinou je vysoký součinitel tření a nízká teplotní vodivost, což má za následek značné nároky na obráběcí nástroje a na chlazení. Spojování titanových součástí lze provádět všemi běžnými způsoby jako lepení, pájení, mechanické spojování (šrouby, nýty). Svařování je možné metodou WIG, plazmou nebo laserem, vždy musí probíhat v ochranné atmosféře, tak aby se zamezilo přístupu kyslíku a dusíku k místu svaru. Nevýhodou je nutná precizní povrchová úprava, protože titan je velice citlivý na přítomnost vrubů na povrchu, které mohou vést k inicializaci trhlin. Takovou povrchovou úpravou je například balotínování, což je tryskání jemným skleněným granulátem. Naopak výhodou je korozní odolnost, takže se výsledný povrch nemusí upravovat žádnými nátěry. [3]

### 3.3.4 Slitiny titanu používané pro komponenty jízdních kol

Pro výrobu komponent jízdních kol se téměř výhradně používá slitina Ti-6AL-4V, která je nejpoužívanější slitinou titanu vůbec. Patří do skupiny dvoufázových alfa- beta slitin, obsahuje 6 hm. % hliníku a 4 hm. % vanadu. Vyznačuje se výborným poměrem pevnosti, tvrdosti a korozní odolnosti. Její předností je relativně dobrá tvárnost i svařitelnost. Základní mechanické vlastnosti se pohybují v těchto mezích: mez pevnosti 900 až 1200MPa, mez kluzu 800 až 1100 MPa, modul pružnosti 110 až 140 GPa, tvrdost se pohybuje okolo 39 HRC. Vrubová houževnatost je závislá hlavně na obsahu vodíku ve slitině, hodnota nárazové práce při charpyho zkoušce se pohybuje okolo 24J. Odolnost proti cyklickému namáhání je u této slitiny také na dobré úrovni, dosahuje až 50 % meze pevnosti v tahu. Je však mimořádně závislá na kvalitě povrchu. [9]

Pro tepelné zpracování této slitiny se běžně používá izotermické a dvojité žihání. Vytvrzování probíhá zahříváním na teplotu 955 °C a výdrži po dobu 10 minut, následuje ochlazení do vody. Poté probíhá stárnutí při teplotách v rozmezí 540 až 675 °C po dobu čtyř hodin. [8]

Titanové slitiny si ve výrobě komponent jízdních kol získaly své pevné místo, hlavně díky jejich mechanické odolnosti a hmotnostní úspoře. Nacházejí uplatnění při výrobě téměř všech komponent jako jsou šrouby, sedlové trubky, pedály, ozubené kazety, atd. Nevýhodou však stále zůstává poměrně vysoká cena.

## 3.4 Ocel

Ocel je nejdůležitějším a nejpoužívanějším konstrukčním materiálem, existujícím v tisících různých modifikacích, které se liší chemickým složením a způsobem tepelného zpracování, z čehož plyne i velký rozsah mechanických a užitných vlastností. Proto jsou



hojně používány i při výrobě komponentů jízdních kol. Jedinou zásadní nevýhodou je velká měrná hmotnost cca  $7900 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.4.1 Vlastnosti čistého železa

Železo je druhý nejčastěji se vyskytující kovový prvek v zemské kůře. Principem výroby slitin železa je redukce oxidu železa obsažených v železných rudách, jako jsou hematit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , siderit  $\text{FeCO}_3$  a další.

Železo se na závislosti na teplotě vyskytuje ve dvou krystalografických modifikacích. Do teploty  $912 \text{ }^\circ\text{C}$  je stabilní modifikace s krystalickou mřížkou krychlovou prostorově středěnou, která se označuje jako modifikace  $\alpha$ . Tato modifikace je feromagnetická až do teploty  $760 \text{ }^\circ\text{C}$ , nad touto teplotu ztrácí železo magnetické vlastnosti. Nemagnetická modifikace s prostorově středěnou mřížkou se označuje jako modifikace  $\beta$ . V rozmezí teplot  $912\text{-}1392 \text{ }^\circ\text{C}$  má železo krychlovou mřížku plošně středěnou označovanou jako modifikace  $\gamma$ . Nad tímto intervalem teplot až do teploty tání nabývá železo opět krystalickou mřížkou krychlovou prostorově středěnou, která se označuje jako modifikace  $\delta$ . Atomy v mřížce gama jsou těsněji uspořádané jak v mřížce alfa, proto se při jejich přeměně mění objem. [3]

### 3.4.2 Soustava železo-uhlík

Na vlastnosti slitin železa má významný vliv uhlík, který zpravidla nejvýznamnějším způsobem ovlivňuje důležité vlastnosti slitin železa. Pro odhad vlastností technických slitin železa vycházíme z rovnovážného diagramu železa s uhlíkem.

Uhlík s železem tvoří intersticiální tuhé roztoky s omezenou rozpustností uhlíku. Po překročení této rozpustnosti v tuhém roztoku se uhlík vylučuje jako samostatná fáze. Při nízkých obsazích tvoří uhlík intersticiální sloučeninu  $\text{Fe}_3\text{C}$ , která není stabilní a může se rozkládat na grafit a železo. Soustava  $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  se označuje jako soustava metastabilní, podle této soustavy tuhnou a chladnou zejména oceli. Jestliže je uhlík vyloučen jako grafit, jde o soustavu stabilní. [3] [7]

### 3.4.3 Další prvky v slitinách železa s uhlíkem

Během výroby se do ocelí dostávají další prvky, které ovlivňují její vlastnosti, míra ovlivnění vlastností závisí na jejich koncentracích. Tyto prvky se označují jako doprovodné, pokud je jejich koncentrace nepřekročí dohodnutou hranici. Nad touto hranicí jsou označovány jako legovací prvky. Mezi doprovodné prvky, které u ocelí ovlivňují citelně jejich vlastnosti jsou považovány především mangan, křemík, fosfor, síra, kyslík, dusík, vodík. Tyto prvky jsou někdy děleny na škodlivé a prospěšné. Přesnější je však uvádět jejich vliv na konkrétní vlastnosti. [3]

### Vliv doprovodných prvků na vlastnosti slitin železa

*Mangan* se rozpouští ve feritu a zvyšuje pevnost, tvrdost a houževnatost oceli při zachování plastických vlastností. Zvýšením pevnosti je tím větší čím méně uhlíku ocel obsahuje. Působí také na zjemnění lamel cementitu a perlitu.

*Křemík* zvyšuje pevnost a mez kluzu, ale snižuje plastické vlastnosti feritu.

*Fosfor* se rozpouští ve feritu a netvoří sloučeniny. Zvyšuje tvrdost a pevnost. Jeho přítomnost v ocelích je ale nežádoucí, protože již při koncentraci  $0,12 \%$  způsobuje křehkost oceli i při pokojové teplotě. U vysoce pevných ocelí negativně působí na mez únavy a zvyšuje sklon ke vzniku trhlin, prasklin a křehkých lomů.

*Síra* v ocelích tvoří sulfidické vměstky, jejich složení závisí na způsobu desoxidace. Tyto sulfidické vměstky se rozdělují do několika skupin zpravidla působí nepříznivě na houževnatost a způsobují anizotropní vlastnosti materiálu v různých směrech. Dále zhoršuje

svařitelnost, schopnost k cementování a korozní odolnost. Příznivě působí na obrobitelnost a třecí vlastnosti oceli.

*Kyslík* je prvkem nežádoucím, proto je vždy snaha jeho obsah v oceli minimalizovat. Podle jeho obsahu v oceli při odlévání rozdělujeme oceli na uklidněné a neuklidněné.

V neuklidněných ocelích reaguje s uhlíkem a tvoří bubliny CO. V uklidněných ocelích ke tvorbě bublin nedochází, ale tvoří oxidy s dezoxidovacími prvky. Tyto oxidy zhoršují obrobitelnost, mohou být příčinou inicializace trhliny při cyklickém namáhání a můžou být příčinou zvýšení pevnosti a zkřehnutí oceli.

*Dusík* tvoří s železem intersticiální tuhý roztok za vzniku nitridů, které se vylučují na hranicích zrn nebo na skluzových rovinách, mohou být příčinou lomu.

*Vodík* tvoří s železem intersticiální tuhý roztok. Snižuje plastické vlastnosti bez výšení pevnosti. Způsobuje takzvanou vodíkovou křehkost.

[3]

### Důvody legování

- zvýšení mechanických vlastností, hlavně pevnosti a tvrdosti při zachování dostatečné houževnatosti: Mn, Si, N, Mo, V, W, Cr
- zvýšení prokalitelnosti: Cr, Mo, Mn, V, Ni, B
- dosažení jemnozrnné: Al, Ti, Nb, Ta, V
- vytvoření tvrdých a vůči opotřeбенí odolných karbidů a zvýšení žárupevnosti: Cr, Mo, W, V
- zvýšení korozivzdornosti: Cr, Mo, Ni, Si, Cu

Legující prvky se ve feritu nebo v austenitu rozpouštějí za vzniku substitučních nebo intersticiálních roztoků. Některé prvky se rozpouštějí v cementitu nebo vytvářejí s uhlíkem karbidy. S rostoucí koncentrací legujícího prvku přírůstek pevnostních charakteristik klesá a pokles plastických vlastností a houževnatosti roste. Účinnější než vyšší obsah přísadových prvků je obvykle legování kombinací prvků o nižších koncentracích. [3]

### 3.4.4 Tepelné zpracování

Tepelným zpracováním ocelí se rozumí využití fázových a strukturních přeměn v tuhém stavu za účelem získat požadované mechanické, technologické, či jiné užité vlastnosti polotovaru.

