

Univerzita Pardubice

Fakulta dopravní Jana Pernera

Hodnocení tuhých maziv pro kontaktní zatížení kolo-kolejnice

Jan Verner

Bakalářská práce

2013

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Verner**
Osobní číslo: **D10384**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury:
Ochrana životního prostředí v dopravě**
Název tématu: **Hodnocení tuhých maziv pro kontaktní zatížení kolo-kolejnice**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Stručný přehled poškození kontaktních ploch kol a kolejnic.
2. Představení tekutých a tuhých maziv, vliv na abrazivní a adhezivní opotřebení, otázka kontaminace prostředí.
3. Návrh metodiky testování vybraných parametrů tuhých maziv.
4. Návrh a ověření vhodných přípravků pro zkoušky.
5. Provedení srovnávacích testů.
6. Vyhodnocení realizovaných zkoušek, posouzení jejich vhodnosti pro rychlé rozlišení rozdílů tuhých maziv.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího diplomové práce

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

1. Firemní literatura fy Kelsan Technologies Corp.
2. Předpis ČD S 67 Vady a lomy kolejnic
3. PTÁČEK Luděk: Nauka o materiálu II. Brno: CERM, 1999. 350 s. ISBN 80 - 7204 - 130 - 4.
4. Puškár A., Hazlinger M.: Porušovanie a lomy súčastí, Žilinská univerzita, 2000

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání bakalářské práce: 15. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: 23. května 2013

prof. Ing. Bohumil Culek, CSC.
děkan

L.S.

doc. Ing. Miroslav Tesař, CSC.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2013

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 29. 5. 2013

Jan Verner

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji všem, kteří mi ochotně pomáhali při psaní mé bakalářské práce. Zvláštní poděkování patří vedoucímu bakalářské práce za odbornou pomoc při konzultacích doc. Ing. Evě Schmidové, Ph.D. Dále bych chtěl poděkovat za cenné rady a podklady poskytnuté při zpracování této bakalářské práce doc. RNDr. Jaroslavě Machalíkové, CSc.

ANOTACE

Práce je věnována hodnocení tuhých maziv pro kontaktní zatížení kolo-kolejnice. Navrhuje novou metodiku pro rychlou analýzu vybraných tuhých maziv. Práce se dále zabývá návrhem a hodnocením vhodných přípravků na zkoušku. Součástí je i provedení, vyhodnocení a posouzení vhodnosti zkoušek pro rychlé rozlišení rozdílů tuhých maziv.

KLÍČOVÁ SLOVA

tuhá maziva, opotřebení, kontakt kolo-kolejnice, analýza, metodika

TITLE

Evaluation of solid lubricants for contact load wheel-rail

ANNOTATION

The work is dedicated to the evaluation of solid lubricants for contact wheel-rail loads. It proposes a new methodology for the rapid analysis of selected solid lubricants. The paper focuses on the design and evaluation of suitable preparations for the exam. It also includes the design, evaluation and assessment of the suitability test for the rapid resolution of differences in solid lubricants.

KEYWORDS

solid lubricants, wear, wheel-rail contact, analysis, methodology

Obsah

SEZNAM TABULEK	8
SEZNAM GRAFŮ	8
SEZNAM ILUSTRACÍ	9
0 Úvod	10
1 Přehled poškozování kontaktních ploch kol a kolejnic	11
1.1 Zatřídění vad a lomů	11
1.2 Kategorizace vad	12
1.3 Vady a lomy kolejnic	13
2 Představení tekutých a tuhých maziv, vliv na abrazivní a adhezní opotřebení, otázka kontaminace prostředí.....	18
2.1 Rozdělení maziv.....	18
2.1.1 Tekutá maziva	18
2.1.1.1 Základové oleje	18
Přehled typů základových olejů	19
2.1.1.2 Příspěvy.....	19
2.1.2 Tuhá maziva	20
2.1.2.1 Rozdělení tuhých maziv.....	21
2.1.2.2 Produkty s obsahem pevných maziv	24
2.2 Opotřebení třecích ploch	25
2.2.1 Druhy opotřebení.....	26
2.2.1.1 Vliv na abrazivní opotřebení	26
2.2.1.2 Vliv na adhezní opotřebení	26
2.3 Otázka kontaminace prostředí.....	27
3 Návrh metodiky testování vybraných parametrů tuhých maziv.....	31
3.1 Návrh a ověření vhodných přípravků pro zkoušky.....	32
3.2 Provedení srovnávacích testů	34
3.3 Vyhodnocení realizovaných zkoušek, posouzení jejich vhodnosti pro rychlé rozlišení rozdílů tuhých maziv	39
4 Závěr.....	42

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Význam vad kolejnic [vlastní]

Tab. 1.2 Informace o vadě [vlastní]

Tab. 1.3 Kategorizace vad [vlastní]

Tab. 2.1 Základní vlastnosti grafitu a MoS₂[1]

Tab. 3.1 Sledované parametry zkoušky [vlastní]

Tab. 3.2 Střední hodnoty vtisků a tvrdostí [vlastní]

SEZNAM GRAFŮ

Graf. 3.1 Hmotnostní úbytek vzorků tuhých maziv [vlastní]

Graf. 3.2 Hmotnostní úbytek vzorku A v závislosti na ujeté vzdálenosti v km [vlastní]

Graf. 3.3 Hmotnostní úbytek vzorku B v závislosti na ujeté vzdálenosti v km [vlastní]

SEZNAM ILUSTRACÍ

- Obr. 1.1 Křehký lom bez zřejmé příčiny [4]
- Obr.1.2 Lom vzniklý z mechanického poškození nebo opotřebení [4]
- Obr. 1.3 Lom iniciovaný kontaktně únavovými vadami [4]
- Obr. 1.4 Vlnkovitost kolejnice a skluzové vlny [4]
- Obr. 1.5 Boční opotřebení hlavy kolejnice [4]
- Obr. 1.6 Šikmé trhliny pojížděné hrany [4]
- Obr. 1.7 Odlupování materiálu z pojížděné hrany [4]
- Obr. 1.8 Odlupování materiálu na hraně pojížděné plochy [4]
- Obr. 1.9 Místa vybroušená jednorázovým prokluzem [4]
- Obr. 1.10 Místa vybroušená opakovanými prokluzy [4]
- Obr. 2.1 Krystalická struktura grafitu a sulfidu molybdeničitého [5]
- Obr. 2.2 Základní druhy opotřebení [9]
- Obr. 2.3 Biologické rozložení maziva [7]
- Obr. 2.4 Minerální olej a PAO na vodní hladině [7]
- Obr. 2.5 Maziva na bázi esteru na vodní hladině [7]
- Obr. 3.1 Zařízení pro simulaci zatížení v systému kolo-kolejnice [vlastní]
- Obr. 3.2 Systém upnutí a souběžného zatížení testovaných vzorků maziv [vlastní]
- Obr. 3.3 Vzorky zatížené závažím [vlastní]
- Obr. 3.4 Přípravek na upevnění vrtaček s brusnými kotouči [vlastní]
- Obr. 3.5 Průběžné čištění kontaktních ploch [vlastní]
- Obr. 3.6 Tuhá tyčinka maziva [vlastní]
- Obr. 3.7 Řez tuhým mazivem [vlastní]
- Obr. 3.8 Štítek ze zkušebního kola [vlastní]
- Obr. 3.9 Vyložení vzorků při zkoušce [vlastní]
- Obr. 3.10 Tvrdoměr [vlastní]
- Obr. 3.11 Schéma tvrdoměru [vlastní]
- Obr. 3.12 Provedené vtisky do zkušebních vzorků [vlastní]
- Obr. 3.13 Povrch vzorku „A“ po experimentálním zatěžování [vlastní]
- Obr. 3.14 Povrch vzorku „B“ po experimentálním zatěžování [vlastní]

0 Úvod

V důsledku pokroku techniky a technologií vzrůstají požadavky na nové i dosud známé materiály. S tím souvisí i zvyšování požadavků na maziva. Pomocí maziv se snažíme docílit očekávaných parametrů v kontaktu dvou materiálu, nejčastěji pozitivně ovlivnit součinitel tření, abrazivní opotřebení, vývin a odvod tepla apod. Úkolem je pak zvyšování výkonnosti, odolnosti, spolehlivosti, životnosti a v dnešní době také ekologičnosti. Tyto aspekty kladou na maziva velké nároky a je nutností vyhledávat a vyvíjet nové kombinace, směsi a speciální příměsi k tvorbě nových, někdy zcela inovativních druhů maziv.

Toto je i případ tuhých maziv, „že dříve vyhovující standardní mazací oleje nebo plastická maziva jsou v podobných případech nahrazována speciálními produkty obsahující ve své struktuře pevná maziva jako inovativní prvek nebo jsou zcela nahrazována vybranými pevnými mazivy“.[2]

S tuhými mazivy se můžeme setkat i v kolejové dopravě a to konkrétně například v pražském metru. Cílem této bakalářské práce bylo právě zhodnotit vzorky tuhých maziv, používaných na modifikaci tření v kontaktu kolo -kolejnice.

Výrobky obsahující pevná maziva jsou často využívána k problematice smíšeného mazání, kdy jsou kluzné povrchy zatěžovány vysokým měrným tlakem, ale také v kritických situacích. To znamená, že mazivo musí plnit požadovanou funkci v širokém spektru teplot nebo pracuje při extrémně vysokých teplotách. S těmito případy se můžeme setkat například v leteckém nebo raketovém odvětví.

Mazání za sucha s použitím pevných maziv je také vyžadováno v jaderných reaktorech, ve vysokém vakuu, v agresivním prostředí nebo v případech, kde znečištění mazacím olejem nebo plastickým mazivem je nepřípustné.

