



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

MAZIVA PRO ŘETĚZY JÍZDNÍCH KOL

LUBRICANTS FOR BICYCLE CHAINS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Brychta

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Ondřej Brychta**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

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:

Maziva pro řetězy jízdních kol

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Řetěz je velmi důležitou součástí, u které je nezbytné zajistit kvalitní mazání. V důsledku kontaktních sil a kluzného tření dochází k opotřebení jednotlivých částí řetězu. Ztráty třením tak určují energetickou účinnost celého řetězu. Na trhu existuje celé množství olejů v různých cenových kategoriích. Správná volba maziva může snížit tření a opotřebení funkčních ploch a přispět tak k prodloužení životnosti řetězu.

Typ práce: rešeršně syntetická

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je rešerše v oblasti maziv pro řetězy jízdních kol včetně doporučení pro jejich použití v praktických aplikacích.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- identifikovat parametry vybraných typů maziv,
- provést rozbor působících sil v řetězech jízdních kol,
- provést rozbor cyklistických řetězů a rozbor nejčastějších typů jejich opotřebení,
- syntetizovat získané poznatky v rámci doporučení použití vybraných maziv v praktických aplikacích.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

SAPPOK, D., R. MERZ, B. SAUER a M. KOPNARSKI. Surface Analysis of Chain Joint Components after Tribological Load and Usage of Antiwear Additives. Conference Papers in Science. 2015, 1-12. ISSN 2356-6108.

BECKER, A., D. MEFFERT a B. SAUER. Friction and wear investigations on single chain joints. Forschung im Ingenieurwesen. 2019, 83(1), 53-63. ISSN 0015-7899.

POLAT, O., A. A. EBRINC, C. OZEN a S. AKCA. Timing Chain Wear Assessment with Different Type of Oils. In: Conference: SAE World Congress & Exhibition. 2009-04-20.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se věnuje problematice mazání řetězů jízdních kol. V úvodu práce jsou popsány základní třecí procesy, dále je proveden rozbor používaných řetězů na jízdních kolech, používaných materiálů, rozbor sil a opotřebení v řetězech. Poslední část je věnována vlastnostem základních typů maziv, jejich aditivům a možnostem jejich použití v cyklistice.

KLÍČOVÁ SLOVA

tření, mazání, opotřebení, řetězy, tuhá maziva, olejová maziva, nanomaziva, vosk

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the lubrication of bicycle chains. The introduction describes the basics of the friction processes, then there is an analysis of the chains used on bicycles, used materials, analysis of forces and wear in the chains. The last part is devoted to the properties of basic types of lubricants, their additives and the possibilities of their use in cycling.

KEYWORDS

friction, lubrication, wear, chains, solid lubricants, oil lubricants, nano lubricants, waxes

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BRYCHTA, Ondřej. Maziva pro řetězy jízdních kol. Brno, 2021, 44 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce doc. Ing. Petru Svobodovi, Ph.D. za jeho trpělivost a cenné rady. Dále chci poděkovat mým rodičům a přítelkyni za podporu během celého studia.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pod odborným vedením doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	12
2	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	13
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
3.1	Tření	14
3.2	Režimy mazání	17
3.2.1	Hydrostatické mazání	17
3.2.2	Hydrodynamické mazání	17
3.2.3	Elastohydrodynamické mazání	17
3.2.4	Mezní mazání	18
3.2.5	Režim mazání při mazání řetězů jízdních kol	18
3.2.6	Stribeckova křivka	19
3.3	Řetězy	20
3.3.1	Řetězy jízdních kol	20
3.3.2	Rozbor sil v řetězech jízdních kol	22
3.3.3	Opotřebení řetězů	24
3.3.4	Materiály používané pro výrobu řetězů jízdních kol	25
3.4	Maziva	26
3.4.1	Vlastnosti maziv	27
3.4.2	Tuhá maziva	29
3.4.3	Olejová maziva	31
3.4.4	Nanomaziva	34
3.4.5	Maziva na bázi vosku	35
4	DISKUZE	36
5	ZÁVĚR	38
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	39
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	42
8	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	43
9	SEZNAM TABULEK	44

1 ÚVOD

Tribologie je věda, jejíž název je odvozen od řeckého slova tribos – tření. Zabývá se třením, opotřebením a mazáním povrchů těles při jejich vzájemném dotyku, pohybu nebo při pokusu o tento pohyb. [1] Slovo tribologie bylo poprvé použito ve zprávě Petera Josta, která popisovala vliv tření a opotřebením na britskou ekonomiku. Přestože mnohá zařízení fungují s pozitivním třením, například brzdy u aut nebo spojky, tak se odhaduje, že až 23 % světové spotřeby energie je ztraceno v důsledku negativního tření a opotřebením. [3, 4] Ani u součástek na jízdních kolech tomu není jinak. Každý cyklista by měl umět vybrat správné mazivo, které zajistí jeho kolu delší živostnost.

Přestože se konstrukce bicyklů za posledních 50 let velmi zdokonalila, řetěz je stále základní částí jeho pohonu. Jeho rozměry se liší v závislosti typu jízdního kola, přičemž kvalita použitých materiálů se odvíjí od konečného využití a pořizovací ceny. Společné pro všechny řetězy jsou mezní režim mazání, rozložení sil a místa náchylná na opotřebením.

Hlavní funkcí maziv používaných na řetězy kol je ochrana proti korozi, snížení tření, opotřebením a hluku. Nejčastěji jsou používána olejová maziva, jejichž základní skupiny tvoří minerální (ropné), syntetické a biologické oleje. Ke zlepšení jejich třecích vlastností se často používají částčky tuhých maziv, jako je grafit, sulfid molybdeničitý nebo PTFE. Tyto látky se také používají samostatně pod názvem suchá maziva. Další možnost mazání je pomocí maziv na bázi vosku.

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Kontaktní síly a tření vedou k opotřebování řetězu a současně určují jeho energetickou efektivitu. Výběrem vhodného maziva lze tyto negativní jevy eliminovat.

Cílem této práce je podat základní informace o tření a opotřebení v řetězech jízdních kol. Uvést hlavní možnosti jejich mazání, popsat charakteristické vlastnosti jednotlivých druhů maziv a následně uvést možnosti jejich použití.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

3.1 Tření

Tření je odpor působící proti relativnímu pohybu (vektor třecí síly má stejný směr jako vektor relativní rychlosti) vznikající mezi dvěma po sobě klouzajícími nebo válenými tělesy v oblasti dotyku jejich povrchů. Odporová síla, která působí v opačném směru, než je pohyb, se nazývá třecí síla a je přímo závislá na velikosti normálové zátěžné síle. Druhým faktorem ovlivňující velikost třecí síly je součinitel smykového tření. Jeho velikost se určuje experimentálně a ovlivňuje ho druh materiálu obou stýkajících se těles, drsnost jejich povrchu, rychlost jejich relativního pohybu, přítomnost maziva a jeho druh. [3]

Podle místa vzniku se tření dělí na **vnější**, které vzniká mezi povrchy dvou těles, z nichž se aspoň jedno pohybuje, a na **vnitřní**, které probíhá mezi částicemi nebo vnitřními vrstvami látky. Toto tření se vzniká v reálných kapalinách i v pevných látkách. [2, 5]

Podle míry pohybu se tření dělí na statické, kinematické a nárazové. **Statické** tření vzniká, pokud jsou dotýkající se tělesa navzájem v klidu. Hodnota síly potřebné k udělení pohybu je největší. Tato hodnota vydrží pouze pár milisekund. Se vzrůstající rychlostí pohybu součinitel tření prudce klesá, a tím klesá i třecí síla. Tření, kdy jsou tělesa navzájem v pohybu, se nazývá **kinematické**. **Nárazové** neboli vibrační tření vzniká během nárazu tělesa na pevnou podložku nebo vibračním pohybem. [1, 2]

Podle způsobu pohybu se tření dělí na smykové a valivý odpor. **Smykové tření** vzniká během posuvného pohybu mezi povrchy dvou těles. Styk je na velké ploše po celou dobu pohybu a hodnota třecí síly je přímo úměrná součiniteli tření a normálové zatěžovací síle. Tato třecí síla je vyvolána nerovnostmi povrchů a její působíště je ve stykové ploše. [2, 5]

Tabulka 3-1 Koeficienty smykového tření pro různé materiály [41]

Materiál povrchů třecích ploch		Koeficient smykového tření	
		za klidu	za pohybu
ocel	ocel	0,15	0,1
ocel	pozinkovaná ocel	0,5	0,45
ocel	teflon	0,04	-
ocel	hliník	0,61	0,47
ocel	nikl	-	0,64
teflon	teflon	0,04	-
hliník	hliník	1,05-1,35	1,4

Valivý odpor vzniká při valivém pohybu oblého tělesa po podložce. Styk je bodový (popř. přímkový), proto jsou měrné tlaky značné velké. Může dojít k deformaci podložky i valivého tělesa. Velikost valivého odporu je při stejné normálové zatěžovací síle menší než velikost smykového tření a je závislá na materiálu tělesa a podložky, průměru valivého tělesa nebo drsnosti povrchu. [2]

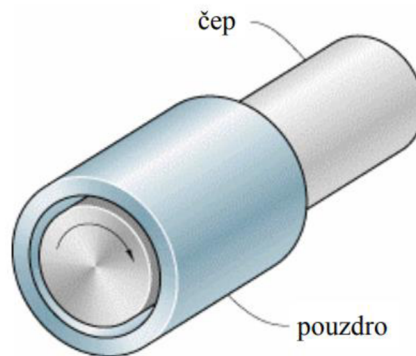
Podle oddělení třecích povrchů se tření dělí na suché, kapalinové, plynové, smíšené a mezní. **Suché tření** vzniká při kontaktu dvou pevných těles bez maziva. Kvůli nedokonalostem povrchů reálných těles dochází ke vzájemnému zachytávání mikronerovností, jejich k pružným a plastickým deformacím a k adhezi mezi nimi. **Kapalinové tření** se vyskytuje, pokud jsou třecí plochy odděleny dostatečnou vrstvou maziva, které má vlastnosti kapaliny. Nepochází tak ke kontaktu těles, dochází k výraznému snížení tření a opotřebení. Popisuje složku kontaktní síly, která existuje mezi sousedními vrstvami tekutiny, které se pohybují navzájem různými rychlostmi. [1, 5] U **plynového tření** tvoří třecí vrstvu plyn a celkově se podobá kapalinovému tření. **Smíšené tření** je případem kapalinového tření. Mazací vrstva se zmenší do té míry, že se nerovnosti povrchů začnou dotýkat, což má za následek zvýšení tření. **Mezní tření** nastává při limitním zmenšení mazací vrstvy (několik molekul). Dochází k němu například při nízkých rychlostech nebo v úvrati u součástí s vratným pohybem nebo při nedostatečném přísunu maziva. [5]