Základní typy tepelného zpracování ocelí:

- žíhání
- kalení
- popouštění
- zušlechťování
- chemicko – tepelné zpracování
- tepelně – mechanické zpracování

#### Žíhání

*Homogenizační žíhání* - provádí se za účelem snížení chemické heterogenity, vznikající při tuhnutí následkem dendritické segregace.

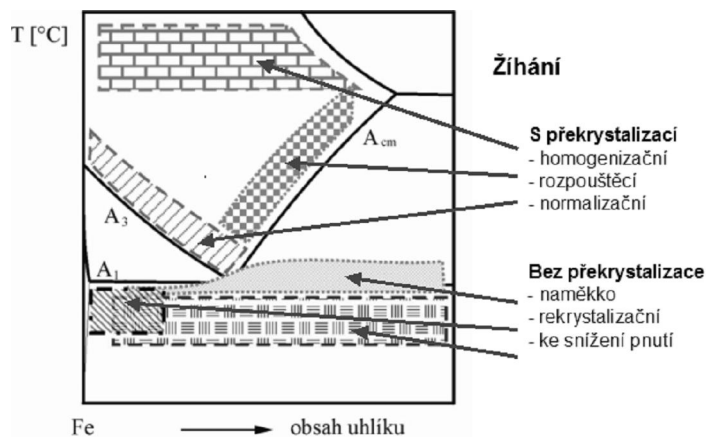
*Rozpouštěcí žíhání* - má rozpustit karbidické (popř. nitridické) fáze v tuhém roztoku.

*Normalizační žíhání* - provádí se za účelem zjemnění austenitického zrna a ke zrovnomnění sekundární struktury. Slouží též k odstranění často se vyskytující Widmannstättenovy struktury.

**Žihání naměkko** - snižuje tvrdost a zlepšuje obrobiteľnosť oceli díky sferoidizaci perlitického, příp. sekundárního, cementitu.

**Rekrystalizační žihání** - má za úkol odstranit deformační zpevnění způsobené předcházejícím tvářením za studena.

**Žihání ke snížení pnutí** – provádí se s cílem snížit vnitřní pnutí vzniklá po svařování, tvářením za studena, rozsáhlém obrábění nebo nerovnoměrném ochlazení dílů složitých tvarů a větších rozměrů.



Obr. 3.4.1 – Základní druhy žihání, oblasti žihacích teplot znázorněné v diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C

**Kalení** je tepelné zpracování, které se skládá z ohřevu na kalicí teplotu, krátké výdrže na této teplotě a ochlazení rychlostí vyšší než je rychlost kritická. Kalením získáváme částečně nebo zcela nerovnovážné struktury. Podle převažující strukturní složky se kalení rozděluje na bainitické a martenzické, přičemž obvykle je cílem dosažení martenzitické struktury. Pásmo kalicích teplot se pohybuje v rozmezí cca 50 °C nad teplotami A<sub>3</sub> a A<sub>1</sub>. Pro dosažení martenzitické struktury je třeba velké ochlazovací rychlosti, musí být větší než rychlost kritická. Proto se používá různých kalicích prostředí, které takto rychlé ochlazení umožní. Nejpoužívanějšími prostředími jsou voda, olej, vzduch, solná lázeň a další.

**Popouštění** - skládá se z ohřevu na teplotu nižší než je A<sub>1</sub>, následné výdrže na této teplotě a následného ochlazení vhodnou rychlostí. Účelem popouštění je snížení vnitřního pnutí po kalení.

### Chemicko tepelné zpracování

Zahrnuje postupy difuzního sycení povrchu různými prvky (C, N, Si, Al, ...) vedoucí ke změně chemického složení povrchových vrstev za účelem zvýšení jejich tvrdosti a odolnosti proti opotřebením při zachování houževnatého jádra výrobku.

### Tepelně – mechanické zpracování

Využití především pro zvýšení mechanických vlastností legovaných konstrukčních ocelí. Jedná se o kombinovaný účinek tvářením a tepelného zpracování. Základní rozdělení je na vysokoteplotní tepelně-mechanické zpracování (tvářením probíhá nad A<sub>3</sub>) a na nízkoteplotní tepelně-mechanické zpracování (tvářením probíhá pod A<sub>1</sub>).

[13]

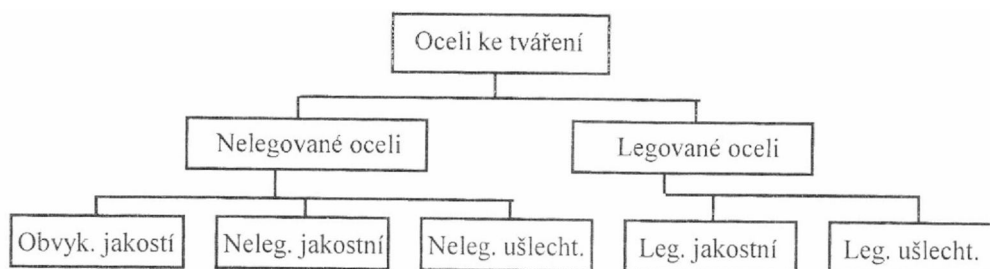
### 3.4.5 Technologické vlastnosti

Kvůli široké škále ocelí lze přesněji hovořit o technologických vlastnostech pouze ve smyslu určitých druhů ocelí. Obecně mají oceli dobré technologické vlastnosti – mohou se tvářet různorodými technologiemi za tepla i za studena, obrobiteľnosť je také dobrá. Svařitelnost je dobrá u ocelí z nižším obsahem uhlíku a legujících prvků. Při jejich vyšším obsahu je nutno použít technologii využívající ochranu atmosféru. Další používanou

metodou spojování je pájení. K povrchové úpravě finálních výrobků se nejčastěji používá pokovení ušlechtlejšími prvky (např. Zn,Cr) nebo různé nátěry.

### 3.4.6 Rozdělení a značení ocelí

Oceli se rozdělují na dvě základní skupiny – pro tváření a na odlitky. Pro využití ve velo průmyslu je důležitá především první jmenovaná skupina, tedy oceli ke tváření. Ty jsou definovány jako materiály, ve kterých je hmotnostní podíl železa větší, než jakéhokoliv jiného prvku a současně obsahují méně než 2 % C. Rozdělení ocelí ke tváření se uskutečňuje dle normy ČSN EN 10020. Schéma rozdělení viz. následující obrázek.



Obr. 3.4.2 – Schéma rozdělení ocelí ke tváření [3]

### 3.4.7 Oceli používané pro komponenty jízdních kol

Pro velo komponenty se používají konstrukční oceli. Jednotlivé skupiny konstrukčních ocelí obsahují zástupce nelegovaných i legovaných ocelí, které lze použít ke stejným účelům, proto je škála možných materiálů velmi široká. V následujícím textu a tabulkách proto bude uvedeno pouze několik základních zástupců jednotlivých skupin. Mechanické vlastnosti se vždy uvádějí pro určité tepelné zpracování a tloušťky materiálu, nejčastěji pro 16 mm. Nejvyužívanější skupinou materiálů pro velo komponenty jsou oceli pro ocelové konstrukce (např. S235J0), velmi často používaným materiálem je ocel 25CrMo4 – zástupce ocelí k zušlechťování. Dalšími materiály jsou pružinové oceli pro výrobu pružin (uplatnění v odpružených vidlicích, brzdách) a oceli na valivá ložiska.

Tab. 3.4.1 Chemické složení vybraných slitin [15]

Materiál	Chemické složení							
	C	Mn	Si	P max.	S max.	N	Cr	Mo
S235JR	max. 0,19	max. 1,5	-	0,045	0,045	max. 0,014	-	-
S355J2	max. 0,23	max. 1,7	max. 0,6	0,035	0,035	-	-	-
25CrMo4	0,20-0,31	0,56-0,94	max. 0,43	0,03	0,04	-	0,85-1,25	0,12-0,33
54SiCr6	0,49 - 0,62	0,46 - 0,84	1,15 - 1,65	0,035	0,035	-	0,45 - 0,85	-

Tab. 3.4.2 Mechanické vlastnosti vybraných slitin [15]

Materiál	Mechanické vlastnosti (jmenovitá tloušťka výrobku 16 mm)				
	R <sub>eH</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A [%]	KV (20 °C) [J]	HB žiháno na měkko
S235JR	235	360-510	26	27	-
S355J2	355	470-630	22	27	-
25CrMo4	700	900 – 1100	12	-	212
54SiCr6 *	1160	1350 - 1600	6	-	248

\* v zušlechťeném stavu

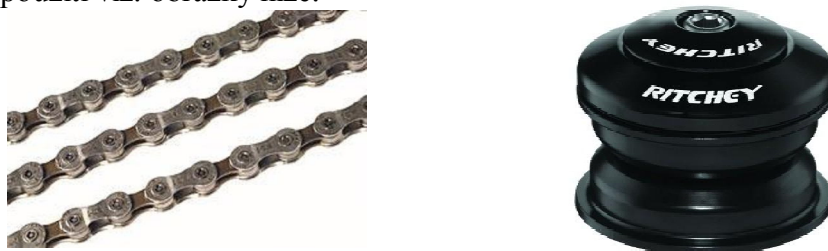
**S235JR, S355J2** – nelegovaná jakostní konstrukční ocel vhodná ke svařování všemi obvyklými metodami, jsou-li výrobky tvářené za tepla, splňují výše uvedené mechanické parametry až po normalizačním žíhání. Lze tvářet i za studena.