1 Přehled poškozování kontaktních ploch kol a kolejnic

Rozvoj kolejové dopravy je doprovázen zvyšováním zátěžových parametrů na nápravu. Rostou také nároky na kvalitu železničního svršku. Vady a lomy kolejnic zjišťované v provozu, je nutno jednotně a srozumitelně klasifikovat pro stanovení příčin. Sjednocená klasifikace zjednodušuje statistické zpracování dat a umožňuje nám stanovit tak nejlepší a nejekonomičtější dlouhodobý plán údržbových a opravných prací.

Z hlediska použití maziv v kontaktu kolo-kolejnice je vyhodnocení konkrétního poškození a případné přiřazení v rámci uvedené klasifikace vad důležitým zdrojem informací při návrhu vhodného způsobu mazání, nebo při vyhodnocení jeho vlivu v provozu. Rozhodujícím parametrem pro tato posouzení je především podíl abrazivně-adhesivního opotřebení a tendence tvorby kontaktně únavových vad.[4]

1.1 Zatřídění vad a lomů

„Vady, poškození a lomy jsou zatříděny do číselného kódu. Kód označuje vady tří- nebo čtyřmístným číslem. Vada, která je označena tečkou za třetí číslicí a čtvrtou doplňkovou číslicí, má stejný původ (příčinu) nebo charakter (např. lom), má však odlišný průběh (směr) nebo umístění“.[4]

Pro správné zatřídění vad je rozhodující první číslice číselného kódu, jejíž význam je uveden v následující tabulce.

Tab. 1.1 Význam vad kolejnic

1. Číslice	Význam
1	Vady na konci kolejnice
2	Vady ve střední části kolejnice
3	Vady způsobené poškozením kolejnice
4	Vady svarů a návarů
5	Skryté vady jazyků výhybek

Pro každý druh vady je v kapitole 1.3 Vady a lomy kolejnic charakteristické vyobrazení vady.

Tab. 1.2 Informace o vadě

1. sloupec	2. sloupec	3. sloupec
113 Číselný kód vady	B (A) Kategorie vady	Popis vady

Na pravé straně od charakteristického vyobrazení vady jsou informace o vadě. Také zmínka o příčině vzniku vady, o jejím možném rozvoji, způsobu zjištění a dalších opatřeních.

1.2 Kategorizace vad

Vady se zařazují do 4 kategorií. Každá kategorie pak označuje opatření, které je nutno učinit k bezpečnému provozu na trati. Kategorizace je uvedena v tabulce 1.3.

Tab.1.3 Kategorizace vad

Kategorie vady	Opatření
A	bezodkladné odstranění výměnou součástí nebo opravou vadného místa
B	odstranění výměnou či opravou v krátké lhůtě
C	odstranění výměnou či opravou v rámci udržovacích (opravných) prací
D	zvýšené pozorování

1.3 Vady a lomy kolejnic



100/200

Obr. 1.1 Křehký lom bez zřejmé příčiny

Křehký lom bez zřejmé příčiny 100/200 A

Příčina: Několik možných příčin například nadměrná tahová napětí, účinky plochých kol nebo nedovolené zatížení.

Zjištění: pohledem

Opatření: Celé kolejnice s lomem opticky překontrolovat, prozkoumat lomové plochy a přehodnotit příčinu lomu.[4]



100.2/200.2

Obr.1.2 Lom vzniklý z mechanického poškození nebo opotřebení

Lom vzniklý z mechanického poškození nebo opotřebení 100.2 A/200.2 A

Příčina: Provozní opotřebení, zatěžování vozidly.

Zjištění: pohledem

Opatření: Vizualní kontrola kolejnice s lomem.[4]



100.6/200.6

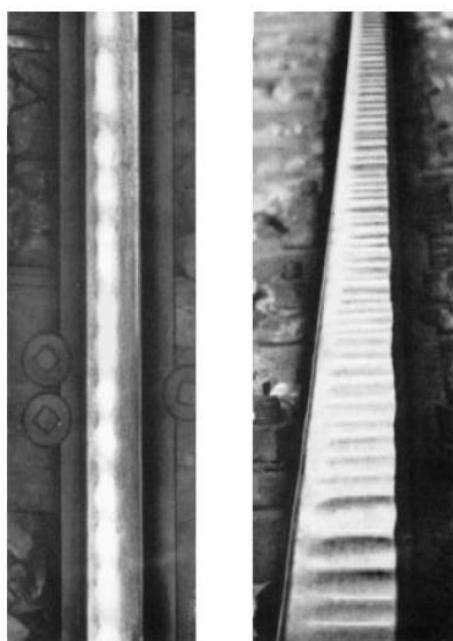
Obr. 1.3 Lom iniciovaný kontaktně únavovými vadami

Lom iniciovaný kontaktně únavovými vadami 100.6 A/200.6 A

Příčina: Zatěžování vozidly, způsobuje vady, původ je ve styku kolo-kolejnice. Projev je nejčastěji na vnějším kolejnicovém pásu.

Zjištění: pohledem

Opatření: Vizually prohlédnout kolejnici s lomem, pokud je lom způsoben rozvojem vady 2222 je nutné vyměnit celou kolejnici.[4]



2201

2201

Obr. 1.4 Vlnkovitost kolejnice a skluzové vlny

Vlnkovitost kolejnice a skluzové vlny 2201 D

Příčina: Vznik vlnkovitosti je způsoben souborem příčin například hrubé kolejnice z výroby, charakter provoz aj. Skluzové vlny se nejčastěji objevují na vnitřním kolejnicovém pásu v oblouku a je způsoben konstrukcí ŽKV. Délka vln je v rozmezí 10 až 30 cm.

Zjištění: Pohledem nebo speciálním měřicím zařízením.

Opatření: Kolejnice se musí obrousit v případě velké hloubky vln, které mají za následek vysoký hluk, vibrace při jízdě vozidlem.[4]



2203

Obr. 1.5 Boční opotřebení hlavy kolejnice

Boční opotřebení hlavy kolejnice 2203 D (B)

Příčina: K bočnímu opotřebení dochází ve vnějších kolejnicových pásech v obloucích pod tíhou vozidel. Vývoj bočního opotřebení lze redukovat mírou mazání kolejnic. Důsledkem ojetí může být vykolejení, zvětšení rozchodu nebo lom kolejnice.

Zjištění: Pohledem, měřicími přístroji nebo speciálním vozem pro železniční svršek.

Opatření: Učinit opatření dle kategorie B, pokud se ojetí blíží maximální hodnotě.[4]



2213

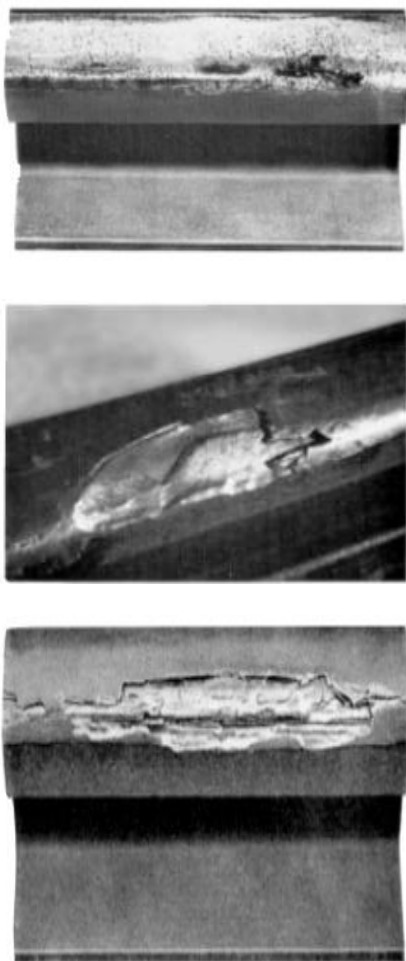
Obr. 1.6 Šikmé trhliny pojížděné hrany

Šikmé trhliny pojížděné hrany 2213 D (B)

Příčina: Vznik je nejčastěji způsoben vysokým kontaktním tlakem na styku kolo kolejnice. Projevuje se velkým množstvím trhlinek, které se mohou časem vylamovat a rozvinout tak příčnou trhlinu nebo až lom.

Zjištění: pohledem

Opatření: Provést opatření podle kategorie B.[4]



Obr. 1.7 Odlupování materiálu z pojížděné hrany



122

Obr. 1.8 Odlupování materiálu na hraně pojížděné plochy

Odlupování materiálu z pojížděné hrany 2222 C (B,A)

Příčina: Podélné trhliny vznikají v důsledku kontaktních a skluzových sil, zejména v oblouku. K původu vady dochází nejčastěji v místech netvárných vměstků v kolejnicové oceli. Na obr. 1.7 je znázorněn postup vady na kolejnici.

Zjištění: Pohledem nebo můžeme na příčné trhliny použít ultrazvukový defektoskop.

Opatření: tato vada se napravuje nejčastěji snížením rychlosti u příčných trhlin a následně provést opatření dle kategorie A popřípadě kategorie B pokud se jedná o kolejnice jakosti mimo 100 ČSD V_kMnTi. Pokud nebyly zjištěny příčné trhliny, je zapotřebí vykonat periodickou prohlídku max. do 3 měsíců. Při odstraňování vady je nutno vyměnit vždy celý díl kolejnice.[4]

Odlupování materiálu na hraně pojížděné plochy a konce kolejnice 122 D

Příčina: Vada se projevuje po opotřebení a následné únavě materiálu. Prvotně se vytvoří malá trhlinka, která může vést až k odloupení kusu materiálu.