Tabulka 3-2 Koeficienty tření pro jednotlivé druhy tření [41]

Typ tření	Koeficient tření
Tření pevných těles	0,01 – 0,25
Smíšené tření	0,01 – 0,2
Kapalné tření	0,01 – 0,1
Valivý odpor	0,001 – 0,0001
Plynové tření	0,0001 – 0,0005

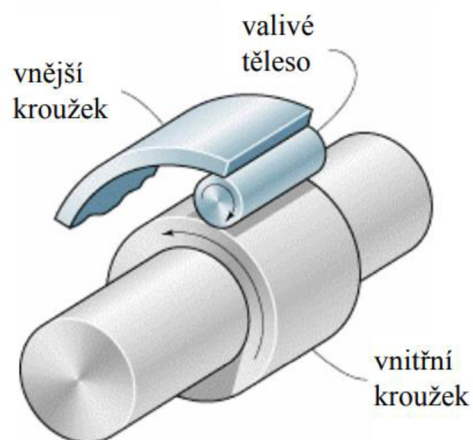
Třecí povrchy:

- a) konformní – tyto povrchy do sebe zapadají s velkou geometrickou přesností, a díky tomu je zatížení přenášeno po relativně velké ploše. Zatížení bývají relativně malá. Typickým příkladem jsou kluzná ložiska. [9]



Obrázek 3.1-1 Konformní povrchy [6]

- b) Nekonformní – tyto povrchy se stýkají na výrazně menší ploše než konformní povrchy (až o tři řády menší). Přenášená zatížení bývají relativně velká a se zvětšováním zatížení roste i kontaktní plocha. Typickým příkladem jsou valivá ložiska nebo ozubené převody. [9]



Obrázek 3.1-2 Nekonformní povrchy [6]

3.2 Režimy mazání

U tekutinových mazacích filmů se rozlišují čtyři režimy mazání: hydrostatické, hydrodynamické, elastohydrodynamické a mezní.

3.2.1 Hydrostatické mazání

Při hydrostatickém mazání se mazivo mezi třecí plochy přivádí pod dostatečným tlakem, aby se plochy oddělily tlustší mazací vrstvou a nedošlo k jejich vzájemnému dotyku. Není zde relativní pohyb třecích ploch. Využití tohoto způsobu mazání je u ložisek s nízkými i nulovými otáčkami. Nevýhoda je, že je potřeba tlaková pumpa a zařízení na čištění oleje, což zabírá místo a je cenově nákladné. [3, 6]

3.2.2 Hydrodynamické mazání

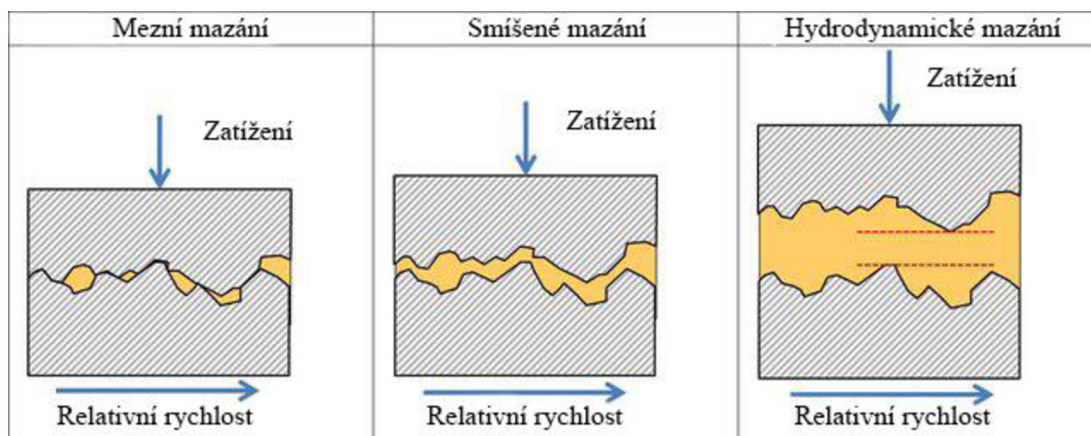
I u hydrodynamického mazání se používá tlustší mazací vrstva, takže nedochází ke styku třecích ploch. V klidu je mezi tělesy tenký film, s rostoucí relativní rychlostí vzniká v mazací vrstvě hydrodynamický tlak a do klínové mezery vniká více maziva. Při dostatečné relativní rychlosti dojde ke vzniku protitlaku, který je schopný přenášet vnější zatížení třecích ploch. Vysoká únosnost ložisek s tímto režimem mazání souvisí i s větší viskozitou maziv. Tento mechanismus je schopný pracovat bez externí tlakové pumpy, ale je nutné zajistit dostatečné množství maziva. [3, 6]

3.2.3 Elastohydrodynamické mazání

Elastohydrodynamické mazání je forma hydrodynamického mazání, ke kterému dochází u po sobě se odvalujících ploch (spoluzabírající ozubená kola, valivá ložiska). Mazivo je mezi třecí plochy vtahováno. Na celkové chování systému mají vliv elastické deformace mezi dotýkajícími se povrchy a změny viskozity způsobené změnou tlaku. [6, 7]

3.2.4 Mezní mazání

Nastává při poklesu tloušťky mazacího filmu na vrstvu několika molekul. Přechod z hydrodynamického mazání je postupný. Prvně dochází ke smíšenému mazání, které postupně přechází v mezní. U tohoto režimu mazání hrají větší roli fyzikální a chemické vlastnosti třecích povrchů než viskozita maziva. [8]



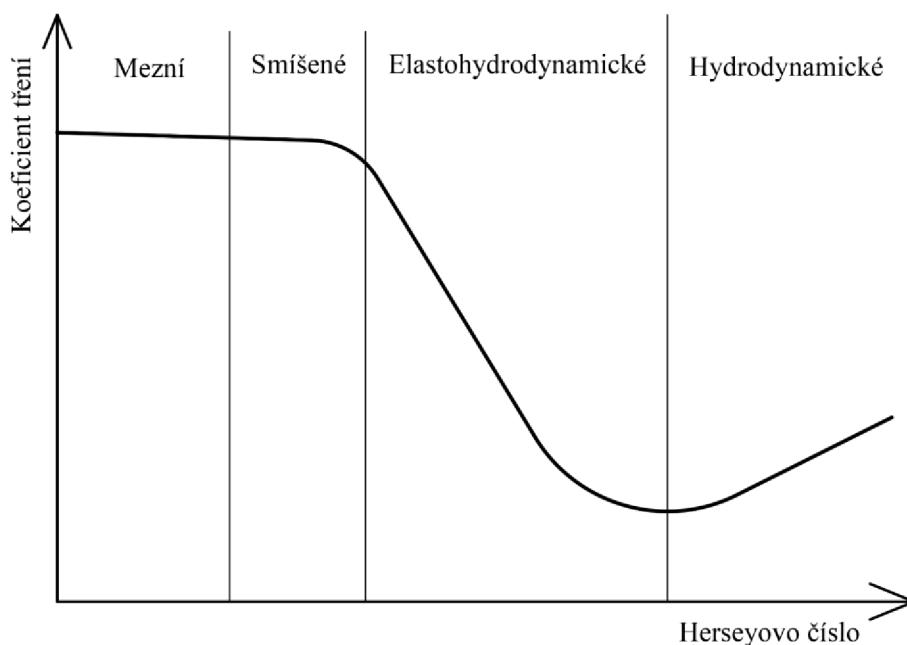
Obrázek 3.2-1 Mazací vrstva v režimech mazání [33]

3.2.5 Režim mazání při mazání řetězů jízdních kol

U řetězů jízdních kol jsou režimy mazání závislé i na intervalech mezi novými aplikacemi maziva. K hydrodynamickému mazání nedochází, protože je při něm potřeba silnější vrstva maziva a relativní rychlosti mezi částmi řetězu jsou malé (méně než 10 mm/s). Mezi čepem a pouzdrem řetězu během zátěže vzniká tlak, který mazivo vytlačuje. Mezi kontaktními plochami zůstává slabá vrstva, a dochází tak k meznímu mazání. Kontaktní mechanismy jsou hlavně závislé na chemických vlastnostech rozhraní povrch-mazivo, přičemž hustota nebo viskozita maziva jsou méně relativní. Koeficient tření je v závislosti na chemickém složení maziva, povrchu a povrchovém profilu řetězu přibližně 0,05 až 0,15, což je výrazně nižší hodnota než u čistého řetězu. Provozem se mazivo odstraňuje a bez obnovy mazacího filmu vzniká suché tření. [9, 32]

3.2.6 Stribeckova křivka

Vyjadřuje závislost součinitele tření s Herseyovým číslem, které zahrnuje vliv tlaku, viskozity maziva a rychlosti v dotyku. Křivka je rozdělena do čtyř oblastí podle režimu mazání, a lze tak z grafu určit, ve kterém režimu se součást nachází (obrázek 3.2-2). Každá dvojice materiálů má jiný průběh křivky a musí se určit experimentálně. [32, 42]



Obrázek 3.2-2 Stribeckova křivka [6]

Parametr mazání

Přechod z jednoho režimu mazání do druhého také závisí na poměru mezi tloušťkou mazací vrstvy a redukované drsnosti třecích povrchů. Tento poměr se nazývá parametr mazání, označuje se Λ a je definován takto:

$$\Lambda = \frac{h_{min}}{\sqrt{R_{qa}^2 + R_{qb}^2}} \quad (3.1)$$

h_{min}	[mm]	minimální tloušťka filmu
R_{qa}	[μm]	průměrná kvadratická úchylka profilu tělesa a
R_{qb}	[μm]	průměrná kvadratická úchylka profilu tělesa b

Křivka zobrazující závislost mezi součinitelem tření a parametrem mazání je podobná Stribeckově křivce. Hodnoty parametru mazání pro jednotlivé režimy jsou ukázány v tabulce 3-3. [32, 42]

Tabulka 3-3 Režimy mazání pro určité hodnoty parametru mazání [9]

Režimy mazání	Parametr mazání	Minimální tloušťka mazací vrstvy h_{\min} [μm]
hydrodynamické	$5 \leq \Lambda < 100$	$1 \div 100$
elastohydrodynamické	$3 \leq \Lambda < 10$	$0,01 \div 10$
smíšené	$1 \leq \Lambda < 5$	$0,01 \div 1$
mezní	$\Lambda < 1$	$0,005 \div 0,1$