**25CrMo4** - nízkolegovaná ušlechtilá chrom - molybdenová ocel k zušlechťování.

Ocel s nižší prokalitelností pro středně namáhané strojní díly. Je svařitelná a vhodná pro výrobu bezešvých trub, jichž se využívá právě při výrobě komponentů jízdních kol. Po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 48 HRC. V zušlechtěném stavu dosahuje středních hodnot pevnosti a meze kluzu při relativně vysoké houževnatosti. Lze ji použít i ve stavu normalizovaném.

**54SiCr6** - nízkolegovaná ušlechtilá křemíko-chromová ocel pro zušlechtitelné pružiny. Pro mechanické obrábění je vhodný stav žíhaný na měkko.

Oceli zůstávají i nadále důležitým materiálem po výrobu komponent jízdních kol. Trendem je nahrazovat je jinými materiály, ale stále jsou tu aplikace, ve kterých jsou nenahraditelné ať už z hlediska mechanických vlastností, z technologických důvodů nebo z důvodů ekonomických. Navíc vývoj ocelových slitin se nezastavil a stále se objevují nové materiály legované, mimo jiné, niklem, titanem, hořčíkem, které dosahují pevnosti v tahu až 2 Gpa, což do značné míry eliminuje nevýhody vysoké měrné hmotnosti. Další výhodou je velká životnost ocelových dílů, které je dána příznivými hodnotami meze elasticity a tažnosti. Příklady použití viz. obrázky níže.



Obr. 5.4.3 – Komponenty vyrobené z oceli [16]

### 3.5 Plasty

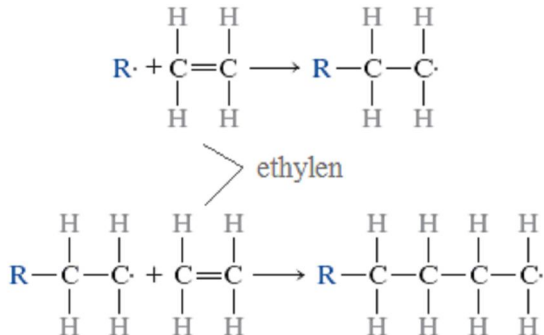
Termínem plasty se souhrnně označují materiály, jejich hlavní část tvoří polymery – organické makromolekulární materiály. Rozvoj synteticky připravovaných polymerů nastal až po 2. světové válce, ale přírodní polymerní materiály jsou využívány po tisíciletí, patří mezi ně například dřevo, bavlna, vlna, hedvábí. Mezi polymerní látky se řadí i bílkoviny a enzymy. Škála materiálů založených na polymerech je v současnosti velmi široká a nalézají uplatnění v širokém spektru aplikací, často jsou jimi nahrazovány kovy a dřevo. Jejich výhodou spočívá především nízké výrobní ceně suroviny a ve finále i samotného výrobku. [6]

#### 3.5.1 Výroba polymerů

Probíhá na základě chemické reakce - tzv. polyreakce z jednoduchých organických látek. Rozlišují se dva druhy této reakce – polymerace (nebo též polyadice) a polykondenzace. Základní pojmy:

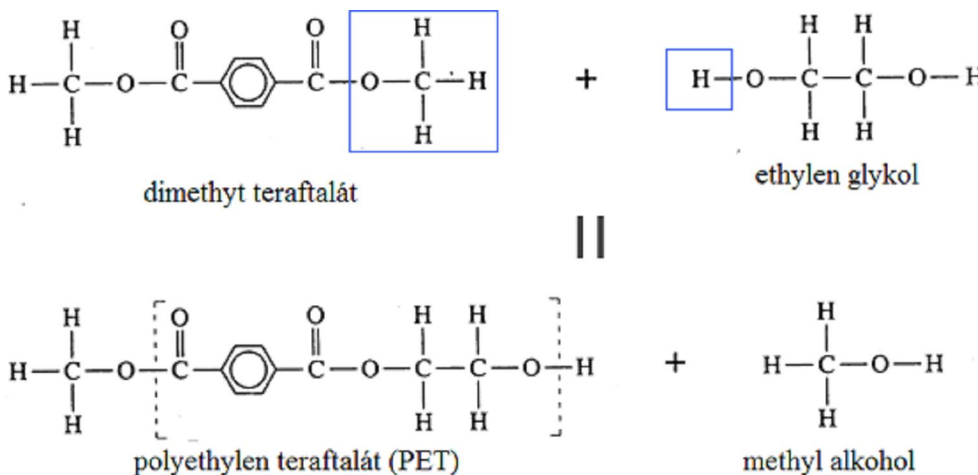
- monomer – vstupní nízkomolekulární organická sloučenina
- mer – přechodná forma vznikající během polyreakce
- polymer – vzniká vzájemnou vazbou vysoce reaktivních konců rozštěpených vazeb, obsahuje *n*-krát základní mer jednotku

*Polymerace* – probíhá opakovaným adičním procesem iniciovaným například volným radikálem. Reaktivním místem v molekule je dvojná vazba. Při adiční polymeraci nevznikají vedlejší nízkomolekulární látky. [2]



Obr. 3.5.1 – Schéma polymerace PE – iniciace – růst řetězce [6]

*Polykondenzace* – chemická reakce dvou odlišných monomerů za vzniku polymerního řetězce a vedlejší nízkomolekulární látky.



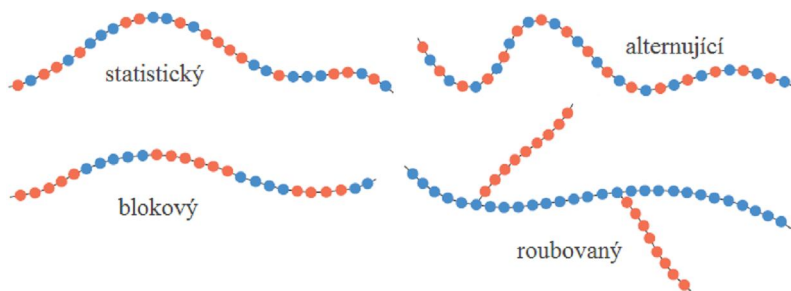
Obr. 3.5.2 – Schéma polykondenzace (PET) [6]

### 3.5.2 Struktura polymerů

Struktura polymerů je popisována na třech různých úrovních – submolekulární, molekulární a nadmolekulární.

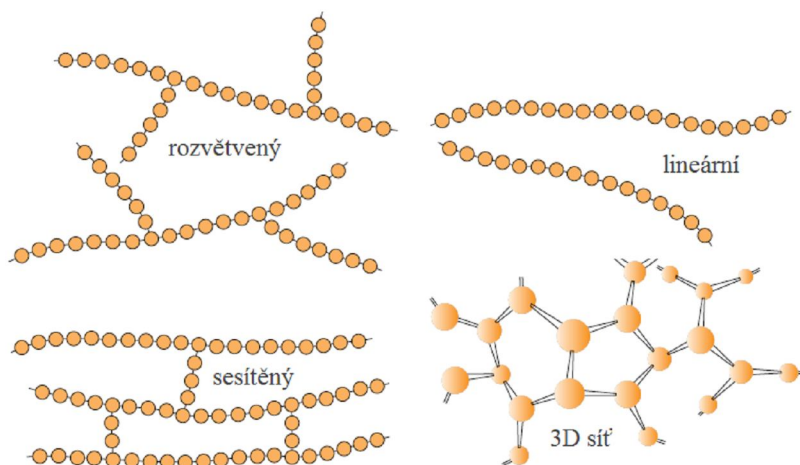
*Submolekulární struktura* – reprezentuje chemickou strukturu polymeru – druhy atomů a vazeb, rozmístění vazeb, velikost a rozmístění substitučních skupin na uhlíkových atomech.