Zjištění: pohledem, ultrazvukovým defektoskopem

Opatření: Opravit místo navařením.[4]



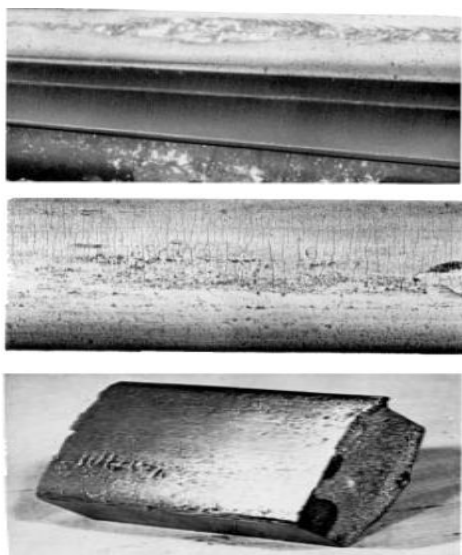
Obr. 1.9 Místa vybroušená jednorázovým Prokluzem

Místa vybroušená jednorázovým prokluzem hnací nápravy („žáby“) 1251 D(B)/2251 D(B)

Příčina: Vznik samovolně zakalených skvrn s oválným obvodem způsobuje prokluzování hnací nápravy. Tato skvrna se může dále rozvíjet v příčném směru hlavy kolejnice ve vnitřní trhlinky, jenž vedou k zahloubení pojížděné plochy. Nebo vedou k lomu kolejnice. Vodorovně v hlavě kolejnice se vytváří místní odlupování, které se sice nerozvíjí do hloubky, ale vede k zahloubení pojížděné plochy vozidly.

Zjištění: pohledem

Opatření: Defektoskopické zkoumání a zaznamenávání vad. Opravu provést navařením dle předpisu ČD S3/5. Pokud bude zpozorována příčná trhlinka provést opatření dle kategorie B.[4]



Obr. 1.10 Místa vybroušená opakovanými prokluzy

Místa vybroušená opakovanými prokluzy 1252 D (B) / 2252 D (B)

Příčina: Výskyt v úsecích s opakovanými rozjezdy a brzděním nebo v místech častých prokluzů hnacích náprav. V těchto místech nezděka kdy dochází ke vzniku vlasových trhlin. V chladném období pak je náchylnost k lomům v těchto místech. Nejčastěji to jsou úseky před návěstidly.

Zjištění: pohledem

Opatření: Provést opatření dle kategorie B.[4]

2 Představení tekutých a tuhých maziv, vliv na abrazivní a adhezní opotřebení, otázka kontaminace prostředí

2.1 Rozdělení maziv

2.1.1 Tekutá maziva

Tekutá maziva jsou dnes nejpoužívanějšími mazivy v technické praxi. Ne zřídka kdy se setkáme i s přísadami pro zlepšení výkonnosti. Tekutá maziva reprezentují především minerální (ropné) oleje, syntetické oleje a oleje rostlinného nebo živočišného původu. Tekutá maziva se skládají ze základových olejů a přísad zlepšující jejich vlastnosti (aditiv). Výhody tekutého maziva jsou především v jeho schopnostech odvádět teplo a chladit tak mazaný prostor odvádět nečistoty a čistoty. Nevýhodou oproti jiným druhům maziv je jejich viskozita, není přílnavé k součásti a nemá širší rozsah pracovních teplot, nemá těsnící schopnost ve vodě a nehodí se použití do pracovních prostředí závislých na čistotě okolí.

2.1.1.1 Základové oleje

Většina základních vlastností tekutého maziva (oleje) je dána především vlastnostmi základových olejů. Základové oleje mohou být na minerální (ropné), syntetické, nebo na rostlinné bázi. Převážná část základových olejů byla v nedávné době na ropné bázi a potřebné důležité vlastnosti, jako je složení oleje a z toho vyplývající viskozita, nízká tepelné vlastnosti, odpařivost atd., jsou získávány v rafinériích rafinačními postupy, které umožňují dosažení potřebných vlastností hotového oleje. Je to především tzv. extrakční rafinace, kdy selektivním působením vhodného rozpouštědla se ze základní ropné suroviny odstraní nežádoucí látky zhoršující kvalitu oleje. Takto vyrobených selektivních rafinátů se používá cca 50 % i do dnes vyráběných olejů, i když jejich používání stále klesá. V současné době je extrakční rafinace nahrazována progresivnějším způsobem rafinace, tzv. hydrokrakováním, které probíhá při cca 400 °C a při vysokém tlaku vodíku. Dochází k novému rozdělení molekul a základové oleje takto vyrobené mají velmi nízký obsah aromátů a téměř jsou odstraněny síra a dusík. Je dosahováno vysokých viskozitních indexů, a tím i nízké závislosti viskozity na teplotě. Jsou definovány jako hydrokrakáty. U všech rafinátů je provedena dodatečná úprava dorafinováním, eventuálně dodatečným destilačním rozdělením.[6]

Přehled typů základových olejů

- a) Ropný olej – je jedním z produktů frakční destilace ropy.
- b) Syntetický PAO (Polyalfaolefiny) – jsou nepolární, mají nižší úroveň mazivosti a pevnost mazacího filmu. Pevnost mazacího filmu se v tomto případě upravuje přísadami, jež napomáhají minimalizovat opotřebení v podmínkách hraničního mazání, tření.
- c) Esterový – výborná mazivost a pevnost mazacího filmu.
- d) Silikonový
- e) Polyéterový

2.1.1.2 Přísady

Jedná se o chemické přísady, které zlepšují vlastnosti tekutých maziv. Druhy přísad a jejich množství se liší od způsobu použití tekutých maziv. Poměr, v kterém budou v mazivu zastoupeny, jsou výsledkem praktických zkoušek a norem výrobců těchto druhů maziv. Přísady se mohou dělit na polární a nepolární.

Polární aditiva jsou aditiva tzv. povrchově aktivní polární látky. To jsou chemické, jejichž molekuly jsou nesymetrické, a proto na jejich koncích vznikají elektrické náboje. Pomocí těchto nábojů jsou molekuly přitahovány k povrchům a vytváří na površích tenký film, jenž ve spojení na chemickém složení přísady může zvyšovat odolnost proti korozi, proti usazování nečistot nebo zvyšuje odolnost proti poškození vysokým tlakem či vysokým teplotám apod.

Nepolární aditiva jsou naopak povrchově neaktivní, tedy že nejsou přitahována k povrchům, ale jsou rozmístěna v celém objemu maziva rovnoměrně. Jejich významnost spočívá hlavně v tom, že zlepšují viskozitu, snižují bod tuhnutí maziva apod.[9]

Význam aditiv v mazivech:

- a) Zvýšení mazací schopnosti maziva. Mazací schopnosti základových olejů jsou zlepšeny doplněním aditiv pro nízké i vysoké tlaky, tzv. EP přísady.
- b) Ochrana mazaných povrchů proti korozi, kdy hlavními původci koroze jsou voda a vzduch a někdy i v některých případech samotné mazivostní přísady a z nich vznikající produkty při mazání v nepříznivých podmínkách.
- c) Ochrana proti stárnutí maziva. Pohybem a následně vyvolaným třením je zařízení v provozu zahříváno. Je proto žádoucí, aby byl olej aktivován antioxidační přísadou inhibující oxidační napadení základového oleje.

- d) Zlepšení detergentních vlastností maziva. „*Pokud dojde k vytvoření pevných částic, obvykle ve formě pevných zplodin oxidace, karbonu, opotřebení je nutno aditivovat přísadami, propůjčujícími oleji detergentní a disperzní vlastnosti, tj. minimalizace velikosti částí, zabránění jejich sedimentaci a tvorby úsad na povrchu mazaných předmětů*“.[6]
- e) Ochrana těsnících materiálu proti degradaci nežádoucími účinky oleje.

Za působení přísad je také možné pozměnit viskozitu základových olejů a jejich viskozitně teplotní závislosti.

2.1.2 Tuhá maziva

K masivnějšímu rozvoji tuhých maziv došlo až s rozvojem konstrukce strojů a jejich využívání nejen za působení tak extrémních teplot, tlaků, záření a dalších různých vlivů, za nichž žádné jiné organické mazivo nemá dostatečnou stálost. V případech kdy je znemožněno kapalinové mazání a nastává polosuché nebo dokonce suché tření.

„*Tuhým mazivem se rozumí tenký film takové tuhé látky mezi třecími povrchy, který je schopen zmenšit tření a opotřebení*“.[1] Tento úkol mohou ovšem splnit jen takové tuhé mazací filmy, které mají současně malou pevnost ve smyku, to vyplývá z jejich hexagonální krystalické mřížky. „*Jsou měkké, mají velkou adhezi k povrchu a velkou odolnost proti tlaku, jsou schopné obnovovat celistvost svého povrchu, jsou-li narušeny, a neobsahují abrazivní nečistoty*“.[1]

Pro volbu tuhého maziva k vytvoření vhodného pevného mazacího filmu jsou důležité následující vlastnosti. Malá smyková pevnost, tepelná stálost v oblasti, kde kapalná maziva už nelze použít nejčastěji při teplotách 300 - 1100°C. Bod tání, neboť nad bodem tání ztrácejí tuhá maziva buď zcela, nebo podstatnou část schopnosti zmenšovat tření. Odolnost vůči vlivům chemických látek. Velikost částic práškovité tuhé látky, protože jsou-li částičky menší, tím snadněji lze vytvořit stálou disperzi tuhé látky v rozpouštědle a tím zároveň docílit i účinnějšího mazacího filmu. „*Tepelná vodivost, kdy za malé tepelné vodivosti tuhé látky, jako například umělých hmot, dochází k místnímu tavení mazacího filmu nebo smykového povrchu a tím ke ztrátě schopnosti zmenšovat tření (proto se tepelná vodivost umělých hmot zvětšuje přimísením kovového prášku, chce-li se získat ložiskový materiál s velkou životností, který se nezadírá, ani nemaže-li se*

konvenčními mazivy)“.[1] Schopnost zabraňovat vzniku korozi. Elektrická vodivost. „Velká vodivost je zapotřebí, je-li tuhá látka použita k snížení opotřebení elektrických kontaktů. Naopak malá vodivost se vyžaduje při mazání smykových stykových ploch u elektrických izolátorů“. [1]Je nutné brát ohled také na hustotu, jsou-li tuhá maziva aplikována ve formě disperze v roztoku, lze potom získat stabilnější disperzi u látek s menší hustotou.