3.3 Řetězy

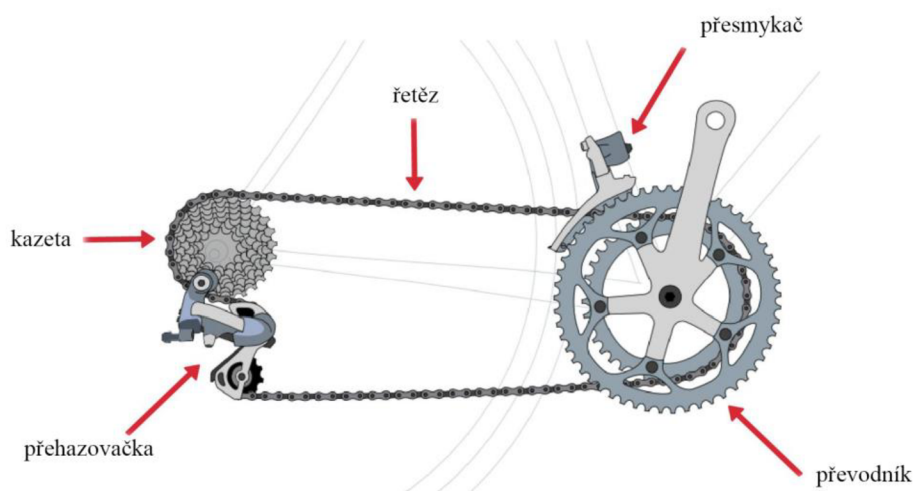
Řetězy lze dělit na článkové a kloubové. Článkové řetězy slouží k vážení a zavěšování břemen, proto se většinou používají u zdvihadel a jejich mazání má funkci spíše jako ochrana proti korozi. Kloubové řetězy slouží jako transportní, pracovní (řetěz motorové pily) a hnací. Hnací řetězy spolu s ozubenými koly tvoří uzavřenou převodovou jednotku. Mazání těchto soustav je velmi důležité. Odvíjí se od něj účinnost součástí a jejich životnost. Kloubové řetězy jsou složeny z destiček (vnitřních a vnějších), které jsou spojeny čepy (obrázek 3.3-1). Dělí se podle složení a tvaru článku na pouzdrové, Gallovy, válečkové a zubové. [5]



Obrázek 3.3-1 Jedno a víceřadé kloubové řetězy [34,38]

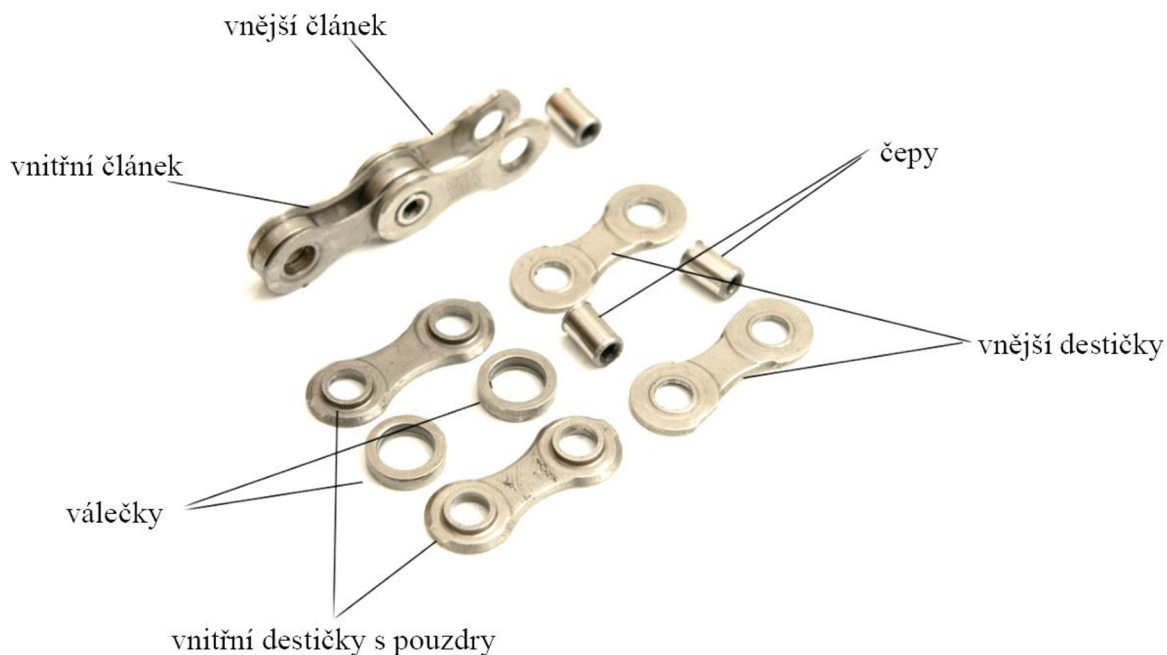
3.3.1 Řetězy jízdních kol

Většina dnešních jízdních kol (závodních i rekreačních) má základ řetězového pohonu stejný (obrázek 3.3-3). Ten je tvořen převody ve středové ose a převody na ose zadního kola. Síla od jezdce je přenášena přes pedál, kliku a přes zuby převodníku na řetěz, který ji převede na kazetu zadního kola. Přesmykač a zadní přehazovačka slouží ke změně pozice řetězu na převodníku a kazetě, a umožní tak změnu převodového poměru.



Obrázek 3.3-3 Pohonné ústrojí na jízdním kole [35]

V současnosti se na jízdních kolech používají jednořadé válečkové kloubové řetězy (obrázek 3.3-2). Ty poskytují vysokou efektivitu (při správném mazání až 98 %), odolnost, spolehlivost při nízkých pořizovacích cenách a snadnou montáž i demontáž. [10] Na tomto typu řetězu je vnitřní a vnější destička spojena vlisovaným čepem, který je ukryt v pouzdru vnitřní destičky. Otočný váleček je zde volně uložen na pouzdře a zefektivňuje dotyk se zuby pohonných součástí. [32] Řetězy se od sebe liší nejen délkou, ale i šířkou. U většího počtu pastorků jsou mezery menší a pastorky jsou užší, proto musí být užší i řetěz. Délka řetězu je závislá na použité přehazovačce a jízdním stylu jezdce.



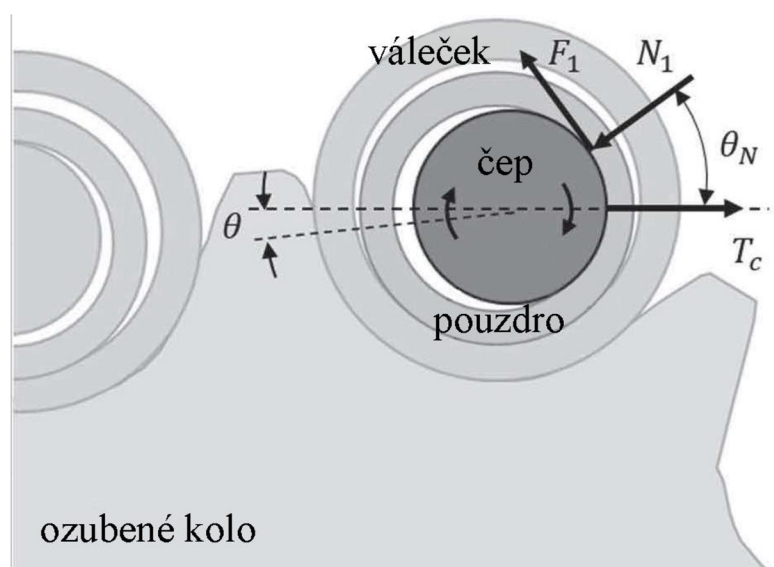
Obrázek 3.3-2 Stavba řetězu [36]

3.3.2 Rozbor sil v řetězech jízdních kol

Efektivita řetězového pohonu je dána poměrem vstupního a výstupního výkonu. Rozdíl mezi nimi jsou ztráty vzniklé třením a tlumením. Tyto ztráty závisí nejen na přenášeném točivém momentu, ale i na provozních podmínkách, materiálu řetězu a použitém mazání.

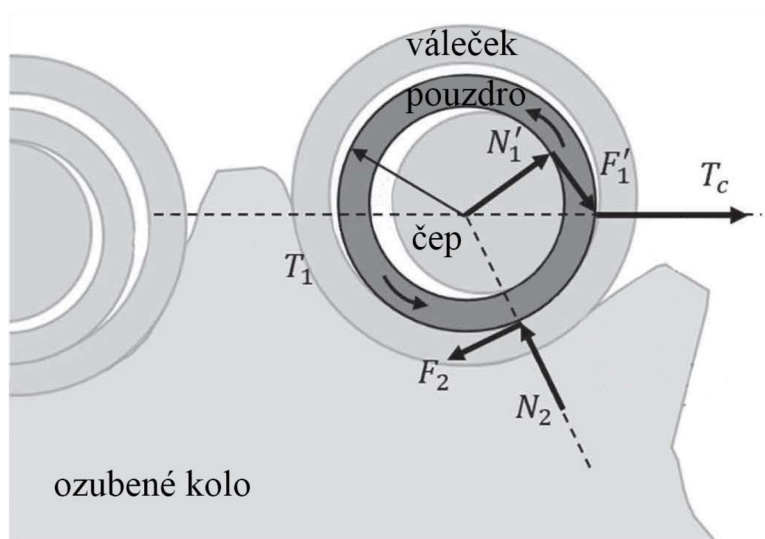
Během pohybu lze řetěz rozdělit na dvě oblasti podle velikosti napětí. V horní úvratí je řetěz v záběru, a působí tak největší napětí. Avšak ani ve spodní úvratí není napětí nulové, protože je řetěz napnutý od přehazovačky. Toto napětí se přenáší na jednotlivé části a dochází ke vzniku třecích sil.