*Molekulární struktura* – molekulární strukturou se rozumí geometrické uspořádání v rámci makromolekul. Toto dělení má dále obsahuje další kritéria. Prvním z nich je složení řetězce. V řetězci mohou být zapojeny mery pouze jednoho typu tzv. homopolymer. Pokud jsou v řetězci zapojeny mery dvou typů, vzniká kopolymer Obr. 3.5.3. [2]



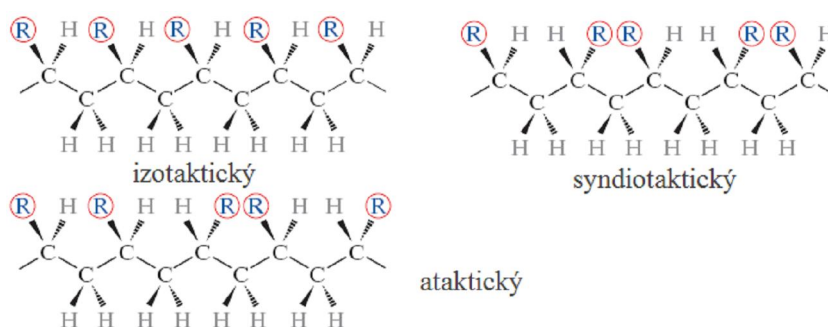
Obr. 3.5.3 – Možná uspořádání jednotlivých merů v kopolymerním řetězci [6]

Dalším z kritérií je stavba řetězce, které má zásadní vliv na mechanické vlastnosti viz. Obr. 3.5.4. Většinu termoplastů (bude vysvětleno později) lze považovat za lineární. Naopak u reaktoplastů a elastomerů dochází k sesítění.



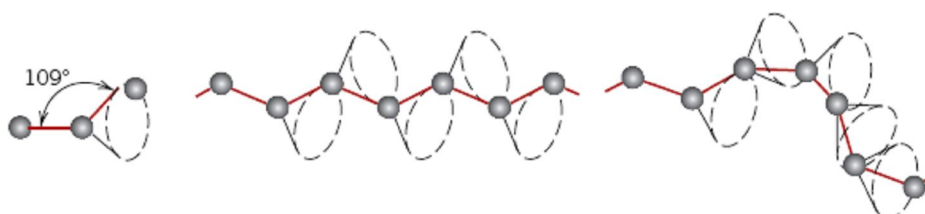
Obr. 3.5.4 – Schématické zobrazení možných staveb řetězce [6]

Posledním hlediskem je konfigurace (takticita) řetězce, která popisuje uložení bočních skupin atomů kolem základního řetězce Obr. 3.5.5. Tacticita řetězce má vliv na krystalizační schopnost polymerů.



Obr. 3.5.5 – Tacticita řetězce [6]

*Nadmolekulární struktura* – popisuje vzájemné uspořádání makromolekul a útvarů vzniklých propojením jejich většího množství. Základním předpokladem vzájemného uspořádání makromolekulárních řetězců do vyšších útvarů je schopnost nabývat různých tvarů. Makromolekuly se snaží zaujímat pozice o minimální energii, jednotlivé části makromolekul se mohou vyskytovat v různých pozicích – konformacích viz. Obr. 3.5.6. Makromolekuly mohou nabývat odlišných konformací v závislosti na teplotě, působícím napětí a čase. Různých konformací dosahují částice rotací okolo jednoduché vazby. Rotace jsou schopny pouze lineární řetězce (PE) a řetězce s malou boční skupinou (PP). Řetězce s velkou boční skupinou a nebo s násobnou vazbou nejsou rotace schopny.

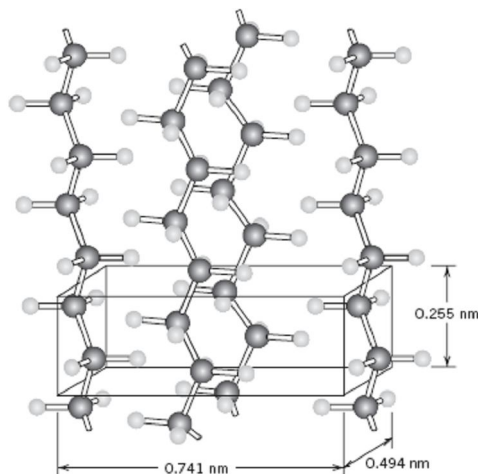


Obr. 3.5.6 – Konformace řetězce [6]

*Krystalizace* – krystalizace závisí především na geometrii molekulárního řetězce. Proto jsou jí schopny pouze jednoduché a dlouhé řetězce (PE). Krystalická struktura polymerů je však

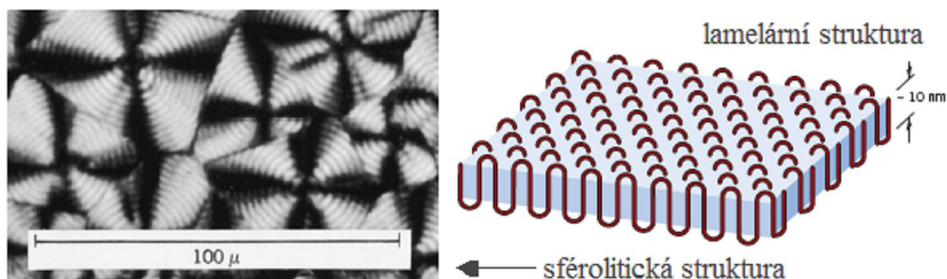


značně odlišná od krystalické struktury kovů. Je to dáno právě tím, že není realizována na úrovni jednotlivých atomů a iontů, ale spojováním dlouhých makromolekulárních řetězců  
*Obr. 3.5.7.* Pokud jsou v mřížce zastoupeny pouze části řetězců, jde o takzvanou semikrystalickou strukturu. Krystalické polymery jsou obvykle pevnější a odolnější vůči měknutí a rozpadu vlivem tepla. Sesíťované polymery (reaktoplasty, elastomery) jsou amorfni.



*Obr. 3.5.7 – Příklad krystalického uspořádání (PE) [6]*

V rámci krystalů existují v zásadě dvě možnosti uspořádání – lamelární krystaly a sférolity  
*Obr. 3.5.8.* Lamelární vznikají při pomalé krystalizaci a nebo zahřevem na teploty blízké teplotě tání. Krystalizací z tavení vznikají sférolity. Polymery nikdy nekrystalizují v celém svém objemu, vždy zůstává zachován určitý amorfni podíl, proto jsou tyto struktury vždy v určité míře kombinovány se strukturou amorfni.



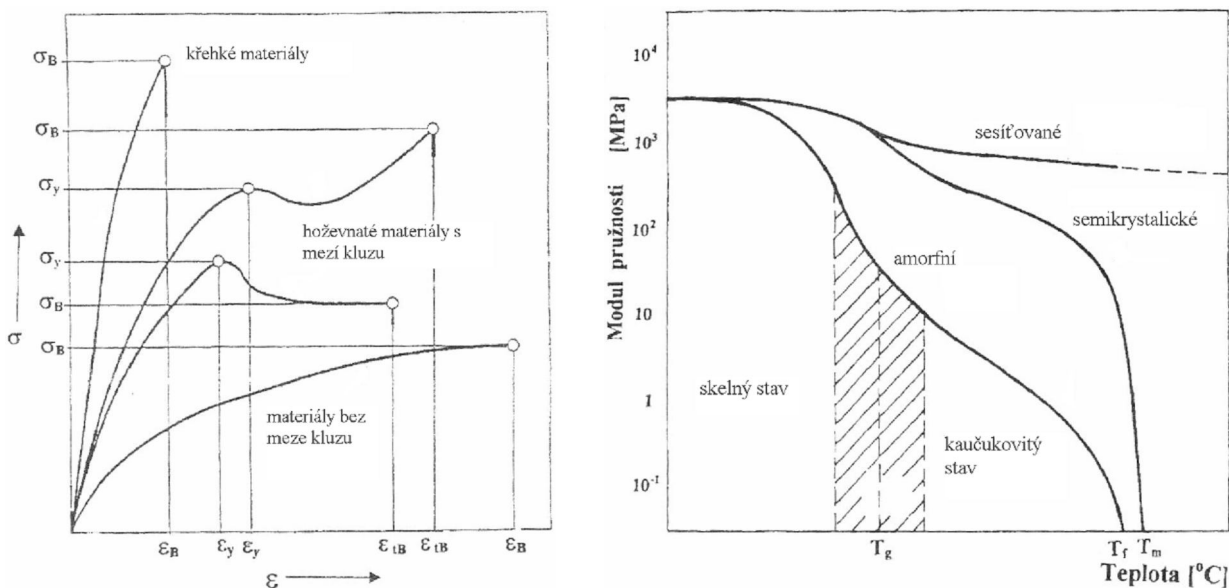
*Obr. 3.5.8 – Lamelární a sférolitická struktura [6]*

### 3.5.3 Mechanické vlastnosti

Jak již bylo zmiňováno, u polymerů závisí mechanické vlastnosti na podmínkách zatěžování (teplotě a době zatěžování) výrazně více než jiné materiály. V závislosti na podmínkách se může polymer vyskytovat od křehkého stavu až po houževnatý stav bez meze kluzu  
*Obr. 3.5.9.* Velmi zjednodušená představa o průběhu deformace je následující: napínáním vazeb jsou realizovány vratné deformace. Při plastické deformaci dochází k rozplétání, napřimování, rotaci a prokluzu řetězců.