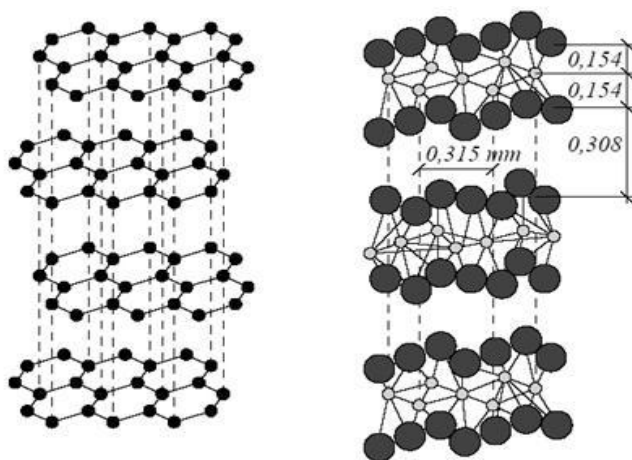
2.1.2.1 Rozdělení tuhých maziv

Tuhá maziva dnes můžeme rozdělit do několika skupin podle původu a chemického složení nebo krystalické struktury.

a) Anorganická tuhá maziva

Tento druh maziv se dále rozděluje na látky s laminární strukturou, látky s nelaminární strukturou a umělé chemické povlaky.

Látky s laminární strukturou mají molekuly uspořádané v rovnoběžných vrstvách, které mají velkou příčnou pevnost. Nevýhodou je ale malá soudržnost v podélném směru, což vede k snadnému posunutí už při malém třecím odporu. Nejpoužívanější jsou grafit a sulfid molybdeničitý. Struktura krystalů je znázorněna na obr. 2.1. Mezi další látky se řadí například sulfid wolframičitý nebo selenidy a teluridy těchto kovů. Dále pak sulfidy, selenidy a teluridy niobu, tantalu, titanu a zirkonia, nitrid bóru, jodidy kadmia, titanu, olova a slída. Zajímavým tuhým mazivem je polymer fluoridu uhlíku (CF_x)_n s poměrem F: C až 1:10. [1]



Obr. 2.1 Krystalická mřížka grafitu a sulfidu molybdeničitého

„Tyto látky mají povětšinou velkou tepelnou stálost na vzduchu od 250 do 600 °C, sulfidu titanu, zirkonia a selenidu zirkonia, ve vakuu až do 1350 °C, s výjimkou grafitu, který se vakuu rychle odpařuje, ztrácí mazivost a je dokonce abrazivní. S výjimkou nitridu bóru, který zase vyniká velkou oxidační stálostí, mají tyto látky vesměs vynikající mazací schopnost v důsledku silné adheze ke kovovým třecím povrchům, způsobené fyzikální adsorpcí a případně i chemickou reakcí s povrchovým materiálem“.[1]

Vlastnosti grafitu a sulfidu molybdeničitého, tedy nejpoužívanějších tuhých maziv jsou v Tab. 2.1.

Tab. 2.1 Základní vlastnosti grafitu a MoS₂

Vlastnosti	Grafit	MoS ₂
Hustota [kg.m ⁻³]	2400	4800
Požadovaná čistota, min. [%]	99	99
Tvrdost podle Mohse	0,5—1,0	1,0—1,5
Bod tání [°C]	~3540*	1180
Tepelná vodivost [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	~48*	~2—3,5*
Elektrická vodivost	dobrá	polovodič
Forma přilnavosti ke kovovým povrchům	adheze + vodní pára	adheze, chemisorpce
Střední koeficient tření proti oceli (suché)	0,1—0,2	0,04—0,08
Teplotní stálost na vzduchu [°C]	-180 až +450	-180 až +420
Teplotní hranice za nepřítomnosti vzduchu [°C]	až 800	až 650
Mazací schopnost ve vakuu	—	—
Teplotní hranice ve vakuu [°C]	—	1100
Odolnost proti radioaktivnímu záření	téměř žádná změna	zcela odolný
Chemická stálost	nestálý vůči horké koncentrované kyselině sírové a dusičné	nestálý vůči horkým koncentrovaným anorganickým kyselinám a silným oxidačním činidlům, chlóru a fenolu
Rozkladné produkty	CO ₂	MoO ₃ , SO ₂ (Mo, S)
Tvrdost MoO ₃	—	~1,5—2*
Střední koeficient tření MoO ₃ proti oceli	—	~0,15—0,3*
Toxické účinky	netoxický	netoxický
Velikost částic v suspenzích [μm]	50 % < 0,2 90 % < 0,6	50 % < 0,3 90 % < 0,8

* Odhadnuté hodnoty.

Zvlášť neobyčejné vlastnosti nabízí i fluorovaný grafit. Ten se získává z grafitu při teplotě 630 °C ve fluidizované plasmě s fluórem jako fluidantem. Ten vydrží trvalé vystavení teplotám na vzduchu 600 °C, krátkodobě i 800 °C. Mazacími vlastnostmi pak zdaleka předčí grafit i sulfid molybdeničitý. Tato maziva se aplikují ve formě velice jemných prášků, disperzí v olejích, ale i v plastických mazivech. Avšak hlavním způsobem nanášení je plazmové nanášení. [1]

Inovativním přípravkem založeným na využití tuhých maziv jsou kluzné laky, což jsou disperze tuhých maziv, převážně grafitu, sulfidu molybdeničitého a polyfluóruhlíku v organických nebo anorganických filmotvorných látkách a rozpouštědlech. Jejich

nanesením se na třecích površích vytvářejí suché, přilnavé a elastické filmy s větší únosností a s ještě lepšími třecími vlastnostmi, které mají prodlouženou životnost.

Jelikož jsou to vysoce kvalitní mazací prostředky, často dokážou zajistit bezobslužné trvalé mazání a vyhovět i extrémním požadavkům, které současná ropná maziva nemohou splnit. Například se tímto problémem můžeme setkat u dílů, jež mají při vysokém zatížení jen nepatrné kluzné rychlosti a provádějí oscilační pohyb nebo jsou vystaveny extrémním podmínkám.[1]

Kluzné laky vykazují výborné výsledky i v protikorozní ochraně, často doprovázené se snížením otěru a s podstatně vyšší zatížitelností, jež u většiny kovů překračuje mez kluzu. Díky tomu, že kluzné laky poskytují protikorozní ochranu, nabízí se jimi nahradit ekologicky problematické galvanické pokovování (niklem, chromem či kadmíem).

Z látek bez laminární struktury se využívají v technické praxi hlavně sklo, bentonit a další různé měkké tuhé látky. Například to mohou být bazický uhličitán olova, mastek, jodid stříbra, hydroxidy vápníku a stroncia, ale hlavně oxid olovnatý, který je použitelný v rozmezí teplot 430 – 650 °C. [1]

Poslední skupinou jsou umělé chemické povlaky, které se vyrábějí chemickými nebo elektrochemickými reakcemi. Z převážné části to jsou sulfidy, chloridy, oxidy, fosfáty a oxaláty kovů. Nejčastěji se setkáme s povlaky fosfátovými, nejméně pak s povlaky oxidovými a to kvůli jejich tvrdosti a křehkosti.[1]

b) Organické sloučeniny

Jedním z nejstarších představitelů tuhých maziv jsou mýdla, mastné kyseliny jako je například kyselina stearová, dále pak tuky (např. lůj) a v neposlední řadě vosky. Význam těchto tuhých maziv v posledních letech dost upadá.

Podstatnějšími jsou umělé hmoty na bázi fluórovaných etylénů a propylénů. Polytetrafluóretylén (teflon) a polytetrafluóretylénperfluórpropylén mají z daleka nejmenší koeficient tření z veškerých tuhých maziv této skupiny. Oproti jiným tuhým mazivům ze skupiny organických sloučenin se vyznačují dobrou stálostí a chováním ve vakuu a při nízkých teplotách. Proti tomu je ale velmi nízká odolnost v tlaku a úzké spektrum pracovní teploty od -260 °C jen do 260, respektive 205 °C. Mají vysokou odolnost proti chemickým látkám, ale takřka žádnou odolnost proti záření. Jejich rozkladné produkty jsou mírně jedovaté. [1]

c) Měkké kovy a slitiny

Použití měkkých kovů, olova, stříbra, zlata, kadmia, cínu nebo india v čisté formě je velice vzácné. Když se jich použije tak jako měkčí povlaky na tvrdém kovu nebo ve většině případů jako složky jiných tuhých maziv k zvětšení odolnosti proti vysokým teplotám. Kombinace zlata s grafitem a stříbra se sulfidem molybdeničitým a teflonem dává vzniknout tuhým mazivům, jež řeší problémy mazání u přístrojů a zařízení vesmírných těles. Použití jiných měkkých kovů například rtuti, galia, slitiny sodíku s draslíkem nebo draslíku s cesiem, je přes obstojné mazací a reologické vlastnosti je nemožné, protože již za normální teploty oxidují.

V několika posledních letech se zaměřuje pozornost na vývoj ternárních nebo kvartárních slitin vizmutu, olova, cínu, kadmia potažmo galia, titanu, india a zinku. Tyto slitiny mají velmi nízké body tavení asi 70 – 105 °C a najdou své uplatnění při mazání zařízení atomových reaktorů, raket nebo vesmírných těles. Vyznačují se výbornými mazacími schopnostmi v rozsahu teplot 100 – 250 °C, v této teplotní oblasti se jejich viskozita téměř nemění a zachovává si vlastnosti newtonovské kapaliny. Nevýhodami však zůstává snadná oxidovatelnost při normální teplotě a především korozivní vliv na konstrukční materiály působením intermetalických reakcí, při nichž vznikají nové křehké sloučeniny. Tyto nedostatky brání jejich širšímu uplatnění.[1]

2.1.2.2 Produkty s obsahem pevných maziv

a) Prášky

Důležitými parametry, aby pevné mazivo ve formě prášku pokrylo třecí plochy a vytvořilo tak pevný mazací film a zajistilo i jeho pevné přilnutí jsou kohezní a adhezní vlastnosti. Tyto parametry splňují jen samomazná pevná maziva. Nejčastěji používané mazivo, které díky své krystalické struktuře a typu vazby tyto požadavky splňuje je sulfid molybdeničitý. Grafit nebo PTFE, které jsou také používány, jako pevná maziva v práškové formě splňují požadavky jen do určité míry.