Obrázek 3.3-4 ukazuje kontakt čepu s pouzdrem. Ten vede ke vzniku normálové síly N_1 , jejíž velikost se odvíjí od velikosti napětí T_C vyvolané přenosem síly z převodníku na pastorek kazety. Během ohybu řetězu kolem ozubeného kola dochází k relativnímu pohybu mezi čepem a pouzdrem, to vede ke vzniku třecí síly F_1 . Úhel θ je natočení čepu od výchozí osy vnitřní destičky. [10, 32]



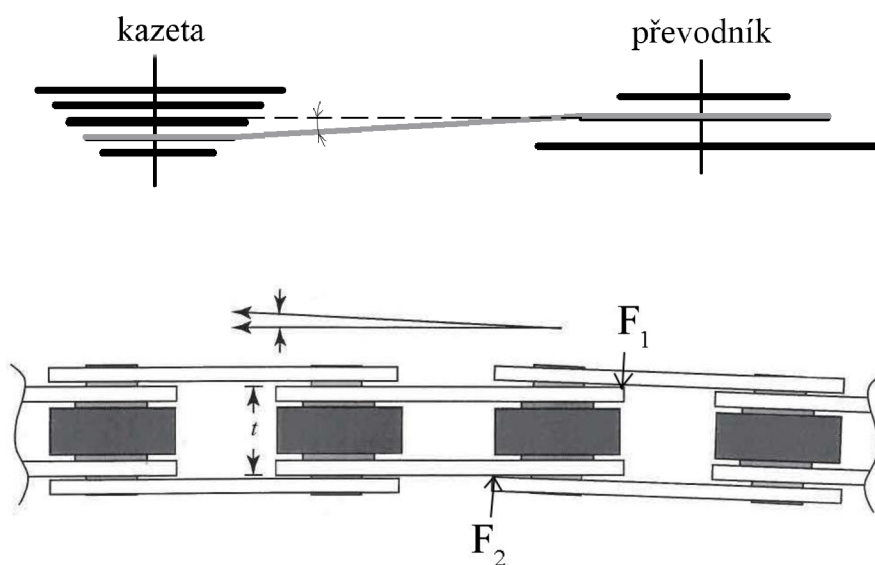
Obrázek 3.3-4 Rozložení sil mezi čepem a pouzdrem [10]

Obdobný mechanismus probíhá při kontaktu řetězu s ozubeným kolem (obrázek 3.3-5). Kontaktní síla zubu N_2 se přenáší na pouzdro v momentě, kdy je v záběru váleček s ozubeným kolem. Vzniká dotyk mezi válečkem a pouzdrem a zároveň mezi pouzdrem a čepem. V důsledku těchto dotyků vznikají třecí síly F_1' a F_2 . T_1 je napětí článku usazeného v zubu ozubeného kola.



Obrázek 3.3-5 Rozložení sil mezi pouzdem a válečkem [10]

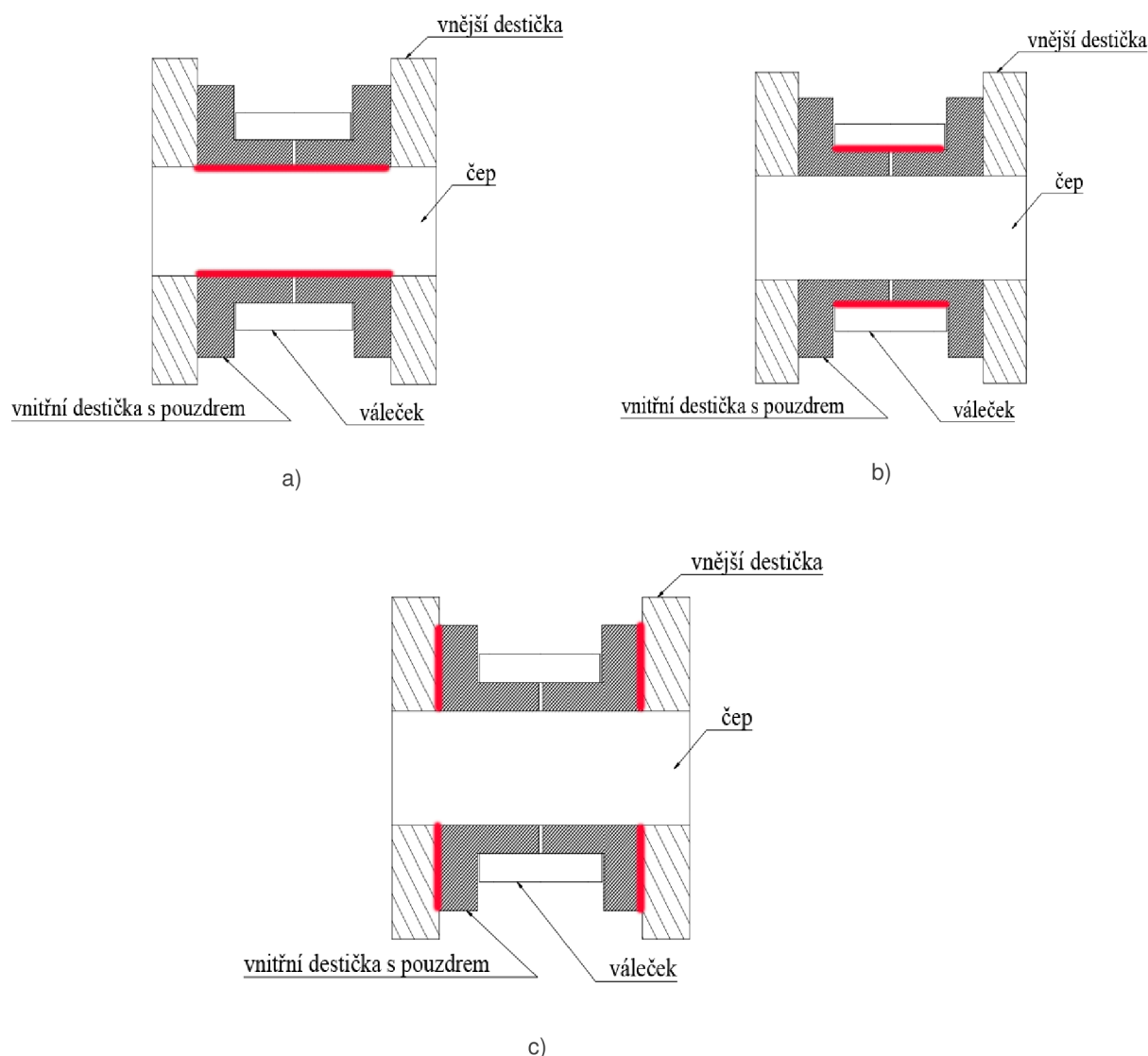
Na obrázku 3.3-6 je zobrazen řetěz v natočení v situaci, kdy není přesně vycentrován. Toto „skřípnutí“ je způsobeno polohou na kazetě a převodníku, a dochází tak ke kontaktu vnější-vnitřní destička a čep-pouzdro (jeho hrany).



Obrázek 3.3-6 Rozložení sil při vyosení řetězu [32]

3.3.3 Opotřebení řetězů

Nejzásadnější vliv na živostnost řetězu má abrazivní opotřebení, které vzniká mezi vnitřním povrchem pouzdra a čepem. Zároveň v tomto místě dochází k největším energetickým ztrátám. Opotřebení v dalších místech (obrázek 3.3-7 b,c) není nutné měřit,



Obrázek 3.3-7 a) čep-pouzdro; b) váleček-pouzdro; c) vnitřní a vnější destička [32]

protože je výrazně menší než v místě a). [32] Opotřebení se zrychluje, pokud se na mazivo nachytají nečistoty. Ty působí na jednotlivé části abrazivně. Dlouhodobým namáháním dochází k postupnému úbytku materiálu čepu a pouzdra a vůle mezi nimi se zvětšuje. Kvůli tomuto opotřebení se řetěz prodlužuje, což má negativní vliv na opotřebení dalších komponent a přesnost řazení. Prodloužení je hlavní důvod pro výměnu řetězu (obrázek 3.3-8), a proto je potřeba ho pravidelně měřit pomocí speciálních měrek nebo posuvného měřidla. Při zvětšení rozteče o 0,75–1 % (tomu přibližně odpovídá 1,5 mm na 12 člancích) oproti novému řetězu je doporučována výměna. [21]



Obrázek 3.3-8 Zobrazení opotřebení řetězu [37]

Druhý faktor ovlivňující životnost je rez. Pokud není řetěz dostatečně chráněn povrchovými úpravami či mazivem nebo se skladuje ve vlhkém prostředí, kde nemá možnost uschnout, dochází ke vzniku koroze v jeho kloubech, a efektivita řetězu se tak výrazně snižuje. Podle způsobu jízdy, váhy jezdce a podmínkách, ve kterých řetěz funguje, se přibližná životnost řetězu na silničních kolech pohybuje mezi 2500 až 3500 km. U horských kol je to mezi 1000 až 2000 km. [20, 21]

3.3.4 Materiály používané pro výrobu řetězů jízdních kol

Materiály se odvíjí od podmínek, ve kterých řetěz musí pracovat. Většina kol se provozuje venku za různých povětrnostních podmínek. Kvůli absenci krytu pohonného ústrojí kola, jsou řetězy vystavovány dešti, vlhku, prachu i bahnu. Běžně při teplotách v rozmezí od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výrobci se snaží, aby řetězy byly co nejvíce korozi a otěru vzdorné, zároveň pevné, lehké a efektivní. Avšak tyto vlastnosti jsou závislé na pořizovací ceně. Levnější řetězy bývají vyrobeny obvykle pouze z oceli. S narůstající cenou jsou na řetězech použity různé povrchové úpravy. Jedna ze základních povrchových úprav je pochromování a galvanické pokovování Zn/Ni, které se vyskytuje u levnějších typů. Jeden z největších výrobců komponent, Shimano, využívá technologii Sil-tec. To je technologie pokovování, která zlepšuje vlastnosti povrchu vsazováním fluorových částic. [11] Campagnolo upravuje povrch částí řetězu vrstvou Ni+PTFE. U této metody se využívá oxidačně-redukční chemická reakce. Jedná se o kompozitní povlak niklu s obsahem PTFE (teflon) mezi 20–30 %. [13] Sram používá metodu PVD, což je fyzikální napařování tenkých vrstev nitridu titanu. [12]

3.4 Maziva

Mazání je proces, při kterém se mezi dva pohybující povrchy přidá látka, vytvoří se únosná vrstva s malým vnitřním třením a zamezí se kontaktu třecích povrchů. Mazání se využívá všude, kde tření neslouží pro přenos sil. Primární funkcí všech maziv je redukce tření a následné snížení opotřebení. Jeho použití tedy zvyšuje efektivitu a životnost součástí. Maziva také často slouží pro odvod tepla a nežádoucích částic vzniklých opotřebením, jako ochrana proti korozi nebo tlumení hluku.

Vliv na efektivitu a opotřebení řetězů jízdních kol má míra znečištění, kvalita maziva a jeho správná aplikace. Mazivo se aplikuje na čistý a odmaštěný povrch, aby mazivo správně přilnulo k řetězu. Toho lze dosáhnout pomocí speciálních čisticích prostředků, praček na řetězy (obrázek 3.4-1) nebo lázní. Časté čištění řetězu a výměna mazací vrstvy vede k výraznému prodloužení jeho životnosti. Mazivo se aplikuje pouze do kloubů mezi články a nechá se zavadnout, aby přilnulo k povrchu. Přebytečné mazivo je potřeba odstranit, aby na něj neulpívaly nečistoty na kazetě a převodníku. K mazání jiných částí kola slouží jiná maziva. Například tlumiče se mažou mazivy s obsahem silikonu, aby těsnicí kroužky nepopraskaly.