Nejdůležitější fyzikální charakteristikou o teplotním rozsahu konstrukčního využití plastů, jsou tzv. tranzitní teploty  
*Obr. 3.5.9.* Pro krystalický podíl polymeru je rozhodující teplota tání  $T_m$ , při které dochází k rozpadu krystalové mřížky. Pro amorfni podíl je limitující teplota skelného přechodu  $T_g$ , kdy se chová podobně jako amorfni sklo. Poslední důležitou teplotou je teplota viskózního toku  $T_f$ , kdy dochází k porušení sekundárních vazeb mezi krystalickou a amorfni složkou materiálu, řetězce po sobě začínají klouzat. [3]





Obr. 3.5.9 – Charakteristické křivky napětí – deformace pro polymerní materiály (levý obrázek). Schématické průběhy závislosti modulu pružnosti polymerů na teplotě (vpravo).

### 3.5.4 Rozdělení polymerů

#### Termoplasty

Jsou složeny z dlouhých řetězců, které mohou být nerozvětvené i rozvětvené, mají amorfni nebo semikrystalickou strukturu, jsou plastické, dobře tvárné, po zahřátí měknou a tavi se. Jejich výhodou je poměrně snadná recyklace. Patří mezi ně například PE, PP, PVC, PC, PA.

#### Reaktoplasty

Složeny z dlouhých lineárních nebo rozvětvených řetězců sesíťovaných do 3D sítí, vykazují dobrou pevnost a tvrdost. Při ohřevu se netaví. Obtížně se recyklují. Mezi reaktoplasty patří bakelit, epoxidové a fenolové pryskyřice.

#### Elastomery

Přírodní i syntetické polymery, schopnost elastické deformace větší než 200 %. Jsou tvořeny amorfni termoplasty nebo mírně sesíťnými reaktoplasty. Vyznačují se nízkou  $T_g$ . Nejznámějším elastomerem je kaučuk.

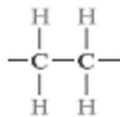
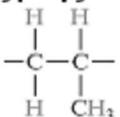
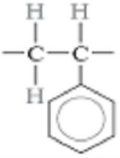
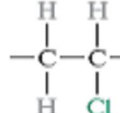
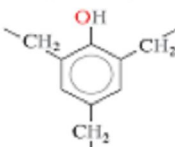
### 3.5.5 Plasty

Jsou definovány jako materiály jejich hlavní složkou je polymer. Další složky se nazývají aditiva. Mezi ně patří přísady jako barviva, plniva, zpomalovače hoření, výztuže, katalyzátory, antistatická činidla a další.

#### Technologické vlastnosti plastů

Obrovskou výhodou plastů je jejich snadná přeměna na finální výrobek, jedním technologickým krokem lze vyrobit součástku požadovaného tvaru, rozměrů, barvy, mechanických a dalších vlastností a to za nízké energetické náročnosti. Nejčastěji jsou plasty zpracovávány těmito technologiemi: lisováním, vakuovým tvářením, přetlačováním, vyfukováním, injekčním vstřikováním. Spojování součástí z plastů je realizováno standardními postupy jako je lepení, svařování, nýtování, spojování šroubovými spoji. Povrchové úpravy se většinou nepoužívají, protože požadovaného povrchového reliéfu a barvy je dosaženo během hlavních technologických postupů. Pokud se nějaké povrchové úpravy provádějí, jde obvykle o aplikaci různých nátěrů.

Tab. 5.5.1 – Příklady plastů a jejich základní vlastnosti [6], [3]

Název (zkratka) Opakující se jednotka	Mez pevnosti v tahu [MPa]	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Hustota [kgm <sup>-3</sup> ]	Teplota [°C] Tání Skelného přechodu
<b>Polyetylen (PE)</b> 	8 - 35	200 - 1400	914 - 960	120 - 137 -110 až -122
<b>Polypropylen (PP)</b> 	31 - 37	1100 - 1300	905	176 -24
<b>Polystyren (PS)</b> 	36 - 65	2275 - 3275	1050	240 92
<b>Polyvinylchlorid (PVC)</b> 	40 - 60	2400 - 4200	1390 - 1960	75
<b>Fenolformaldehyd (bakelit)</b> 	34 - 62	2760 - 4830	1240 - 1320	

### 3.5.6 Použití plastů pro komponenty jízdních kol

Plasty nacházejí uplatnění především u nejlevnějších komponent a u drobných dílů jako jsou různé krytky a záslepky. Důležitou roli hrají elastomery, ze kterých se vyrábějí například pláště, duše, různá těsnění a podobně.

### 3.6 Kompozity

Kompozitní materiály se skládají ze dvou nebo více chemicky a fyzikálně odlišných složek. Tvrdší, tužší a pevnější nespojitá složka se nazývá výztuž, spojitá, obvykle poddajnější složka, která zastává funkci pojiva výztuže, se nazývá matrice. Kombinací těchto rozdílných vlastností se dosáhne toho, že výsledný materiál má mnohonásobně lepší vlastnosti než jeho jednotlivé složky, tzv. synergický efekt. Pro označení materiálu jako kompozit musí být splněny tyto podmínky:

- Podíl výztuže musí být větší než 5 %.
- Vlastnosti výztuže (mechanická, fyzikální, chemické) se liší, výztuž je významně pevnější v tahu a obvykle tužší než matrice.
- Kompozit musí být připraven míšením složek.

Kompozitní materiály mohou obsahovat vyztužující částice různých rozměrů, v průmyslové praxi mají největší význam mikrokompozitní materiály, v kterých jsou největší příčné rozměry výztuže v rozmezí 10<sup>0</sup> až 10<sup>-2</sup> mm. Oproti kovům mají mikrokompozitní materiály výrazně menší měrnou hmotnost a tedy příznivý poměr mezi pevností v tahu, modulem pružnosti a hustotou, to znamená, že dosahují velké měrné pevnosti. [3], [4]

### 3.6.1 Matrice

Úlohou matrice je vzájemně spojovat vyztužující fázi a přenášet do ní zatížení. Plní také funkci ochrany výztuže před okolními vlivy. Tuto funkci by si matrice měla udržet i po prvních poruchách a její poměrné prodloužení při přetržení by mělo být větší než mezní prodloužení výztuže.

Důležitým požadavkem je dokonalé obklopení výztuže matricí, to je možné pouze za předpokladu dobrého smáčení povrchu výztuže, proto je žádoucí, aby kapalná matrice měla co nejmenší povrchovou energii. Když není při impregnaci výztuže použit přetlak, je dobré prosycení výztuže zaručeno jen při malé viskozitě matrice. Reaktoplasty s reaktivním rozpouštědlem (nenasyčené polyesterové a vinylesterové pryskyřice obsahující monomerní styren) snadněji prosycují vláknovou výztuž než epoxidové pryskyřice, které neobsahují rozpouštědlo a mají proto větší viskozitu. Roztavené kovy mají sice malou viskozitu, ale jejich povrchová energie je velká, nebudou dobře smáčet. Taveniny skel a sklokeramiky jsou málo tekuté, a proto je k dobrému prosycení výztuže nutno vyvinout vyšších tlaků. [3]

### 3.6.2 Geometrie výztuže

Podle geometrie výztuže se kompozity dělí na dvě základní skupiny:

- částicové kompozity
- vláknové kompozity

*Částicové kompozity* – jsou to materiály skládající se z polymerní, kovové nebo keramické matrice, ve které jsou rozptýleny většinou anorganické částice vyrobené mikromletím (například hlinítokřemičitany, uhličitany, některé kovy, cement, oxid hlinitý). Částice mohou mít sférický, destičkovitý nebo jehlicovitý tvar.

#### *Vláknové kompozity*

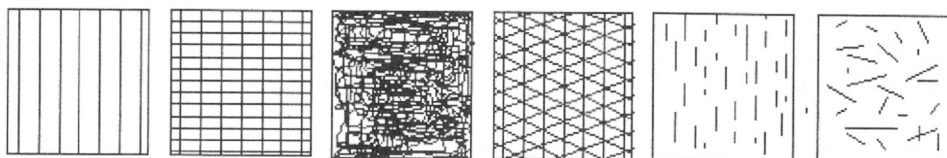
Při rozdělení vláknových se vychází jednak z materiálu vláken, jednak z materiálu matrice. Vlákna mohou být skleněná, uhlíková, polymerní, keramická, kovová.

*Matrice* může být polymerní, kovová, keramická, uhlíková, skleněná, sklokeramická.

Vlákna jsou vždy pevnější než totožné materiály v kompaktní podobě. Pevnost vláken roste se zmenšujícím se průřezem, protože přirozené poruchy se také zmenšují. Většina vyráběných vláken má kruhový průřez o průměru od 5 do 20 nm. U vláken s krystalickou strukturou lze zjistit, že nejpevnější atomové vazby jsou přednostně orientovány v podélném směru vlákna. Tahová pevnost vlákna závisí také na jeho délce. Části vláken vzniklé porušením vlákna mají větší pevnost než vlákno původní, protože k lomu vlákna došlo v jeho nejslabším místě. [3]

### 3.6.3 Struktura a vlastnosti vláknových kompozitů

Vláknová výztuž může být v matrici orientována jednoose, dvouose, víceose v rovině, prostorově a nahodile v rovině. Příklady uspořádání jsou na následujícím obrázku.