Před nanesením prášku pevného maziva je důležité zajistit důkladně očištěný povrch. Následným mechanickým zdrsněním zlepšíme přilnavost a tedy i životnost. Nanášení se provádí vetřením do mazaného povrchu pomocí hadříku, houby nebo leštícím kotoučem apod. Také lze využít nosného media, které zjednoduší nanášení a také zlepší adhezní a kohezní vlastnosti použitého prášku.[2]

b) Disperze a suspenze

Pokud není možné z technického nebo jiného důvodu možné použít práškovou formu a musí být vytvořen pevný film suchého maziva, použijeme disperze a suspenze pevného maziva v nosných kapalinách s nízkou odpařivostí.

Ve vodě jsou disperze a suspenze používány k vytvoření bílého povlaku, před tvářením za tepla nebo za studena. Nejobvyklejšími látkami jsou zde soli, bílá pevná maziva a grafit.

Disperze a suspenze nachází široké uplatnění jak v technologii tváření, tak i jako přísada do převodových a mazacích olejů. Používají se stejné typy látek jako ve vodě, sulfid molybdeničitý hraje významnou roli v převodových a mazacích olejích.[2]

c) Plastická maziva

Zvýšení schopností odolávat tlaku, opotřebením a třením je zaručeno přidáním pevného maziva v plastickém mazivu. Výhodou, kterou pevná maziva disponují oproti mnoha chemicky reagujícím přísadám v oleji je jejich neutrální reakce s mnoha plasty, elastomery, jestliže vrstva plastického maziva nevydrží. Vyznačují se také dobrým chováním za vysoké teploty.

Pokud máme černá maziva, převážně grafit a sulfid molybdeničitý, jsou vhodná k použití pro záběhový proces nebo pro mezní mazání. Oproti tomu bílá pevná maziva jsou výhodná v případech, kdy se v kontaktu objevuje kmitavý pohyb nebo vibrace.

V plastickém mazivu se nezdá, kdy setkáme s dvěma i více druhy pevného maziva, které mají synergické účinky. Obvyklé množství pevného maziva je 1 – 3 %, jestliže je však podíl více jak 10% má pevné mazivo značný zpevňovací účinek a může se použít označení mazací pasta.[2]

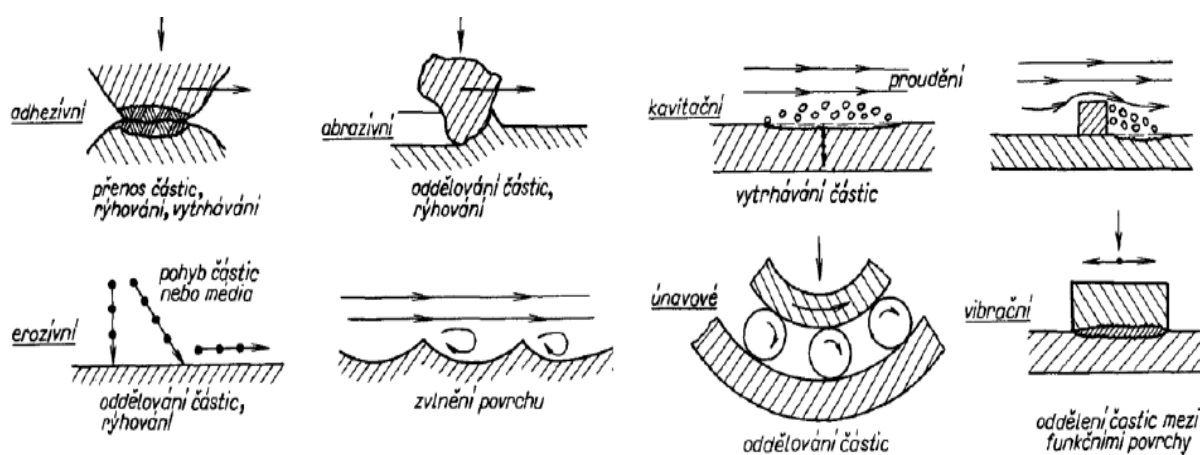
2.2 Opotřebením třecích ploch

V tribologii můžeme za opotřebením označit veškerou nežádoucí nebo nechtěnou změnu kvality povrchu či rozměrů součásti vyvolanou vzájemným působením dvou funkčních ploch, z nichž jedna je iniciátorem opotřebením.

Nejčastěji lze opotřebení zpozorovat, jestliže dochází k odstraňováním nebo přemisťováním částic hmoty z funkční plochy za působení mechanického účinku nebo jiných vlivů.

2.2.1 Druhy opotřebení

Existuje sedm různých druhů opotřebení. Jsou to abrazivní, adhezivní, erozivní, kavitační, únavové, vibrační a korozivní. Vyobrazení opotřebení je na obrázku 2.2. V technické praxi může nastat i kombinace několika opotřebení zároveň.



Obr. 2.2 Základní druhy opotřebení

2.2.1.1 Vliv na abrazivní opotřebení

Abrazivní opotřebení se vyznačuje oddělováním částic z funkční plochy působením tvrdého nebo drsného povrchu protějššího elementu. Takový povrch se pozná zdrsněním a zryhováním. Příčinou abrazivního opotřebení je styk mezi dvěma tělesy nebo vliv částic nacházející se mezi dvěma činnými plochami.

2.2.1.2 Vliv na adhezní opotřebení

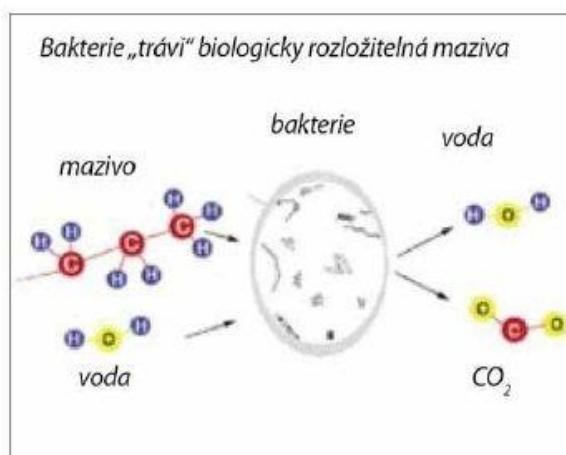
Při adhezivním opotřebení se částice oddělují a následně přemisťují z místa, kde dochází ke styku dvou funkčních ploch vzájemně se pohybujících těles. Tento druh opotřebení vzniká kvůli velkým adhezním silám vzniklých v místě kontaktu povrchových nerovností, kde došlo k odtržení nerovností a následnému přemístění těchto částic. Účinnost adhezního opotřebení lze redukovat přívodem vhodného množství maziva.[9]

2.3 Otázka kontaminace prostředí

Ekologická maziva je vhodné použít na pracoviště nebo do míst, kde je nutné zajistit opatření proti poškození životního prostředí, ke kterému by mohlo dojít prosakováním, úkapy nebo havárií. Ve vyspělých zemích jako je Německo nebo Švédsko požadují tamní úřady ekologická maziva v místech, která jsou v ekologicky citlivých zónách, jako jsou území ochrany vod.

Ekologická maziva musí splňovat nejen základní požadavky na výkonnost, jak je definují výrobci např. ochrana proti opotřebením, udržování čistoty mazaných součástí pracovního stroje, ale také ekologičnost. Pomocí zkoušek na toxicitu a ekologickou toxicitu se rozpoznávají možné negativní vlivy na savce ve vodě žijící zvířata a mikroorganismy a rostliny. Zda se maziva ekologicky rozloží, se zjišťuje pomocí biologických testů rozložitelnosti. V rozkladu maziv pomáhají mikroorganismy, které se ve volném prostředí vyskytují téměř všude a vždy maziva rychle rozloží. Biologicky těžko nebo vůbec nerozložitelná maziva se pak v přírodě vyskytují po dlouho dobu a mohou tak negativně ovlivňovat celý ekosystém.

Mikroorganismy a drobná zvířata mohou být po kontaktu s jedovatými mazivy usmrcena, mohou však umřít i po střetu s netoxickými mazivy a to v případě, že by se mazivo dostalo do jejich dýchacích cest například ryb a dafnií a tyto cesty zablokovalo. Proto záleží na rychlosti, s jakou jsou maziva unklá do biosféry odstraněna. Tohoto cíle je nejlépe dosaženo u produktů, které mikroorganismy rychle rozloží na nejedovaté finální produkty jako kysličník uhličitý a vodu, tzn., že budou zcela odstraněny z okolního prostředí Obr. 2.3.[7]



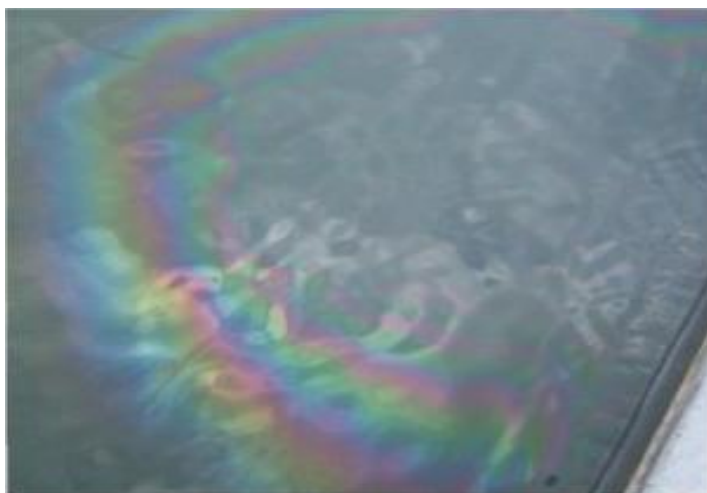
Obr. 2.3 Biologické rozložení maziva

S rozvojem ekologických a toxikologických věd v posledních 30 až 50 letech přišlo i několik standardizovaných testů, které zahrnují veškeré ekotoxikologické aspekty maziv. Termín „biologicky odbouratelný“ není jednoznačně definován a nevystihuje jasné ekotoxické vlastnosti maziv.