Obrázek 3.4-1 Pračka na řetěz [38]

3.4.1 Vlastnosti maziv

Viskozita

Viskozita je jednou z hlavních veličin popisující vlastnosti reálných tekutin, a proto je důležitý faktor u tekutých maziv pro řetězy jízdních kol. Pokud mají v reálné kapalině dvě sousední vrstvy rozdílnou relativní rychlost, tak dochází na jejich rozhraní ke vzniku tření a smykového napětí. Newtonův zákon viskozity stanovuje vztah mezi smykovým napětím, dynamickou viskozitou a rychlostním gradientem.

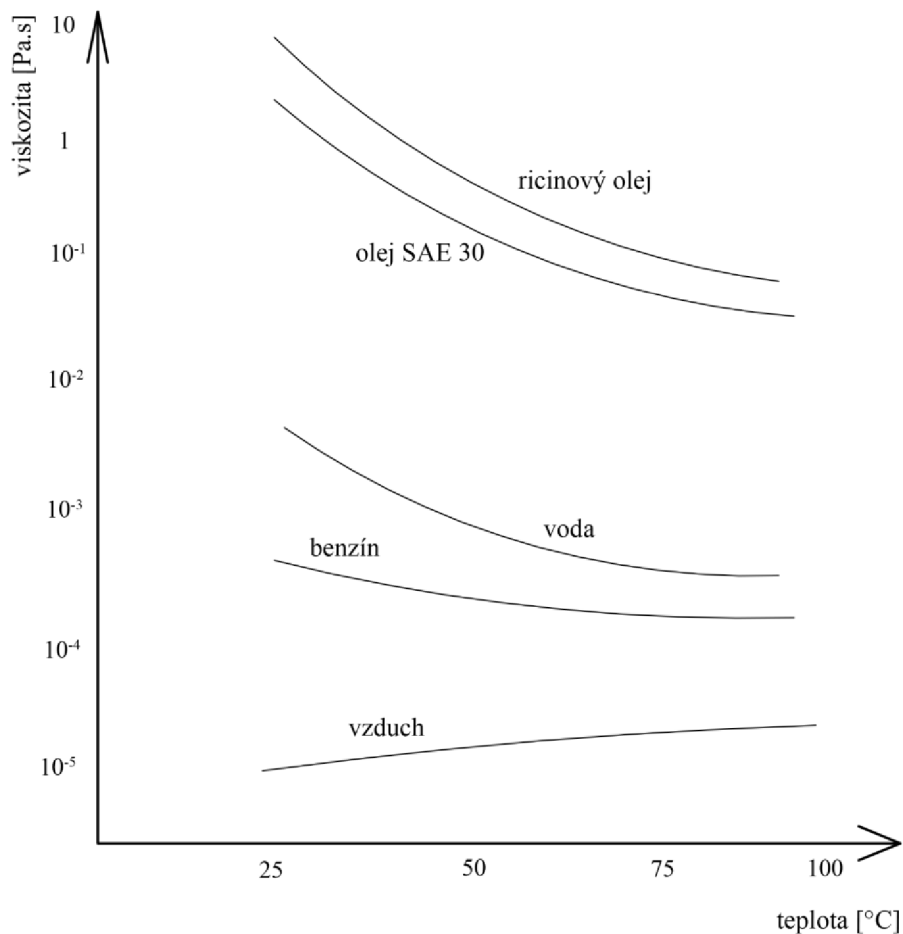
$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} \quad (3.2)$$

τ	[Pa]	smykové (tečné) napětí
η	[N·s·m ⁻²]	dynamická viskozita
v	[m·s ⁻¹]	rychlost toku
y	[m]	kolmá vzdálenost od smykové vrstvy
$\frac{dv}{dy}$	[s ⁻¹]	rychlostní gradient

Tento vztah platí pro newtonovské tekutiny. Dynamická viskozita je konstanta a smykové napětí je přímo úměrné rychlostnímu gradientu. K newtonovským tekutinám se řadí např. vzduch, voda nebo minerální oleje. Naproti tomu se např. kečup, med nebo krev řadí k newtonovským tekutinám, u kterých smykové napětí není přímo úměrné rychlostnímu gradientu a závisí na dalších materiálových konstantách. [6, 22, 23]

Dynamická viskozita

Vyjadřuje míru vnitřního tření tekutiny, je závislá na druhu látky, teplotě (obrázek 3.4-2) a tlaku. V kapalině s rostoucí teplotou klesá. Zároveň má velký vliv na formu mazací vrstvy. Tekutiny s nižší viskozitou jsou tekutější a mají menší vnitřní odpor proti toku či proudění. Hodnoty dynamické viskozity se určují experimentálně pomocí viskozimetrů. Rozměr dynamické viskozity vyplývá z Newtonova zákona viskozity [N·s·m⁻²], případně je [Pa·s]. [6, 22, 23]



Obrázek 3.4-2 Závislost viskozity na teplotě [6]

Kinematická viskozita

Pro popis tokových vlastností tekutin se z praktického hlediska zavedla tzv. kinematická viskozita, definovaná jako poměr dynamické viskozity a hustoty tekutiny při dané teplotě.

$$\vartheta = \frac{\eta}{\rho}$$

(3.3)

ϑ [m²·s⁻¹] kinematická viskozita

η [Pa·s] dynamická viskozita

ρ [kg·m⁻³] hustota kapaliny

[6, 22, 23]

Hustota

Hustota je fyzikální veličina, která vyjadřuje poměr hmotnosti a daného objemu určité látky. Hustota se často vyjadřuje pomocí relativní hustoty, například u mazacích olejů. Ta je definovaná jako poměr měrné hmotnosti dané látky a standardní látky (u mazacích olejů voda) při určité teplotě.

Teplota tuhnutí

Teplota tuhnutí je teplota, při které má kapalina tak velkou viskozitu, že se přestane pohybovat. Vystavením mazacích olejů nízkým teplotám dochází k procesu, který způsobí vylučování krystalů uhlovodíků, v případě syntetických olejů dochází k tuhnutí některých složek. Tento jev se děje před bodem tuhnutí a nazývá se bod zákalu. Pokud se dále snižuje teplota, podíl tuhých složek je větší než kapalných. Kapalným složkám je bráněno v pohybu, a olej tak přestává téct. Tato teplota se určuje experimentálně v laboratoři, avšak teploty, při kterých jsou funkční vlastnosti maziv zachovány, jsou zhruba o 10 až 15 °C vyšší. [24, 25]

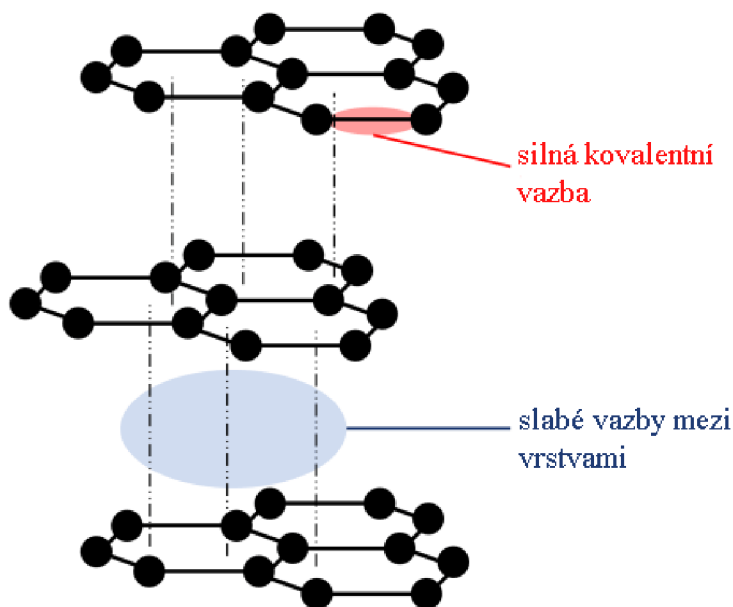
Biologická odbouratelnost

Je významná vlastnost z hlediska ochrany životního prostředí. Souvisí s rozložitelností látky biologickými procesy, například působením mikroorganismů v přírodě. Odbouratelnost ropných produktů je obecně špatná, například litr motorového oleje dokáže znehodnotit až milion litrů vody. [26] Proto je nutné správně likvidovat nebezpečné látky, nebo používat produkty z přírodních surovin. Na druhou stranu je biodegradabilita spojená s horší skladovací stabilitou a s odolností proti procesům stárnutí. [26]

3.4.2 Tuhá maziva

Tuhá nebo suchá maziva jsou látky pevného skupenství, které i přesto snižují tření mezi dvěma povrchy. Mají nepatrnou tvrdost, malou smykovou pevnost a afinitu ke kovům. Díky těmto vlastnostem si tuhá maziva zachovávají své vlastnosti i při vysokých teplotách a tlacích. Své fyzikální a chemické vlastnosti si drží až do mezních hodnot, kdy dojde k přeměně dané látky. Využívají se v případech, kdy není možnost použití olejů či mazacích tuků nebo jako jejich aditiva. Oproti tekutým mazivům mají vyšší součinitel tření, vyšší cenu a jsou také méně dostupná. Nejpoužívanějšími tuhými mazivy jsou grafit, sulfid molybdeničitý, polytetrafluorethylen (PTFE) a nitrid boru. [3, 5, 30]

Grafit má rovnoměrné šestiúhelníkové molekuly tvořeny atomy uhlíku (obrázek 3.4-3). Molekuly tvoří velký počet rovnoběžných vrstev, které jsou relativně daleko od sebe a jsou navzájem vázány slabou van der Waalsovou vazbou. Toto uspořádání vrstev způsobuje velkou příčnou pevnost, ale soudržnost v podélném směru je velmi slabá. Jednotlivé vrstvy se tak po sobě mohou snadno posouvat, a díky tomu má grafit jako mazivo malý třecí odpor. Grafit má lepší vlastnosti ve vlhkém prostředí, a není tak vhodný k použití ve vakuu. Snáší teploty až do 800 °C, přičemž nad teplotou 500 °C roste součinitel tření. Jako mazivo se vyrábí synteticky, nebo se upravuje vytěžený přírodní grafit. [3, 5]



Obrázek 3.4-3 Struktura grafitu [3]

Sulfid molybdeničitý má podobnou strukturu jako grafit. Jeho molekula se skládá ze dvou atomů síry a jednoho atomu molybdenu. Snadný skluz rovin v podélném směru umožňují slabé vazby v rovinách síra – síra. Roviny síry vedou k silné vazbě na kovové povrchy, díky čemuž se toto mazivo vyznačuje dobrými vlastnostmi. Snáší lépe vysoké tlaky a do 300 °C má menší součinitel tření než grafit. Při teplotách větších jak 400 °C se chemicky mění, a snižují se tak jeho mazací schopnosti. Jako mazivo se vyrábí úpravou vytěžené rudy. [3, 5, 27]