Obr. 1 Příklady rovinného uspořádání vláken [3]

Potřebná tloušťka stěny výrobků vyztužených kontinuálními vlákny se obvykle vytváří skládáním vrstev. Vzniká tzv. laminát s vlastnostmi závislými na orientaci vláken v jednotlivých vrstvách. [3]

Orientace a druh vláken v jednotlivých vrstvách a jednotlivých vrstev samotných má zásadní dopad na mechanické vlastnosti, které jsou v jednotlivých směrech určeny právě touto orientací. Tato vlastnost umožňuje vytvářet kompozity, které mají poměrně přesně definované

mechanické vlastnosti s ohledem na směry zatížení působících na součásti vyráběné z kompozitních materiálů.

### 3.6.4 Kompozity a komponenty jízdních kol

Ve velo průmyslu se používají téměř výhradně vláknové kompozity (zpravidla uhlíkové) s polymerní matricí, proto bude následující kapitola věnována jejich detailnějšímu popisu.

#### Vlákna

Polymerní kompozity se vyvinuly v důležitý strukturální materiál díky široké paletě zpevňujících vláken, která jsou dostupná. Skelná a uhlíková vlákna jsou nejrozšířenějším typem a jsou produkována velkým počtem výrobců. Další materiál vláken jako aramid, křemík, bór, keramiky nebo polypropylen jsou také dostupné a propůjčují kompozitům unikátní vlastnosti. Nejběžněji používanými druhy vláken jsou uhlíková a skelná, která jsou spletena do kontinuálních pramenů. V tomto případě jsou nepřerušovaná vlákna smotána do svazků a tyto svazky jsou následně smotány do cívek.

Uhlíková vlákna byla poprvé komerčně produkována s regenerovaných celulózových vláken. Vysoká cena a ekologické problémy zapříčinily, že se dnes uhlíková vlákna vyráběná z celulózy téměř nepoužívají. Většina dnešní produkce uhlíkových vláken je vyráběna z polyakrylonitrilového (PAN) vlákna jeho stabilizací v oxidačním prostředí a následnou karbonizací v inertním prostředí. Dalším druhem vláken jsou vlákna vyráběná z ropného nebo uhelného dehtu. Tyto vlákna se vyznačují vyšším modulem pevnosti v tahu než vlákna z PAN. Jednotlivé druhy uhlíkových vláken jsou děleny podle modulu pevnosti v tahu, viz. *Tab. 3.6.2.* Další běžně dostupná vlákna jsou v *Tab. 3.6.1.* [4]

Uhlíková vlákna jsou krystalická. Na rozdíl od polykrystalického grafitu s nahodilou orientací krystalů jsou ve vlákně aromatické vrstvy, obsahující pouze atomy uhlíku, orientovány přednostně ve směru podélné osy vlákna. Tato orientace způsobuje, že uhlíková vlákna jsou vysoce anizotropní. Uhlíková vlákna jsou poměrně křehká, proto se pro zvýšení jejich odolnosti proti vzájemnému poškozování a pro lepší soudržnost s polymery povrchově upravují. [3]

*Tab. 3.6.1 Přehled běžně dostupných uhlíkových vláken [4]*

Výrobce	Obchodní název	Označení	E [GPa]	R <sub>m</sub> [GPa]	Prodloužení [%]	ρ [g/cm <sup>3</sup> ]
<i>Uhlíková vlákna s malým modulem pevnosti v tahu &lt;275 GPa</i>						
Toray	Torayca	T300	230	3.53	3.53	1.76
		T700S	230	230	2.1	1.80
Zoltek	Panex	33 (45K)	228	3.79	1.5	1.80
Fortafil		F3(C)50K	227	3.80	1.7	1.80
<i>Uhlíková vlákna s středním modulem pevnosti v tahu</i>						
Hexcel		IM7	276	5.45	2.0	2.0
Toho Rayon	Besfight	G50-500	345	2.94	0.9	1.79
Toray	Torayca	T800H	294	5.49	1.9	1.81
<i>Uhlíková vlákna s vysokým modulem pevnosti v tahu</i>						
Toray	Torayca	M60J (6K)	588	3.92	0.7	1.94
Grafil	Pyrofil	HS40	455	4.41	1.0	1.85
BP Amoco	Thornel	P75S (2K)	517	2.10	0.4	2.00
Nippon	Granoc	YS95A	920	3.53	-	-

Tab. 3.6.2 Přehled druhů materiálů vláken [4]

Druh vlákna	Výrobce	Obchodní název	E [GPa]	R <sub>m</sub> [GPa]	ρ [g/cm <sup>3</sup> ]
Bór	Textron		400	3.6	2.57
Aramid	DuPont	Kevlar	55–143	2.3–3.4	1.44–1.47
Ceramic	Nippon	Nicalon	193	2.9	2.55
Polyethylene	Allied-Signal	Spectra	86–103	2.1–2.4	0.97

## Matrice

Polymerní kompozity získaly svůj název podle typu matrice. Nejdůležitější funkcí polymerní matrice je přenos zatížení mezi vlákny. Aby matrice plnila svou funkci musí být pružnější než vlákna.

Další funkcí matrice je krytí a ochrana vláken a její druh musí být volen nejen s ohledem na druh použitých vláken, ale také na prostředí ve kterém bude kompozit používán. Polymerní matrice se dělí do dvou hlavních skupin termosety a termoplasty. Termosety jsou kapalné a pro jejich zesíťování a vytvrzení na neměnnou strukturu je nutné tepelné zpracování. Naopak termoplasty jsou zahřáty, zaformovány a poté ochlazeny. Jsou zde i materiály jako polyamidy, které sdílejí charakteristiky obou předchozích typů.

Termosety zahrnují materiály jako epoxidy, polyestery, kyanidové estery a fenoly. Epoxidy jsou nejpoužívanější. Pro vytvrzení termosetů jsou obvykle zapotřebí tvrdidla a katalyzátory, které zpustí zesíťovací proces (například amidy a anhydridy), a následný ohřev. Každý z vytvrzujících prostředků ovlivňuje fyzikální vlastnosti polymeru a mají vliv na výrobní technologie. Příklady některých pryskyřic viz. Tab. 3.6.3. [4]

Tab. 3.6.3 Některé pryskyřice používané pro matrice

Pryskyřice	Vytvrzovací teplota [°C]	E [GPa]	R <sub>m</sub> [MPa]
Epoxidová	177	2.5 - 3.5	55 - 90
Fenolitická	150	0.5 - 0.1	6 - 11
Kyanoesterová	82	3.4	85

Termoplasty jsou to pevné materiály které jsou formovány do požadovaného tvaru pomocí tepla a tlaku. Tento rozdíl ve výrobní metodě může vyústit ve velkou úsporu času a ceny výrobku, proto se termoplasty uplatňují hlavně v sériové výrobě. Mezi nejčastěji používané termoplasty patří polyester, nylon a polystyren.

[4]

## Prepregy

Jsou speciální polotovary ve kterých jsou vyztužující vlákna předimpregnována polymerní maticí a jsou dodávány ve formě tabulí nebo pásů. Dostupné jsou různé kombinace vláken a matic. Vývoj prepregů přinesl výhodu přesné orientace vláken a správného množství matrice i při manuální výrobě kompozitových komponent.

[4]

## 3.6.5 Technologické vlastnosti

Výroba součástí z kompozitů probíhá, tak že se do připravené formy na sebe kladou vrstvy vláken, které se sytí materiálem matrice. Tento postup lze realizovat strojně nebo ručně. Další postup závisí na druhu použité matrice - viz. výše. Obrábění kompozitů se

v podstatě omezuje na úpravu délky řezáním a broušením a leštění povrchu, přípustné je ještě vrtání děr. Nejčastějším způsobem spojování kompozitních komponent je lepení. Je možné i mechanické spojování pomocí nýtů, šroubů, různých kolíků a čepů atd. Povrchová úprava je obvykle založena na aplikaci tvrdých laků.

### 3.6.6 Důvody použití kompozitů pro komponenty jízdních kol

Využití kompozitních materiálů pro komponenty jízdních kol se v posledních několika letech stalo velkým hitem. Důvodů je hned několik. Hlavními z nich jsou značná úspora hmotnosti, velký rozsah mechanických vlastností, obecně vysoké hodnoty pevnosti a odolnost proti únavovému namáhání, výborný útlum vibrací a korozní odolnost. Největší nevýhodou je menší odolnost proti mechanickému poškození ve smyslu poškození od odletujících kamenů, různých pádů a podobně. Dalším záporem je poměrně vysoká cena, i když v poslední době se začínají objevovat i kompozitové komponenty na opačných koncích ceníků, než bylo jistě nedávno zvykem.