Biologické odbourávání se v krajině odehrává ve dvou krocích. V prvním kroku tzv. „primárního odbourávání“, vznikají části, které mohou být pro okolní ekosystém pořád škodlivé. Při druhém kroku nastává celkové biologické odbourání, kdy jsou finální produkty nejedovaté a jsou tvořeny převážně oxidem uhličitým (CO₂) a vodou (H₂O). Kvůli nejednoznačnosti pojmu „biologicky odbouratelný“ se může toto označení vztahovat jak na primární tak i na úplné odbourávání. Nutností proto zůstává kontrolovat jakého rozkládání se výrok „biologicky odbouratelný“ týká.

Na začátku 80. let minulého století byly vytvořeny testy jako je test CEC L-33-A93, který slouží k určení primárního odbourávání. Mezinárodně uznávané organizace pro ekologická maziva, které jsou v zastoupení například německým BlauerEngel nebo nedávno nově vzniklou organizací EuropeanEco-Labeltesty primárního odbourávání nepřijímají, neboť vypovídající hodnota je příliš malá. Tyto testy neakceptují realitu, že v primárních krocích biologického odbourávání mohou vznikat látky, které mohou být svou povahou ještě větší ekologickou zátěží než počáteční produkty. *„V prvních krocích biologického odbourávání vznikají menší nové organické molekuly, které mohou být jedovaté a ryby nebo dafnie je mohou snadno přijímat kůží“.* [7] Současné specifikace pro „ekologická maziva“ vyžadují naprosto vždy co nejrychlejší a úplné biologické odbourání, protože jen tím lze zajisti to, aby potenciálně škodlivé složky nerozvinuly svůj toxický účinek. *„Úplné biologické odbourávání maziv se dnes zjišťuje standardizovanými, světově uznávanými testy řady OECD 301 B“.* [7]

Maziva, která splňují nejpřísnější kritéria, jsou směsi z jednoho nebo více základových olejů a aditiv. Právě toxicita může souviset na použitých aditivech. Biologická rozložitelnost plně formulovaného maziva, může být o poznání horší než rozložitelnost použitého základového oleje.



Obr. 2.4 Minerální olej a PAO na vodní hladině



Obr. 2.5 Maziva na bázi esteru na vodní hladině

Ekologická maziva se používají z důvodů minimalizace škodlivých účinků na ekosystém a také kvůli snížení nákladů na likvidaci nebo havárii, která by nastala v případě, když by se odkapáváním nebo nehodou dostalo větší množství maziv do okolního prostředí. Znečištění PAO lze na vodní hladině snadno rozpoznat, neboť jak je patrné na Obr. 2.4 minerální olej a polyalfaolefiny tvoří na vodní hladině duhově zbarvené kruhy. Znečištění vod PAO nebo minerálními oleji nelze od sebe pouhým pozorováním rozlišit. Na Obr. 2.5 je mazivo na bázi esteru. Tyto maziva na hladině nevytváří žádné duhově zbarvené kruhy.[7]

Poznat na trhu ekologická maziva je dnes velmi snadné, protože veškeré výrobky mají jednu nebo více Eco-Label na etiketě a je tak zaručena jejich schopnost úplného biologického odbourání. Ekologická maziva renomovaných výrobců maziv splňují příslušné mezinárodně uznávané specifikace. Například to mohou být maziva, certifikovaná organizacemi „BlauerEngel“ nebo „Swedish Standard“. Pokud se maziva pyšní některým z těchto certifikátů, splňují požadavky, které musí být kladeny na ekologický produkt. Někteří výrobci maziv označují své výrobky jako biologicky odbouratelné. Tento fakt ovšem mohou plnit jen do určité míry a nemusejí tak splňovat nejpřísnější požadavky, zejména na rychlé a úplné biologické rozložení v okolním životním prostředí.

„Ekonomické, technologické a ekologické požadavky dnes optimálně splňují především kvalitní formulace maziv na bázi nasycených esterů a speciálně vyvinutých systémů aditiv“. [7]

3 Návrh metodiky testování vybraných parametrů tuhých maziv

Jelikož zatím nebyla vydána příslušná Česká státní norma předepisující metodu hodnocení vybraných parametrů tuhých maziv za působení jednoosého tlakového zatížení, bylo nutné tuto metodu pro vybraný druh maziva navrhnout a ověřit. Vhodnost mnou navržené zkoušky byla ověřena na dvojici konkrétních maziv odlišných výrobců. Provedené zkoušky a veškeré přípravy probíhaly v prostorách laboratoří Univerzity Pardubice.

Principem zkoušky bylo srovnání opotřebení při laboratorně vyvozeném abrazivně-adhezivním opotřebení v kontaktu s rotujícím železničním kolem. Zatížení bylo vyvozováno závažím, samostatně u dvou souběžně zatěžovaných vzorků. Měření probíhala na experimentálním zkušebním zařízení – speciálním stendu pro výzkum opotřebení v kontaktu kolo-kolejnice a na tvrdoměru OTTO WOLPERT-WERKE GMBH D – 6700.

Navrhovaná metodika byla založena na kombinaci:

- a) Srovnávacího experimentálního hodnocení úbytku tuhých maziv
- b) Měření tvrdosti maziv
- c) Dokumentace charakteru opotřebení kontaktní plochy maziva

Opotřebení bylo sledováno změnou rozměru mazačích tyčinky a hmotnostními úbytky. Vyhodnocení opotřebení bylo při výchozích rozborech provedeno v závislosti na několika sledovaných parametrech (rychlost, zátěž), finálně bylo pro srovnávací hodnocení maziv použita závislost míry opotřebení na ujeté dráze. Časový průběh zkoušek není v této metodice rozhodující. V této metodice je podstatnější hodnotou uskutečněná dráha, kterou zkušební vzorky vykonaly.

Parametry zkoušky opotřebení:

otáčky motoru / otáčky rotujícího kola ... 3000 / 60ot/min

průměr rotujícího kola ... $D = 0,915$ m

Zkouška probíhala souběžným zatěžováním srovnávaných vzorků „A“ a „B“, tj. při identických podmínkách z hlediska zatížení, obvodové rychlosti a režimu „čištění“ kontaktních ploch.

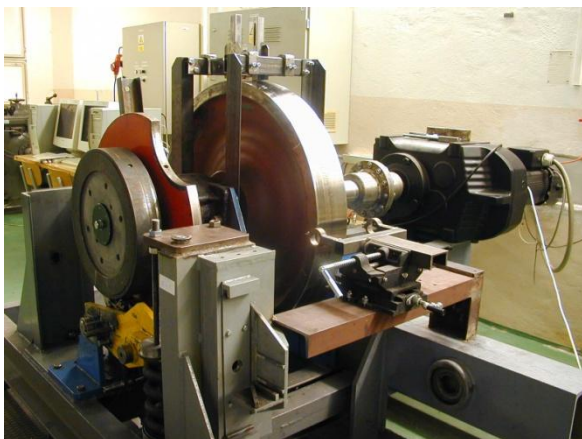
V souladu s předchozí zkouškou bylo před zahájením zkoušky provedeno:

- vybroušení kontaktní plochy kola;
- přizpůsobení kontaktních profilů testovaných vzorků aktuálnímu profilu kola (pro „dosednutí“ ploch při zahájení zkoušky).

Následná zkouška tvrdosti probíhala podle předepsané platné normy ČSN EN ISO6506 – 1 Zkouška tvrdosti podle Brinella. Rozdíl byl ve zkušebním materiálu, kdy místo kovového zkušebního vzorku bylo zkoumaným předmětem tuhé mazivo. Z hlediska normativních požadavků jsem proto zvolil nejbližší vhodný materiál z normy, který by se mohl shodovat s vlastnostmi tuhého maziva a podle těchto parametrů se zvolila velikost zkušebního tělíska, tedy kuličky a zatěžovací síly.

3.1 Návrh a ověření vhodných přípravků pro zkoušky

Pro stanovení hodnocení tuhých maziv jsem provedl srovnávací zkoušky na opotřebení maziva. Tuto zkoušku jsem prováděl na zkušebním zařízení obr. 3.1



Obr. 3.1 Zařízení pro simulaci zatížení v systému kolo-kolejnice

Vzorky tuhého maziva, které dodala společnost Sklenář s.r.o. museli být umístěny nad rotující kolo. K tomuto požadavku sloužil přípravek, který je vyobrazen na Obr. 3.2. Tyto vzorky se následně zatížili závažím Obr. 3.3 a byly tak po celou dobu přitlačovány na obvod kola.