Polytetrafluorethylen neboli teflon je významný plast ze skupiny fluorových polymerů složený pouze z fluoru a uhlíku s vysokou pevností vazby. Nabízí velmi nízký koeficient tření, vysokou tepelnou stabilitu a dobré elektroizolační vlastnosti. Je také hydrofobní, biokompatibilní a odolný proti chemikáliím a rozpouštědlům, díky čemuž se využívá ve velkém množství aplikací. Jeho třecí vlastnosti jsou způsobeny snadným vzájemným pohybem makromolekul, obdobně jako u lamelárních struktur. [28, 29]

Nitrid boru je keramické mazivo s vrstvenou hexagonální formou podobnou grafitu. Je dražší alternativou v případě, kdy je chemická reaktivita a elektrická vodivost grafitu problémem. [31]

Tento typ maziv se nejčastěji používá ve formě prášku přímým nanášením, jako aditivum v plastických a olejových mazivech (například ve voscích), nebo jsou rozpuštěny v roztoku, který usnadňuje jejich nanesení do těžko přístupných míst. Po odpaření rozpouštědla vzniká na mazaném povrchu vrstva suchého maziva. [30] Je to například Joe's PTFE Lube. Výhodou tohoto typu mazání je malý koeficient tření a odolnost proti nachytávání nečistot na suchý řetěz. Je však snadno smývatelné vodou. Proto nejsou vhodné do mokřích podmínek, kde se životnost mazacího filmu zkracuje. Nevýhodou suchých maziv je, že není možnost mazání řetězu během cesty, protože pokud není dodržena doba vytvrzování, tak se mazivo rychle ztrácí a snadno se na něj nachytávají nečistoty.

Díky své odolnosti proti vyšším tlakům se tato maziva hodí pro řetězy elektrokol. Ta jsou vystavována většímu tlaku a točivému momentu než řetězy klasických kol, protože elektrické pohony přidávají 250 až 300 wattů k výkonu jezdce. Tento stálý vysoký výkon způsobuje vyšší míru opotřebení. [30]

3.4.3 Olejová maziva

Nejčastějším typem maziv kapalného skupenství jsou maziva olejová. Hlavní výhodou těchto maziv je umožnění kapalinového tření, odvádění tepla a nečistot mazacím okruhem. Podle způsobu výroby se mohou olejová maziva dělit na minerální, syntetická a biologická. [5, 14]

Velmi rozšířené **minerální oleje** se vyrábí rafinací ropy. Jedná se o směsi uhlovodíků, a tak je lze podle obsahu typu uhlovodíku dělit na parafinické, naftenické a aromatické. Viskozita minerálních olejů se liší podle teplot rafinace. Pro specializaci vlastností se do olejů přidávají aditiva. Takto upravené se nazývají zušlechťené oleje. Mohou mít například lepší vlastnosti při vysokých tlacích (zvýšená únosnost mezní vrstvy), větší odolnost proti chemickému stárnutí, odolnost proti pění, či určitou barvu. Minerální oleje jsou díky své cenové dostupnosti častým typem maziva v průmyslu pro mazání motorů, převodovek, ložisek i řetězů. Škodí však životnímu prostředí. [5, 14]

Syntetické oleje jsou uměle vyráběny z uhlovodíků nebo jiných chemikálií. Používá se chemická úprava ropných produktů místo rafinace ropy. Výrobou se snaží docílit složení, které poskytuje lepší vlastnosti než minerální oleje. Lze je tak použít v případech, kdy minerální oleje použít nelze. Například při mazání za extrémně nízkých a vysokých teplot (až 370 °C) a tlaků, při přítomnosti oxidačních činidel (nehoří a nevybuchují). V praxi se využívají u motorů se spalovací turbínou, u vakuových pump nebo u tryskových motorů. Existují 3 základní druhy syntetických olejů: syntetická uhlovodíková maziva, silikonové analogy uhlovodíků a organohalogeny. [7]

Hlavním důvodem pro výrobu **bioolejů** je zmenšení dopadu na přírodní prostředí. Jsou vyráběny z rostlinných olejů (ze slunečnicového, kokosového, palmového). Poskytují podobné vlastnosti jako minerální oleje bez škodlivosti na zdraví. Používají se hlavně v potravinářském a zdravotním průmyslu. [14]

Aditiva olejových maziv

Aditiva přidávaná do olejů se dají rozdělit do skupin, které upravují mazací povrch, olej chrání a zlepšují jej.

Přísady s povrchovým účinkem

- **Detergenty** – jsou látky, které zabraňují ulpívání nečistot a způsobují lepší přilnutí maziva na mazaný povrch
- **Disperzanty** – jsou látky, které se využívají při nižších provozních teplotách, obalují mikroskopické nečistoty a zabraňují tvorbě jejich usazenin.
- **Zvyšující ochranu proti korozi** – tato aditiva vytváří ochranný film na povrchu kovů, který zabraňuje jejich oxidaci
- **Zlepšující ochranu proti vysokému tlaku a opotřebení** – tato aditiva vytváří ochrannou vrstvu chemickou reakcí, a nedochází tak ke kontaktu kov na kov. Využívají se například pro mazání ozubených kol, protože zde tření probíhá pod vysokým tlakem.

Přísady chránící olej

- **Zpomalovače stárnutí** – jejich působením dochází k neutralizování oxidačních činidel, a tak zamezují vzniku nežádoucích chemických sloučenin, které degradují vlastnosti maziv.
- **Deaktivátory kovů** – vytváří ochrannou vrstvu okolo mikroskopických částic kovů (ocel, měď) přítomných v mazivu, a zabraňují tak katalytickým chemickým reakcím, které urychlují stárnutí maziva
- **Snižující pěnovost** – tato aditiva potlačují vznik pěny, která usnadňuje oxidaci maziva. Jsou to látky například na bázi silikonu.

Přísady zlepšující olej

- **Zlepšující viskozitu** – jsou to látky zlepšující stabilitu viskozity, která je pak méně závislá na teplotě a mazivo má stejné vlastnosti při větším teplotním rozsahu.
- **Depresanty** – zamezují vylučování a shromažďování parafinů za nízkých teplot u minerálních olejů a snižují bod tuhnutí
- **Chránící elastomery** – zamezují vyplavení změkčovadel a chemické degradaci elastomerů, které jsou obsaženy v gumových a plastových dílech (zajišťují jejich pružnost). Maziva pak lze použít i přes jejich kontakt. [28]

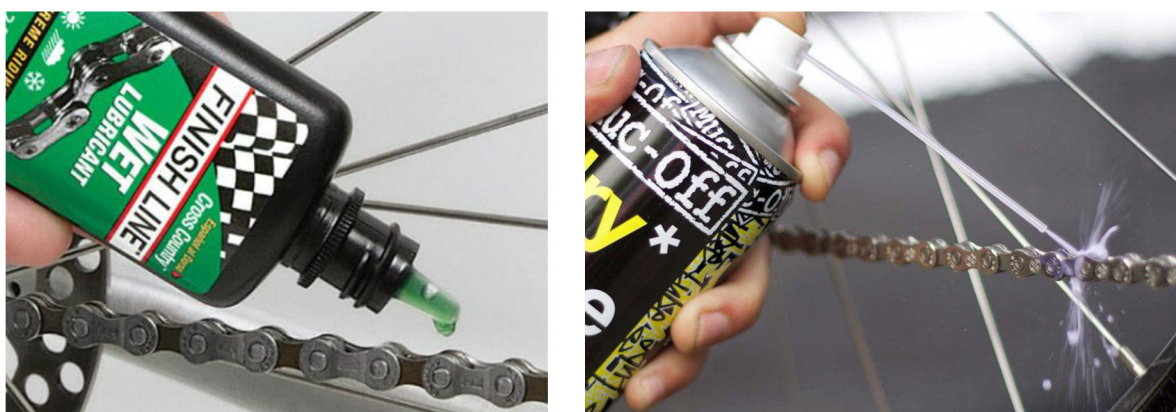
Olejevá maziva na řetězy jízdních kol jsou na trhu nejrozšířenější. Podle jejich použití se dají rozdělit do dvou základních skupin na řidší a hustší. Dále se dělí podle přidaných aditiv. Aplikují se pomocí kapátkových dávkovačů nebo spreji (obrázek 3.4-4).

Řidší maziva jsou vhodná do suchých podmínek, ve kterých je riziko znečištění řetězu především od prachu. Ten se na mazivu díky nižší hustotě hůře zachytává, a nedochází tak ke zbytečnému opotřebení řetězu a dalších součástí. Avšak rychlost vysychání a odolnost proti vodě se negativně projevuje na výdrži mazacího filmu, proto je nutné zkrátit intervaly mezi obnovou mazacího filmu. Zástupce řidšího maziva je například Absolute Dry Lube od firmy Rock N Roll. Toto mazivo je určeno hlavně pro silniční cyklistiku, která se provozuje na pevném a relativně čistém povrchu. Pro jízdu na nezpevněných prašných cestách nebo v lese je vhodnější například WD-40 Specialist Bike Dry.

Do mokrých podmínek, ve kterých je na mazivo vystaveno působení vody a možnosti znečištění řetězu od bláta, nebo do zimního období, kdy je možnost, že se na řetěz nachytá posypová sůl, jsou vhodné **oleje s větší hustotou**. Ty více lepí, a tak déle vydrží na řetězu i při působení vody. Mazací film má delší životnost a je zajištěna ochrana proti korozi. Hustší oleje jsou také lepší na dlouhé trasy, protože nevysychají tak rychle jako řídké oleje, nebo jako ochranná vrstva při uskladňování přes zimní období. Takové oleje jsou například Motorex Wet Protect, Finish Line Cross Country nebo MUC-OFF Wet.

Pro elektrokola se tak hodí použít například Finish Line e-Bike. Obsahuje aditiva, která umožňují mazivu snášet vyšší tlaky od přidaného výkonu elektromotoru.