## 4 Volba materiálu pro komponenty jízdních kol

Pro volbu materiálu existuje poměrně velké množství nástrojů, které mají vést k optimální volbě materiálu. Jedno mají však společné, vždy je potřeba znát parametry, které musí materiál splňovat. První pomůcka vychází z mnohaleté praxe, kdy jsou materiály rozděleny do určitých skupin podle hlavních vlastností nebo účelu použití. Úskalím tohoto způsobu volby může být přehlédnutí mnohem vhodnějšího materiálu pro daný účel. Dalšími pomůckami jsou různé materiálové databáze. V základní podobě pro ně platí to stejné jako pro první metodu, protože umožňují pouze pasivní prohlížení. Vyšším stupněm jsou databáze umožňující aktivní vyhledávání potenciálně vhodných materiálů na základě zadaných parametrů. Trendem je vývoj expertních systémů, které umožňují propojení celého procesu konstrukce, analýz a volby materiálu do jednoho celku. Zajímavým přístupem k výběru materiálu je volba materiálu dle Ashbyho. Tento postup je založen na matematickém propojení požadavků na funkci komponenty, její geometrii a materiálové vlastnosti. Dále zavádí pojem tvarového faktoru pro různé profily, tvary výrobku. Poslední pomůckou jsou materiálové mapy, které porovnávají různé parametry pro určité skupiny materiálů. Kombinací těchto tří pomůcek lze velmi rychle získat rámcovou představu o vhodném materiálu. Posledním nástrojem jsou tzv. rozhodovací matrice. Jsou to v podstatě tabulky do kterých jsou zaneseny potenciální materiály a důležité materiálové vlastnosti. [1] [2]

### 4.1 Nejdůležitější hlediska pro volbu materiálu komponent jízdních kol

*Mechanické charakteristiky* – protože je většina komponent během provozu zatěžována cyklicky a ještě navíc kombinovaným napětím (ohybem, smykem, stříhem, krutem, tahem a tlakem), je znalost těchto vlastností základním požadavkem pro konstrukci funkčních a bezpečných komponent. Základní mechanickou charakteristikou je pevnost v tahu. [7]

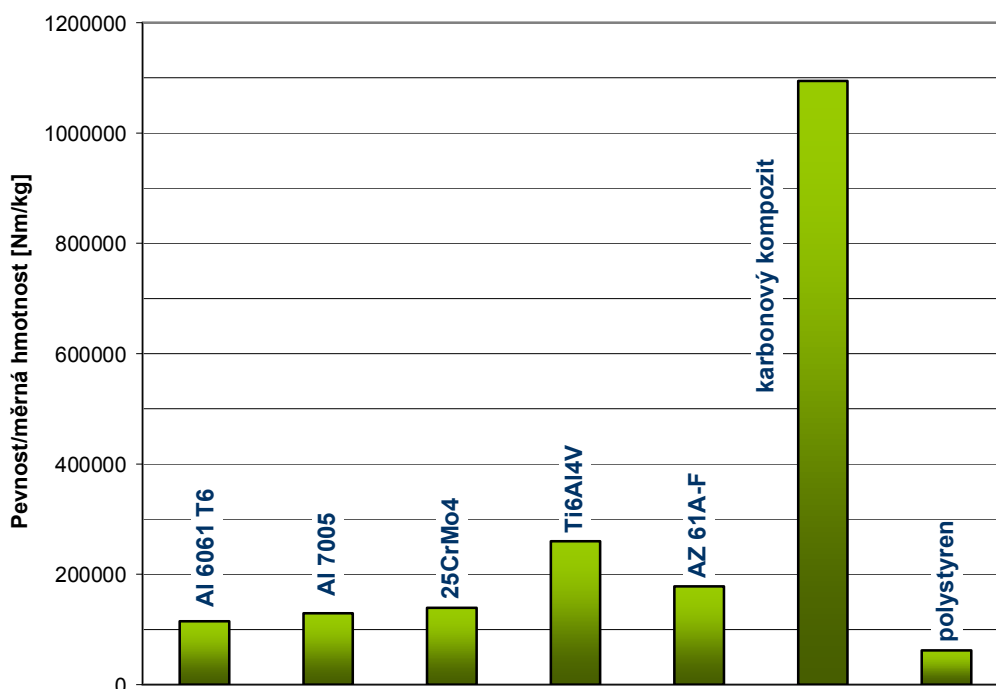
*Měrná hmotnost* – snahou je dosažení nízké hmotnosti komponenty, při zachování dostatečné pevnosti. Porovnání zástupců jednotlivých materiálových skupin viz. *Graf 4.1*.

*Spojování materiálu* musí být možné takovým způsobem, aby došlo jen k minimálnímu snížení mechanických vlastností materiálu ve spoji.

Materiál musí být odolný nebo snadno chránitelný proti *korózi*. [7]

Výsledný výrobek nesmí být příliš pružný. Pružnost materiálu je charakterizována Youngovým modulem pružnosti viz. Graf 4.2.

Graf 4.1 – Porovnání hmotnost zástupců jednotlivých materiálových skupin[10]



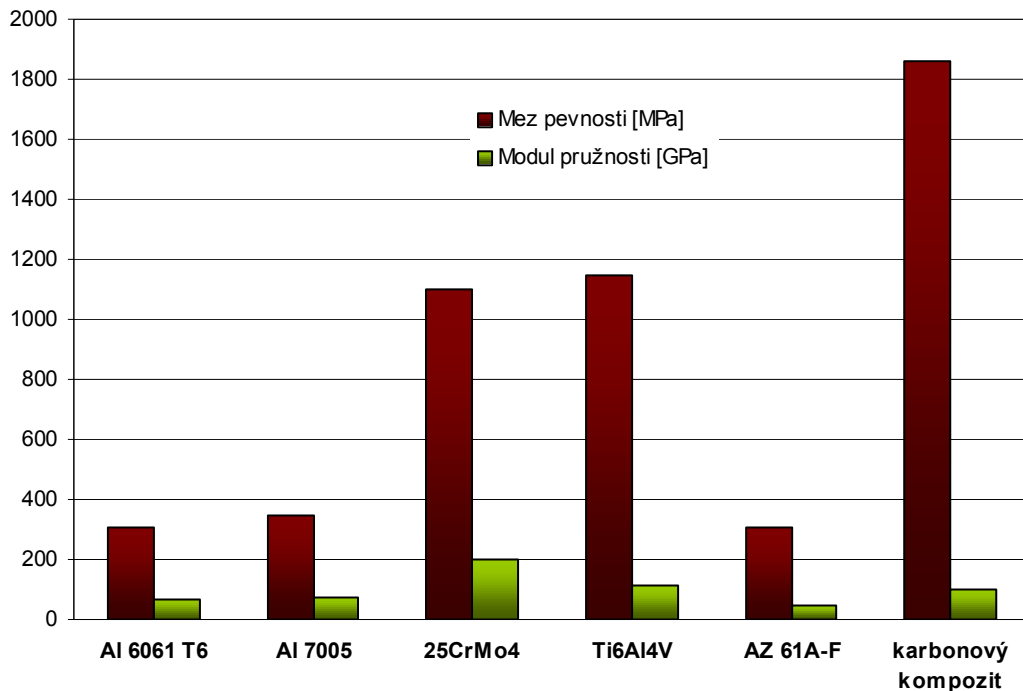
Cena výrobku musí odpovídat cílové skupině zákazníků. V případě velkého počtu komponent není ani tak rozhodující cena samotného materiálu, ale náklady na výrobu z hlediska potřebné technologie, proto v některých případech neznamená dražší materiál dražší výrobek. Je to dáno hlavně tím, že množství materiálu potřebné k výrobě komponenty je poměrně malé.

Dalším zajímavým parametrem je schopnost materiálu pohlcovat nebo spíše *tlumit vibrace*. Tato vlastnost má pozitivní vliv na komfort jízdy a zároveň snižuje přenos vibrací do těla jezdce. [8]

Tab. 4.1 – Srovnání skupin materiálu z nejdůležitějších hledisek [10]

	OCEL	SLITINY TITANU	SLITINY HLINÍKU	SLITINY HOŘČÍKU	KOMPOZITY	PLASTY
<b>Pevnost</b>	+	+	0	0	+	-
<b>Měrná hmotnost</b>	-	0	+	+	+	+
<b>Náročnost na zpracování</b>	+	-	+	+	-	+
<b>Cena</b>	+	-	+	-	0	+
<b>Životnost</b>	+	+	-	0	+	0
<b>Korozivzdornost</b>	0	+	0	-	+	0
<b>Útlum vibrací</b>	+	+	-	+	+	0
$\Sigma+$	5	4	3	3	5	3
$\Sigma 0$	1	1	2	2	1	3
$\Sigma-$	1	2	2	2	1	1

Graf 4.2 – Moduly pružnosti a meze pevnosti zástupců jednotlivých materiálových skupin [12]



V následujícím textu bude uvedeno několik příkladů komponent se zdůvodněním, proč výrobce zvolil daný materiál.