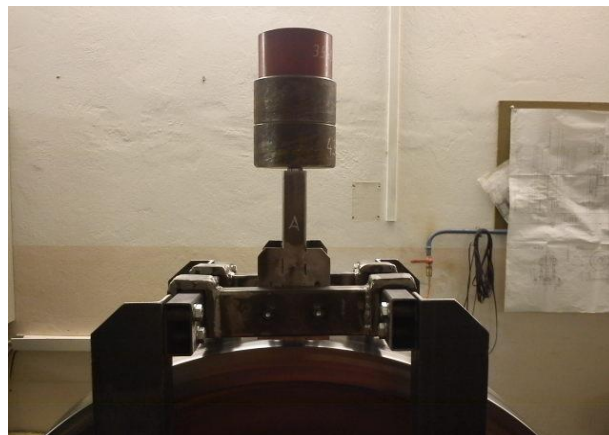
Zátěž byla při zahájení experimentu nastavena podle údajů zadavatele na hodnoty, odpovídající reálně používanému přitlaku v provozních podmínkách – konkrétně $2,5\text{N/cm}^2$. V průběhu zkoušky byly další zátěžové stupně voleny, na základě průběžného hodnocení opotřebení. Finálně byly použity následující zátěžové stupně:

$$2,5\text{ N/cm}^2; 4\text{ N/cm}^2; 7\text{ N/cm}^2$$

Takto navržený postup zkoušky tak umožnil srovnání nejenom míry a charakteru opotřebení, ale zároveň citlivosti maziva na změny zátěžových parametrů.

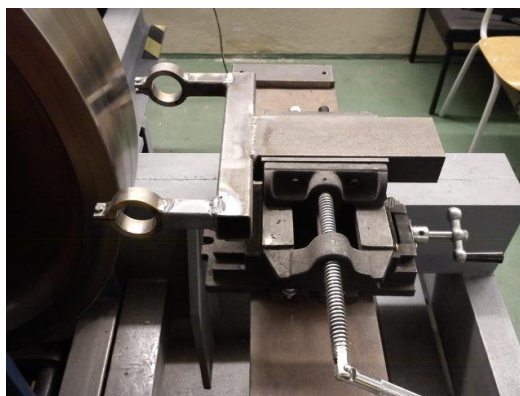


Obr. 3.2 Systém upnutí a souběžného zatížení testovaných vzorků maziv

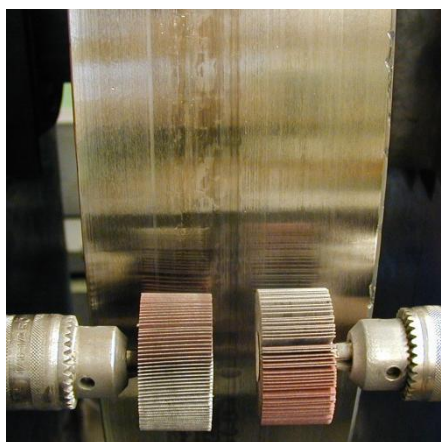


Obr. 3.3 Vzorky zatížené závažím

Při průběhu zkoušek se očekávalo vytvoření pevného mazacího filmu na rotujícím experimentálním kole. Bylo tedy nutné zhotovit přípravek, kterým by se mohl v průběhu realizovaného pokusu tento film průběžně odstraňovat. Byl vytvořen přípravek na Obr. 3.4, do kterého se následně umístili dvě ruční vrtačky tovární značky Narex s brusnými kotouči Obr 3.5 (lamelové brusné kotouče K 240).



Obr. 3.4 Přípravek na upevnění vrtaček s brusnými kotouči



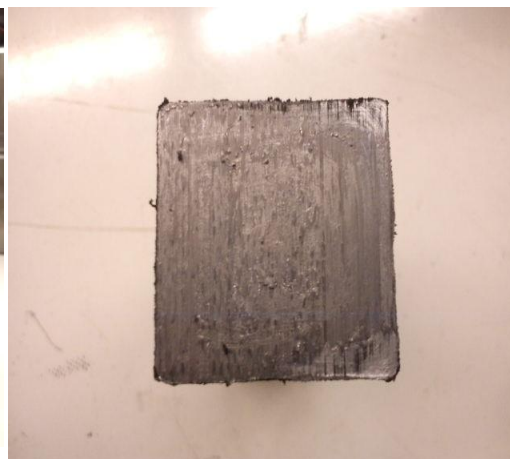
Obr. 3.5 Průběžné čištění kontaktních ploch

3.2 Provedení srovnávacích testů

Ke srovnání byly dodány vzorky stejných rozměrů i určené aplikace, ale rozdílných výrobců (označeno A, B). Cílem bylo porovnat jejich vybrané vlastnosti. Obr. 3.6 a 3.7. V případě vzorku A se jednalo o suché tuhé mazivo ve formě tyčinky na bázi termosetového polymeru. Toto mazivo zajišťuje menší otěr kola a kolejnice. Hlavní předností tohoto maziva je snížení rychlosti opotřebování a dokáže tak zajistit lepší mazání. Výhodou také zůstává, že mazivo nekontaminuje okolní prostředí jak strojních zařízení, obvod drah tak i ekosystém. Mazivo krom snížení rychlosti opotřebování také snižuje hluk, neovlivňuje trakci nebo brzdění je nehořlavý a díky jeho tuhosti je zajištěná přesná aplikace. [8]



Obr. 3.6 Tuhá tyčinka maziva



Obr. 3.7 Řez tuhým mazivem

Na začátku srovnávacích testů obou tuhých maziv bylo nutné vytvořit na koncích zkušebních tyčinek mírný rádius, který by kopíroval povrch zkušebního kola. To bylo důležité z toho důvodu, aby se materiál opotřebovával z celé plošky souměrně a naměřené hodnoty tak získali vypovídající hodnotu.

Při záběhu byly vzorky zatěžovány 12,285kg. Velikost zatížení byla zvolena s ohledem na rychlejší vytvoření zkušebních plošek tuhých maziv.

Když se vytvořil požadovaný rádius na obou zkušebních vzorcích, přistoupil jsem k vlastnímu experimentu. Vzorky jsem zatížil závažím $2,5\text{N}/\text{cm}^2$, tato hodnota byla dána výrobcem jako síla, kterou působí na mazivo pružinový držák v technické praxi. Stanovili jsme si časy, po kterých budeme čistit kolo od mazacího filmu, který obě maziva nanášela na povrch a také interval, kdy budeme vážit oba vzorky a sledovat tak hmotnostní úbytek.

Podstatnou informací pro vyhodnocení a interpretaci výsledků byla ujetá vzdálenost. Proto jsme ze štítku na zkušebním stroji zjistili otáčky a převodový poměr Obr. 3.8.



Obr. 3.8 Štítek ze zkušebního kola

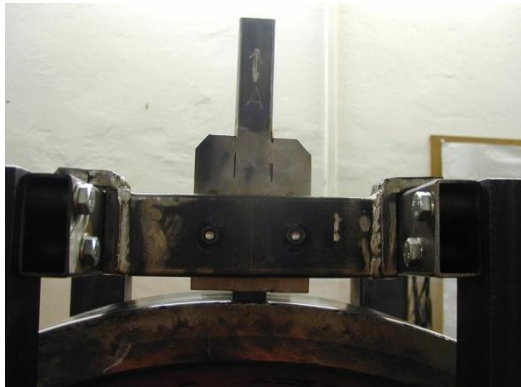
Pomocí přípravku jsem změřil přesný průměr kola $D = 0,915\text{m}$, tj. při nastavených otáčkách byla v průběhu zkoušky přesně evidována obvodová rychlost a dráha kontaktního zatížení.

Intervaly a ujetou dráhu jsem vynesl do následující tabulky Tab. 3.1. V určených intervalech jsem sundal závaží a vzorky zvážil, k jednotlivým časům pak připadá i hmotnostní úbytek vzorků. Ze začátku jsem tyčinky měřil mikrometrem, ale úkol to byl velice pracný i s použitím přípravků a přesnou délku nebylo možné díky rádiusu změřit.

Tab. 3.1 Sledované parametry zkoušky

ČAS MĚŘENÍ (h)	DRÁHA (km)	VZOREK A (g)	VZOREK B (g)
0:00	0	0,0	0,0
0:15	2,15	0,0	0,0
0:30	4,31	0,0	0,0
1:00	8,62	0,0	0,1
1:30	12,93	0,1	0,1
2:00	17,24	0,1	0,1
3:00	25,86	0,2	0,1
8:00	68,96	0,3	0,1
13:00	112,06	0,4	0,1
18:00	155,16	0,6	0,1
23:00	198,26	0,9	0,1
28:00:00	241,36	0,9	0,1
29:00:00	249,98	1,0	0,1
30:00:00	258,6	1,3	0,1
31:30:00	271,53	1,6	0,1
33:00:00	284,46	2,4	0,1
35:00:00	301,7	2,8	0,1

Vzorky, jak je patrné z tabulky Tab. 3.1 jsem nechal opotřebovávat 35h. Tento čas byl zvolen po uvážení, jako dostačující pro závěr experimentu. Na Obr. 3.9 je vyobrazeno přilehnutí vzorků k rotujícímu kolu.