Pro cyklistiku v přírodě nebo na území chráněných oblastí, kde by mohlo dojít ke kontaminaci řek nebo ohrožení vzácných rostlin či živočichů, existuje řada biologicky rozložitelných maziv. Patří k nim například Weldtite Pure Wet nebo Star Bio Lube. Tyto oleje jsou vyrobeny z rostlinných olejů, přičemž obsahují aditiva, díky kterým mají podobné vlastnosti jako oleje vyrobené z ropy. [30, 38, 39]



Obrázek 3.4-4 Ukázka aplikátorů [38]

3.4.4 Nanomaziva

Nanomaziva vznikají použitím nanočástic jako aditiv v olejových mazivech. Nanočástice lze dělit podle struktury na cibulové a micelární struktury a nanovlákná. Mají rozměry mezi 1 až 100 nm v kterémkoli směru. To způsobuje, že mají jiné fyzikálně-chemické chování, než jaké pozorujeme u struktur běžné velikosti. Malé rozměry částic snižují rychlost sedimentace, a to zvyšuje stabilitu suspenze. Rychlost sedimentace lze snížit také vyšší viskozitou olejového základu, vyšší teplotou nebo rozdílem hustot pevné a kapalné fáze. Nanomaziva lze vyrábět jednostupňovou metodou, kdy nanočástice vznikají chemickým procesem přímo v mazivu nebo dvoustupňovou metodou. Při ní se nejdříve chemicky zpracují nanočástice do suchého prášku, který se později rozptýlí v olejovém základu. [7, 14, 15, 16]

Materiály, které se používají na výrobu částic do nanomaziv, jsou kovy (Cu, Bi, Sn, Ni, Fe, Co, Al), oxidy kovů (TiO_2 , CuO, ZnAl_2O_4), sulfidy (MoS_2 , WS_2 , FeS, CuS), částice na bázi uhlíku a nanokompozity. Mechanismy, které ovlivňují tribologické vlastnosti lze dělit do dvou skupin. První je přímé působení nanočástic na zlepšení mazání. Zde patří efekt kuličkového ložiska, při kterém se nanočástice valí mezi kontaktními plochami a převádí čistě kluzné tření na kombinaci kluzného a valivého tření. Další efekt je tvorba ochranného filmu, který vzniká reakcí mezi nanočásticemi a kontaktními povrchy a zajišťuje lepší mazání. Druhá skupina jsou mechanismy, které mají vliv na kvalitu mazaného povrchu. Zde patří leštění a opravování stykových ploch. [7, 14, 15, 16]

Vývoj nanočástic je poměrně nový, a proto rozšíření nanomaziv není tak velké. Přispívá tomu i náročná příprava částic a stabilizace jejich koloidních roztoků. V praxi se nejvíce uplatnili nanostruktury měkkých kovů, dusulfidů a diselenidů kovů. Využívají se jako aditiva pro motorové a převodové oleje, kde přispívají ke snížení spotřeby paliva a snížení opotřebení. [16]

3.4.5 Maziva na bázi vosku

Maziva na bázi vosku se dají rozdělit do dvou skupin. První skupina jsou tekutá maziva s obsahem vosku v emulzi vody. Ta se po nanesení dostanou mezi třecí plochy a po odpaření přebytečné vody mezi nimi zůstane pouze tuhý film vosku. Skládají se z vysokomolekulárních syntetických uhlovodíků, přísad a oleje. K takovým mazivům se řadí například Squirt Chain Wax. Druhou skupinou jsou tuhé vosky. Zástupce této skupiny je parafin na výrobu svíček, který se nanáší na řetěz pomocí lázně (obrázek 3.4-5). Parafin se rozpustí okolo teploty 65 °C a řetěz se do něj vkládá čepy kolmo ke dnu. Po vyjmutí se přebytečný vosk nechá okapat a zbytek zaschnout. Na trhu se dají koupit také speciální tuhé vosky na bázi parafinu s přidanými aditivami, jako jsou PTFE (teflon) nebo zinek. Ty se nanáší na řetěz v tuhé formě a není potřeba je rozehtívat. Tento vosk je například Wax-On od firmy Wend. Hlavní výhodou maziv na bázi vosku je nízký koeficient tření a čistota řetězu a celého pohonného ústrojí, protože nevzniká šmír jako u olejových maziv. Díky své struktuře na nich neulpívají nečistoty a zajišťují tichý chod řetězu. Hlavní nevýhoda je nutnost aplikace na čistý a odmaštěný povrch, náročnější aplikace a sušení řetězu po jízdě v mokru, protože vosk neposkytuje tak dobrou ochranu proti korozi jako olejová maziva. [17, 18, 19]



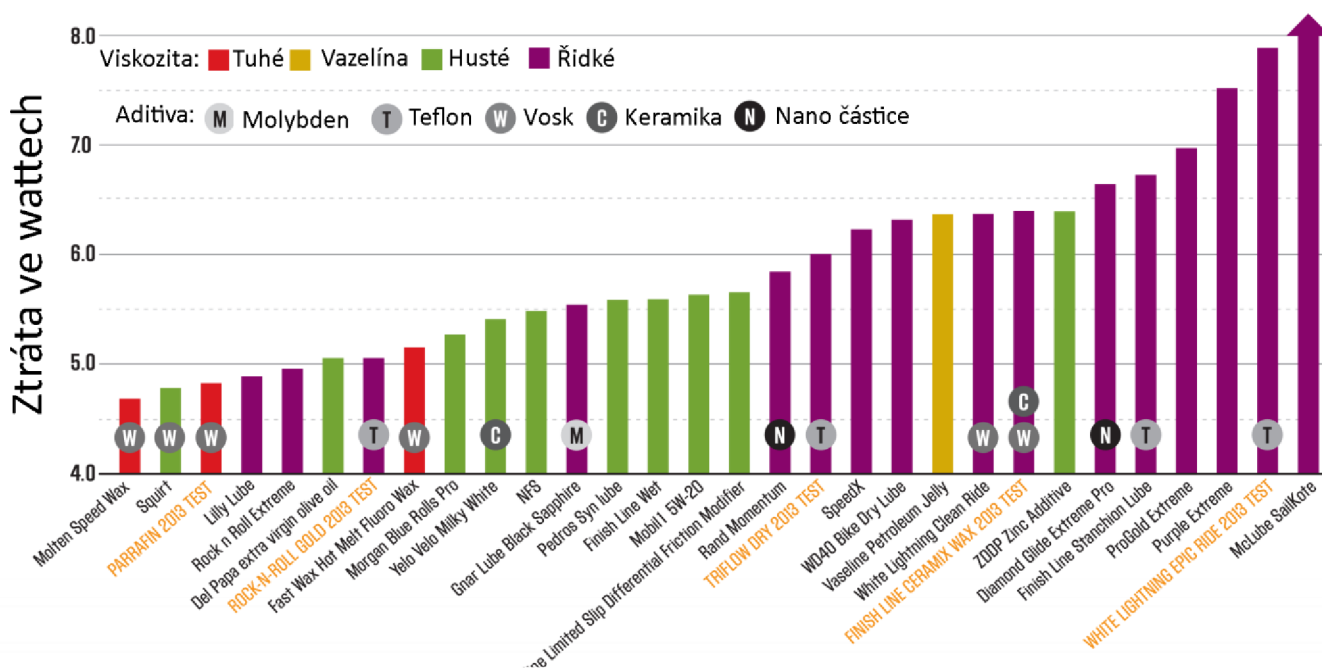
Obrázek 3.4-5 Nalevo parafínová lázeň, napravo kapátkový aplikátor [38]

4 DISKUZE

V práci byly uvedeny a popsány druhy maziv používaných pro mazání řetězů jízdních kol. Podle jejich charakteristických vlastností jsou rozděleny na suchá, olejová, vosková a nanomaziva. Při výběru druhu maziva by si každý uživatel měl uvědomit, jak velkou péči hodlá svému kolu věnovat.

Požizovací cena nehraje při výběru hlavní roli, protože spotřeba maziva je velmi malá a jedno balení při správném dávkování vystačí na stovky kilometrů. Cenové rozdíly za 100 ml jednotlivých druhů maziv jsou obecně téměř zanedbatelné. To však neznamená, že na trhu neexistují maziva za vysoké ceny.

V modelové situaci pojedje cyklista (váha těla 80 kg, váha kola 15 kg, aerodynamický odpor 0,7), stálým výkonem 250 W trasu do kopce s délkou 4000 m a s převýšením 300 m 1236 sekund. Pokud ztráty vzniklé třením v řetězu činí 5 W, čas jízdy se prodlouží na 1257 sekund. Při ztrátách 10 W doba výjezdu vzroste na 1278 sekund. Z výsledků redakce VeloLab (obrázek 4-1), která se zabývala měřením ztrát v řetězu způsobených třením při použití různých maziv, lze vyvodit závěr, že rozdíly mezi ztrátami jednotlivých maziv jsou pro většinu cyklistů nepostřehnutelné, avšak ve vrcholové cyklistice tyto rozdíly mohou pomoci k vítězství. Ovšem rozdíl mezi řetězem s mazivem a řetězem bez něj je veliký. Test také ukazuje, že pro nejlepší výkony je vhodné použít parafín či speciální vosková maziva, nebo řídké oleje.



Obrázek 4-1 Ztráty způsobené třením v řetězu při stálém výkonu 250 W [40]

Zásadní parametry, které ovlivňují chování maziv je hustota a viskozita. Každá značka má své specifické složení, a kvůli tomu se liší i jejich hustoty a viskozity. V tabulce 4-1 jsou zobrazeny hodnoty udávané výrobcí a lze tak porovnat, jak moc se jednotlivá maziva liší.

Tabulka 4-1 Porovnání hustoty a viskozity různých druhů maziv

Název	Hustota při 20 °C [g/l]	Viskozita při 20 °C [mm ² /s]
Voda	997	1
Rock N Roll Absolute Dry	797	0.1
WD-40 Specialist Bike Dry	778	4,5
Motorex Wet Protect	886	27
Finish Line Cross Country	847	25
MUC-OFF Wet	927	7
Finish Line e-Bike	798	-
Med	1360	73,6

Nejsnadnější možnost pro méně náročného uživatele shledávám v mazání pomocí olejů s větší hustotou s kapátkovým aplikátorem. Hodí se téměř do všech podmínek, a pokud není řetěz znečištěn, je dostačující doplňovat vysychající vrstvu. Přičemž plně stačí mazat pouze jedním olejem. Kapátko zajistí přesné množství a přesnost dávkování. Těmito mazivy jsou řetězy dobře chráněny proti korozi, jsou tiché a jejich vliv na efektivitu je srovnatelný s voskovými mazivy.

Pro cyklisty, kteří vlastní kola se špičkovými a cenově náročnějšími komponentami, je zásadní jejich dlouhá životnost. Ta bude docílena správným používáním více druhů maziv, které pokryjí všechny podmínky, ve kterých se cyklista bude pohybovat. Tímto způsobem budou zaručeny mazací a ochranné vlastnosti garantované výrobcí.