### **Pedály**

*Cíl, který má být dosažen:* co nejnižší cena při zachování dostatečné funkčnosti

*Použité materiály:* konstrukční ocel na osu pedálu, tělo pedálu z plastu

*Zdůvodnění:* konstrukční ocel je nejlevnější materiál, který je schopen zajistit dostatečnou pevnost pro bezpečnou funkci osy pedálu. Výroba těla pedálu z plastu je výhodná jak z hlediska ceny materiálu, tak i ceny použité technologie. Nevýhodou tohoto řešení je poměrně vysoká hmotnost a kratší životnost komponenty.

### **Vnější nohy odpružené vidlice**

*Cíl, který má být dosažen:* vnější nohy pro odpruženou vidlici střední třídy na horské kolo

*Použité materiály:* odlitek z hořčíkové slitiny

*Zdůvodnění:* hořčíkové slitiny mají dobré slévárenské vlastnosti, zaručí dostatečnou pevnost a jsou lehké, což přináší snížení neodpružené hmotnosti. To má přínos v lepší charakteristice odpružení. Dalším kladem je schopnost pohlcovat rázy, to zvyšuje komfort jízdy.

### **Sedlová trubka**

*Cíl, který má být dosažen:* sedlová trubka pro běžné krosové kolo

*Použitý materiál:* slitina hliníku

*Zdůvodnění:* slitina hliníku zajistí dostatečné mechanické vlastnosti při zachování nízké hmotnosti. Výrobce používá hliníkové slitiny na výrobu rámu, z toho plyne dostupná technologie.

### **Přední vidlice závodního silničního kola**

*Cíl:* dostatečná pevnost, co nejnižší hmotnost

*Použité materiály:* karbonový kompozit



*Zdůvodnění:* pro dosažení nízké hmotnosti ideální materiál pro svou malou hustotu. To je ještě umocněno přesným směřováním a vrstvením vláken v místech, kde je potřeba. Navíc je taková vidlice schopna velmi dobře pohlcovat vibrace.

### Řídítka pro BMX

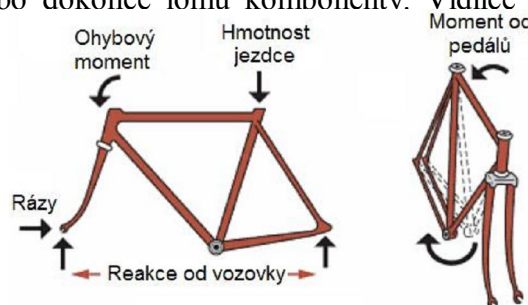
*Cíl:* řídítka pro BMX kolo

*Materiál:* konstrukční ocel

*Zdůvodnění:* primárním cílem je vysoká pevnost a mechanická odolnost, hmotnost není až tak důležitá. Proto je ocel ideální materiál.

## 4.2 Ukázka volby materiálu pro vidlice jízdních kol

Jak již bylo několikrát zmiňováno, nejdůležitější vlastností při konstrukci většiny komponent jízdních kol je pevnost. Dalším důležitým parametrem pro rámy a vidlice je tuhost, ale hlavním kritériem zůstává schopnost přenášet provozní zatížení tak, aby nedošlo k plastické deformaci nebo dokonce lomu komponentv. Vidlice jsou nejvíce zatěžovány na ohyb.



Obr. 4.2.1 – Znázornění zatížení vidlice a rámu jízdního kola

V této kapitole bude znázorněn výběr materiálu pro vidlici závodního kola Ashbyho metodou.

Vidlici můžeme považovat za nosník délky  $L$ , který musí přenést maximální zatížení, aniž by došlo k trvalé deformaci nebo lomu. Vidlice má kruhový průřez o poloměru  $r$  a tloušťku stěny  $t$ . Hmotnost musí být minimalizována. Z tohoto plyne, že vidlice je lehký dlouhý nosník. Další detaily týkající se zatížení a geometrie nejsou nutné. Nejlepší materiál pro daný tvar je ten, který má nejlepší hodnotu indexu  $M_3$ :

$$M_3 = \frac{\left( \overset{\text{tvarový faktor}}{\phi_B^f} \cdot \overset{\text{pevnost v tahu}}{\sigma_f} \right)^{2/3}}{\underset{\text{měrná hmotnost}}{\rho}}$$

Tab. 4.2.1 – Materiály vhodné pro konstrukci vidlice jízdního kola [1]

Materiál	Pevnost v tahu $\sigma_f$ [MPa]	Měrná hmotnost $\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Tvarový faktor $\phi_B^f$	Index* $\sigma_f^{2/3}/\rho$	Index* $M_3$
Ocel (Reinolds 531)	770 - 990	7,82	7,5	12	48
Al 6061 T6	240 - 260	2,7	5,9	15	48
Titan 6Al4V	930 - 980	4,42	5,9	22	72
Mg AZ 61	160 - 170	1,81	4,25	17	46
Karbonový kompozit	300 - 450	1,1	4,25	33	88

V *tabulce 4.2.1* je pět vhodných kandidátů a jejich vlastnosti. Uvedené tvarové faktory jsou dosažitelné běžnými výrobními postupy. Výpočtem indexu  $M_3$  zjistíme, že nejvhodnějším materiálem je uhlíkový kompozit, následovaný titanovou slitinou. Naopak jako nejméně vhodný materiál (pro aplikaci limitovanou pevností) se jeví, navzdory její nízké hustotě, hořčíková slitina AZ 61. [1]

## 5 Závěr

Ačkoliv existuje široká škála materiálů, žádný z nich nelze prohlásit za ideální, vždy se najde nějaký požadavek, který daný materiál nespĺňuje na 100 %. Použitím různých materiálů lze dosáhnout podobných nebo naopak zcela odlišných výsledků. Proto je volba materiálu vždy jakýmsi kompromisním řešením, které se nejvíce blíží zadaným požadavkům a možnostem výrobce. Současným trendem v komponentech jízdních je co největší použití hliníkových slitin a kompozitů na bázi uhlíkových vláken. Důvody jsou jasné. Hliníkové slitiny se staly nejpopulárnějším materiálem pro stavbu rámu. Je to dáno jejich dobrou dostupností, snadnou tvářitelností – možnost tvarovat trubky jak z funkčního tak i estetického hlediska. Dalším přínosem je dobrý poměr pevnosti a měrné hmotnosti. To způsobuje snahu výrobců, co nejvíce využít technologií i know-how získaných při stavbě rámu i pro výrobu komponent. Podobné je to i při využití kompozitů, které jsou téměř ideálním materiálem, jejich jedinou zásadní nevýhodou je náročná výroba a především nižší odolnost proti poškození.

Cíl vývoje je jasný – najít vyvážený poměr mezi co nejnižší hmotností, dostatečnou pevností, tuhostí, pohodlím a cenou výrobku. To se zatím nikomu úplně nepodařilo a proto je rozsah používaných materiálů tak velký.

## 6 Použitá literatura

- [1] ASHBY, M. F. *Materials Selection in Mechanical Design*. 3rd ed. Oxford, Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. 603 s., ISBN 0-7506-6168-2
- [2] SEDLÁČEK, V. *Neželezné kovy a slitiny*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1979. 398 s.
- [3] PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu II*. 2. opravené a rozšířené vydání. Brno: CERM, 2002. 392 s., ISBN 80-7204-248-3
- [4] WESSEL J.K. *The Handbook of Advanced Materials: Enabling New Designs*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2004. 656 s., ISBN: 978-0-471-45475-5
- [5] The Aluminum Association. *Rolling Aluminum: From the Mine Trough the Mill*. 3rd ed. Arlington, 2007. 135 s.
- [6] CALLISTER W.D. *Materials science and engineering: an introduction*. 7th ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2007. 721 s., ISBN: 0-471-73696-1
- [7] Wilson D.G. *Bycycling Science*. 3rd ed. Cambridge: MIT Press, 2004. 473 s., ISBN: 0-262-73154-1
- [8] DONACHIE M.J. *Titanium: a technical guide*, 2nd ed. ASM International, 2000. 381 s., ISBN: 0-871 70686-5
- [9] PETERS M. *Titanium and titanium alloys: fundamentals and applications*. Wiley-VCH, 2003. 513 s., ISBN: 3-527-30534-3
- [10] VELO. Č.3 (březen 2010). Praha: V-press 2010. Vychází měsíčně. ISSN 1213-113X
- [11] VELO. Č.6 (červen 2003). Praha: V-press 2003. Vychází měsíčně. ISSN 1213-113009
- [12] <[http://www.kolokram.cz/popup\\_image.php?pID=4922](http://www.kolokram.cz/popup_image.php?pID=4922)> [cit. 2010-5-22]
- [13] <[http://pcshop.pells.cz/sport/predstavec-r57-al6061-7-\\_ie20043.jpg](http://pcshop.pells.cz/sport/predstavec-r57-al6061-7-_ie20043.jpg)> [cit. 2010-5-22]
- [14] < [http://www.exustar.com/product\\_detail.php?psn=68&level=2&t1s=19](http://www.exustar.com/product_detail.php?psn=68&level=2&t1s=19)> [cit. 2010-5-2]
- [15] <<http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/>> [cit. 2010-5-10]
- [16] <<http://www.koloshop.cz/php/obrazky.php?id=5033.jpg&x=2>> [cit. 2010-5-15]