Opotřebením řetězů, i při jejich správném mazání, nelze zabránit. Nabízí se tak možnost použít jiný pohonný systém. V dnešní praxi lze využít například řemenový pohon, u něhož je použita planetová převodovka s uzavřeným mazáním, a není tak potřeba náročná údržba. V současnosti firma CeramicSpeed vyvíjí mechanismus, který využívá hřídel a k ní kolmá ozubená kola. Tento systém slibuje lepší aerodynamiku, velký rozsah převodových poměrů a snadnou údržbu. Avšak tyto systémy jsou dražší než pohony s řetězem.

5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo podat ucelený přehled maziv pro řetězy jízdních kol včetně doporučení pro jejich použití v praktických aplikacích.

První část práce obsahuje informace o tření, režimech mazání, součástkách a opotřebení v řetězech. Základní části, ze kterých se skládají řetězy, jsou vnitřní a vnější destičky spolu s čepem, jež je spojuje. Pro lepší styk se zuby zabírajících kol, jsou použity volně uložené valečky na pouzdrech vnitřních destiček. Hlavní třecí síly vznikají mezi čepy a pouzdry vnitřních destiček. Jejich velikost se odvíjí od napětí v řetězu vznikající přenášením výkonu cyklisty na kazetu zadního kola. Proto dochází k největšímu abrazivnímu opotřebení právě na těchto částech.

Pro eliminaci tření a opotřebení v řetězech se mezi jejich pohyblivé části aplikuje mazivo. Vzhledem k absenci krytu není možné udržovat větší množství maziva na řetězu. Jednak je mazivo vytlačováno a nelze ho během provozu neustále doplňovat. Zároveň je větší množství škodlivé, protože je náchylnější na znečištění, což vede ke zrychlení opotřebení součástí pohonu. K zachytávání nečistot jsou díky své kapalné konzistenci nejvíce náchylná olejová maziva. Oleje se dělí podle použití a podle své hustoty, přičemž řidší oleje jsou spíše do suchého prostředí, zatímco hustší pasují do mokrých podmínek. Kromě minerálních a syntetických olejů se používají také biologicky rozložitelné oleje. V olejích jsou použita různá aditiva, která zlepšují jejich vlastnosti. Při disperzi částic menších jak 100 nm, se pak nazývají nanomaziva. Nejčastěji se používají nanočástice z různých kovů, oxidů kovů nebo sulfidy. Další možnost mazání je pomocí tuhých a voskových maziv. Ty zajišťují výrazně větší čistotu pohonného systému kola než olejová maziva, protože jsou na dotek suchá a nejsou tolik lepkavá. Na druhou stranu jsou náchylnější na kontakt s vodou.

Pokračováním této bakalářské práce by mohlo být experimentální porovnání jednotlivých maziv při různých zátěžových režimech.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Klimeš, Pavel. Části a mechanismy strojů. Brno: Akademické nakladatelství cerm, 2003. ISBN 80-214-2422-2.
- [2] provoz, diagnostika a údržba strojů. Ostrava: Vysoká škola Báňská – technická univerzita Ostrava fakulta strojní, 2013. ISBN ISBN 978-80-248-3028-5.
- [3] Bhushan, Bharat. Introduction to tribology. New York: Wiley, 2002, 732 S. ISBN 0471158933.
- [4] Tribologická analýza „pin-on-disc“. ZČU oddělení povrchového inženýrství [ONLINE]. 2005 [CIT. 2021-03-29]. DOSTUPNÉ Z: https://www.opi.zcu.cz/tribologicka_analyza_pin-on-disc.pdf
- [5] Šafr, Emil. Technika mazání. Praha: SNTL, 1964, 332 S.
- [6] Konstruování strojních součástí. BRNO: VUTIUM, 2010. ISBN 9788021426290.
- [7] Stachowiak, G. W. a A. W. Batchelor. Engineering tribology [online]. Fourth edition. Amsterdam: Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, [2014] [cit. 2021-03-29]. ISBN 978-0-12-397047-3. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpETE00005/engineering-tribology/engineering-tribology>
- [8] Součásti točivého a přímočarého pohybu. SPŠ a VOŠT – Sokolská Brno [online]. 2012 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: http://domes.sokolska.cz/web/dumy/sps,%20mec,%20cad/vy_32_inovace_14-02.pdf
- [9] Konstruování strojů: Přednáška 4 [online]. [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/249309/mod_resource/content/2/5KS_Prednaska4_nahled.pdf
- [10] Efficiency Estimation of Roller Chain Power Transmission System [online]. 2020 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.3390/app10217729>
- [11] SIL-TEC. Shimano bike COMPONENTS [ONLINE]. [CIT. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://bike.shimano.com/cs-cz/technologies/component/details/sil-tec.html>
- [12] XX1 eagle chain. Sram [ONLINE]. [CIT. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.sram.com/en/sram/models/cn-eagl-xx1-a1>
- [13] Kompozitní povlaky chemického niklu. Povrcháři [ONLINE]. 2010 [CIT. 2021-03-30]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201007_povrchari.pdf
- [14] A study on the tribological performance of nanolubricants. MDPI [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/11/1372>

- [15] Martin, Jean Michel. Nanolubricants. New York: John Wiley & sons, incorporated, 2008. ISBN 9780470987704.
- [16] Nanomaziva a jejich praktické aplikace. Tribotechnika [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12016/nanomaziva-a-jejich-prakticke-aplikace.html>
- [17] Why squirt chain lube works. Squirt cycling products [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://squirtcycling.us/pages/how-the-lube-works>
- [18] Nové mazivo řetězů wend waxworks. Velosport [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.velosport.cz/nove-mazivo-retezu-wend-waxworks>
- [19] Voskování řetězu. MTBiker [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.mtbiker.sk/clanky/123686/voskovani-retezu-jak-na-to.html>
- [20] Kdy vyměnit řetěz na kole? We love cycling [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.welovecycling.com/cs/2020/07/19/kdy-vymenit-retez-na-kole/>
- [21] How to know when it's time to replace your bicycle chain. Bikeradar [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.bikeradar.com/features/how-to-know-when-its-time-to-replace-your-bicycle-chain/>
- [22] Viskozita tekutin a její měření. Vysoká škola Báňská – technická univerzita Ostrava [online]. 2010 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/wp-content/uploads/2016/03/janalik-textviskozitapdf.pdf>
- [23] Fundamentals of fluid film lubrication. Mechanical engineering [online]. New York: American society of mechanical engineers, 1992, 114(4), 91 [cit. 2021-04-10]. ISSN 00256501. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/1913309056/>
- [24] Tribotechnické mýty. Oleje.cz svět maziv [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/tribotechnicke-myty>
- [25] Ondrouch, Dušan. Přehled průmyslových olejů. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v brně. Vedoucí práce Ing. Petr Šperka, Ph.d.
- [26] Biologická odbouratelnost. Petroleum [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/slovník.aspx?pid=56>
- [27] Namazat na sucho stačí jen jednou. Techmagazín [online]. 2015 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/2236>
- [28] Oleje – svět maziv [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/>
- [29] Crystalline orientation assessment in transversely isotropicsemicrystalline polymer: application to oedometriccompaction of PTFE. Polymer engineering. 2020. Dostupné z: doi:10.1002/pen.25561

- [30] Bicycle chain lubricants – explained. Bikegremlin [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://bike.bikegremlin.com/1986/bicycle-chain-lubricants-explained/#7>
- [31] Nitrid boru. Qaz wiki [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: https://cs.qaz.wiki/wiki/boron_nitride
- [32] Donald Kidd Beng, matthew. Bicycle chain efficiency. Edinburgh, 2000. Doktorská práce. Heriot-Watt University.
- [33] Regime change. The process technology [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.processtechacademy.com/regime-change-lubrication-style/>
- [34] Distrelec [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.distrelec.cz/>
- [35] Electricitybikes [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.electricitybikes.com/>
- [36] GIGA GKP [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <http://gidagkp.org/>
- [37] Diamond [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.diamondchain.com/understanding-wear-life/>
- [38] Kupkolo [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.kupkolo.cz/>
- [39] Test maziv. Cykl [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://cykl.cz/item/megatest-maziv>
- [40] Chain lube efficiency test. Ceramic speed [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.ceramicspeed.com/media/3505/velonews-friction-facts-chain-lube-tests-combined.pdf>
- [41] E-konstrukter [online]. Dostupné také z: <https://e-konstrukter.cz/>

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

Λ	parametr mazání
h_{\min}	minimální tloušťka filmu
R_{qa}	průměrná kvadratická úchylka profilu tělesa a
R_{qb}	průměrná kvadratická úchylka profilu tělesa b
N_l	normálová síla
T_C	napětí
F_1, F_1', F_2	třecí síly
Θ	úhel natočení čepu
τ	smykové (tečné) napětí
η	dynamická viskozita
v	rychlost toku
y	kolmá vzdálenost od smykové vrstvy
$\frac{dv}{dy}$	rychlostní gradient
ϑ	kinematická viskozita
η	dynamická viskozita
η	hustota kapaliny

8 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obrázek 3.1-1 Konformní povrchy [6]	16
Obrázek 3.1-2 Nekonformní povrchy [6].....	16
Obrázek 3.2-1 Mazací vrstva v režimech mazání [33]	18
Obrázek 3.2-2 Stribeckova křivka [6].....	19
Obrázek 3.3-1 Jedno a víceřadé řetězy [34,38]	20
Obrázek 3.3-2 Stavba řetězu [36].....	21
Obrázek 3.3-3 Pohonné ústrojí na jízdním kole [35]	21
Obrázek 3.3-4 Rozložení sil mezi čepem a pouzdem [10].....	22
Obrázek 3.3-5 Rozložení sil mezi pouzdem a válečkem [10]	23
Obrázek 3.3-6 Rozložení sil při vyosení řetězu [32]	23
Obrázek 3.3-7 a) čep-pouzdro; b) váleček-pouzdro; c) vnitřní a vnější destička [32]	24
Obrázek 3.3-8 Zobrazení opotřebení řetězu [37].....	25
Obrázek 3.4-1 Pračka na řetěz [38]	26
Obrázek 3.4-2 Závislost viskozity na teplotě [6].....	28
Obrázek 3.4-3 Struktura grafitu [3]	30
Obrázek 3.4-4 Ukázka aplikátorů [38].....	33
Obrázek 3.4-5 Nalevo parafínová lázeň, napravo kapátkový aplikátor [38]	35
Obrázek 4-1 Ztráty způsobené třením v řetězu při stálém výkonu 250 W [40]	36

9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 3-1 Koeficienty smykového tření pro různé materiály [41]	14
Tabulka 3-2 Koeficienty tření pro jednotlivé druhy tření [41].....	15
Tabulka 3-3 Režimy mazání pro určité hodnoty parametru mazání [9]	20
Tabulka 4-1 Porovnání hustoty a viskozity různých druhů maziv	37