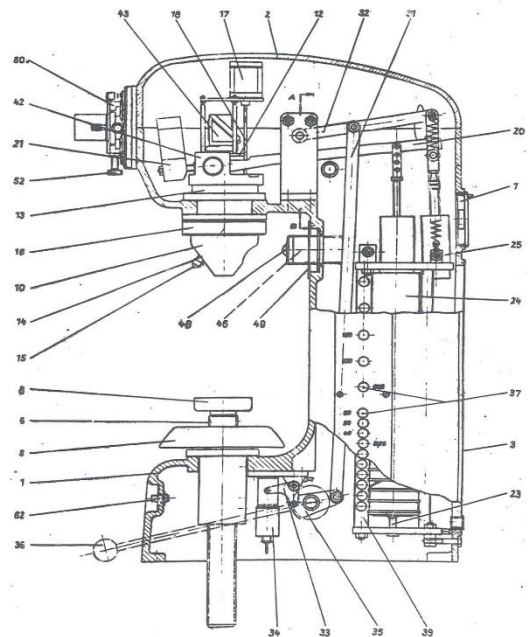


Obr. 3.9 Vyložení vzorků při zkoušce

Po této části experimentu jsem přistoupil k druhé části měření. Konkrétně jsem měřil tvrdost obou vzorků tuhých maziv. K tomuto měření jsem použil stroj OTTO WOLPERT-WERKE GMBH D – 6700 obrázek stroje a schéma je na Obr. 3.10 a Obr. 3.11



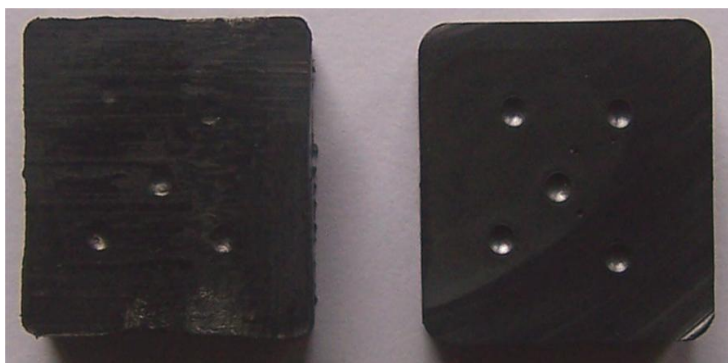
Obr. 3.10 Tvrdoměr



Obr. 3.11 Schéma tvrdoměru

Z důvodů, nemožnosti použít již odzkoušenou metodu pro stanovení tvrdosti tuhých maziv musel jsem přistoupit k normám pro kovové materiály a následně zvolit optimální parametry pro tento pokus. Vycházel jsem z normy ČSN EN ISO6506 – 1 Zkouška tvrdosti podle Brinella. Jako vhodné parametry byly experimentálně zjištěny:

zatížení 250N při použití průměru kuličky 2,5mm, z důvodů vykreslení vtisku. Při menším zatížení nebylo patrné ohrazení zkušební kuličky. Působení kuličky do materiálu tuhého maziva probíhalo cca 10 až 15s jak předepisuje norma. Do ploch obou vzorků jsem provedl 5 vtisků. Podmínkou dle normy je, aby vzdálenost středu každého vtisku od okraje zkušební tělesa byla nejméně 2,5 násobek středního průměru vtisku a zároveň, aby vzdálenost mezi středy dvou sousedních vtisků byla nejméně trojnásobek středního průměru vtisků. Tento požadavek byl důležitým parametrem zkoušky, neboť při nedodržení tohoto pravidla docházelo k odštípnutí části materiálu a zkouška tak byla silně ovlivněna. Po provedení vtisků do testovaných materiálů jsem vtisky přeměřil. Dle normy jsem průměr každého vtisku změřil ve dvou navzájem kolmých směrech. A k výpočtu tvrdosti jsem uvažoval aritmetický průměr dvou údajů. Na Obr. 3.12 jsou vidět provedené vtisky.[3]



Obr. 3.12 Provedené vtisky do zkušebních vzorků

K výpočtu jsem použil vztah z normy:

$$HBW = 0,102 \cdot \frac{2F}{\pi \cdot D \left(\sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

kde je:

0,102.....konstanta pro převod z kgf na N

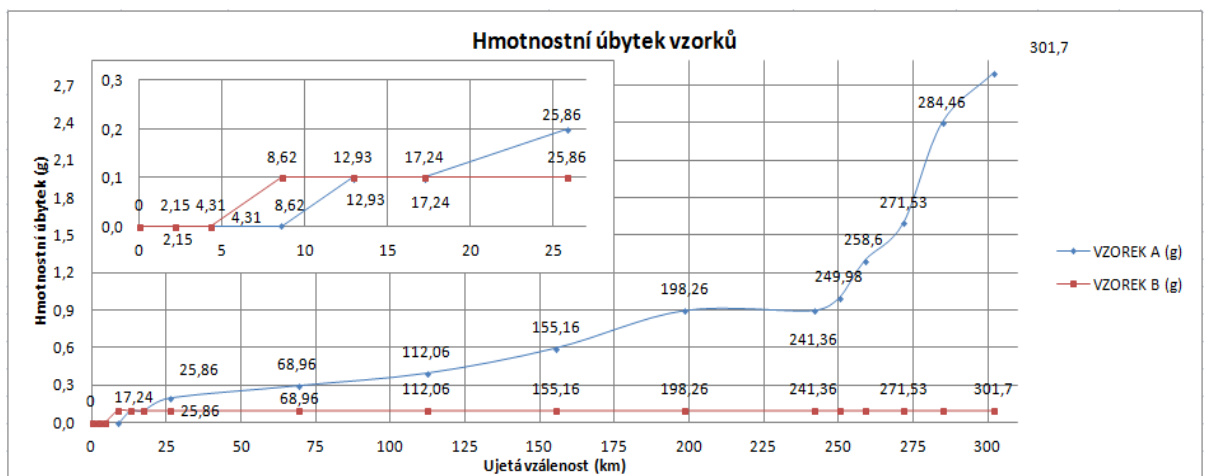
F..... zkušební zatížení [N]

D.....průměr kuličky [mm]

d.....střední průměr vtisku [mm]

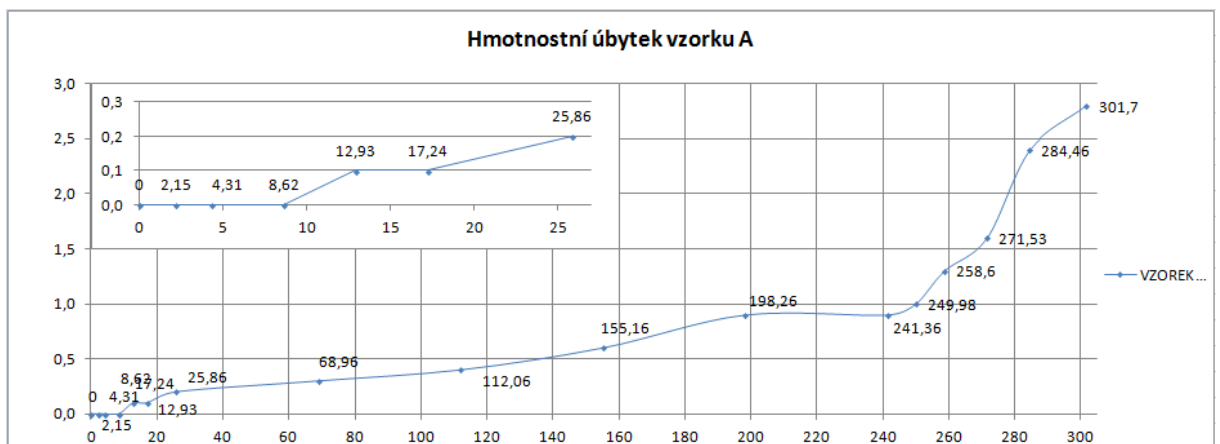
3.3 Vyhodnocení realizovaných zkoušek, posouzení jejich vhodnosti pro rychlé rozlišení rozdílů tuhých maziv

Pro potřebné srovnání testovaných maziv bylo zvoleno grafické vyhodnocení hmotnostních úbytků na ujeté vzdálenosti. Graf 3.1 znázorňuje celkový hmotnostní úbytek vzorku A i vzorku B. Jelikož bylo naměřeno více údajů do ujeté vzdálenosti asi 25 km, vytvořil jsem zvětšenou výšeč této oblasti. Z grafu je patrné, že vzorek B se opotřebovával konstantně po celou dobu experimentu a od asi 8,62 km přestal materiál ubývat. Vzorek A se opotřebovával podstatně rychleji. Zhruba na 249,98 km jsme zaznamenali prudký nárůst opotřebení.

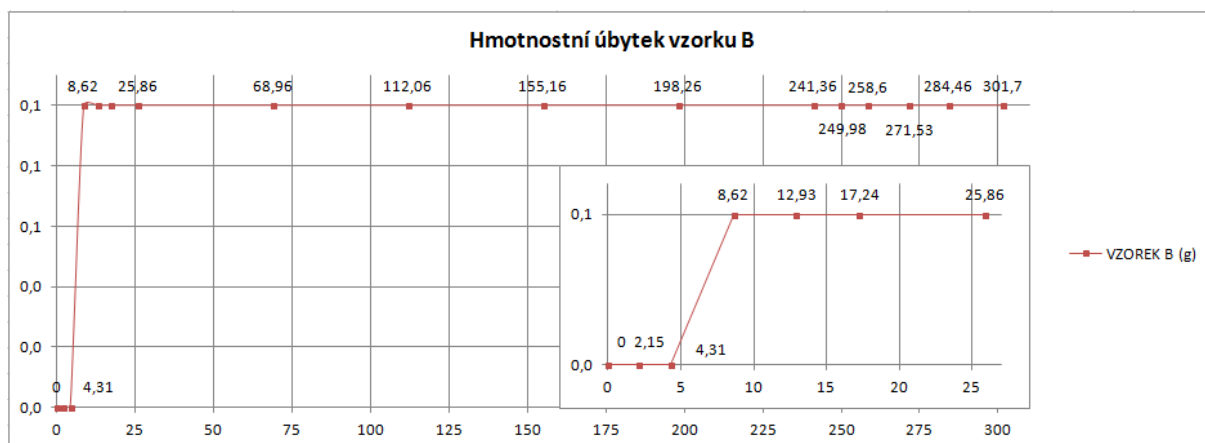


Graf. 3.1 Hmotnostní úbytek vzorků tuhých maziv

Z níže uvedených grafů se lze domnívat, že materiál vzorku B je houževnatější, jelikož se opotřebovával malou intenzitou. Jeho hmotnostní úbytek byl po celou dobu pouze 0,1g, kdežto vzorek A ztratil ze své hmotnosti asi 2,7g.



Graf. 3.2 Hmotnostní úbytek vzorku A v závislosti na ujeté vzdálenosti v km



Graf. 3.3 Hmotnostní úbytek vzorku B v závislosti na ujeté vzdálenosti v km

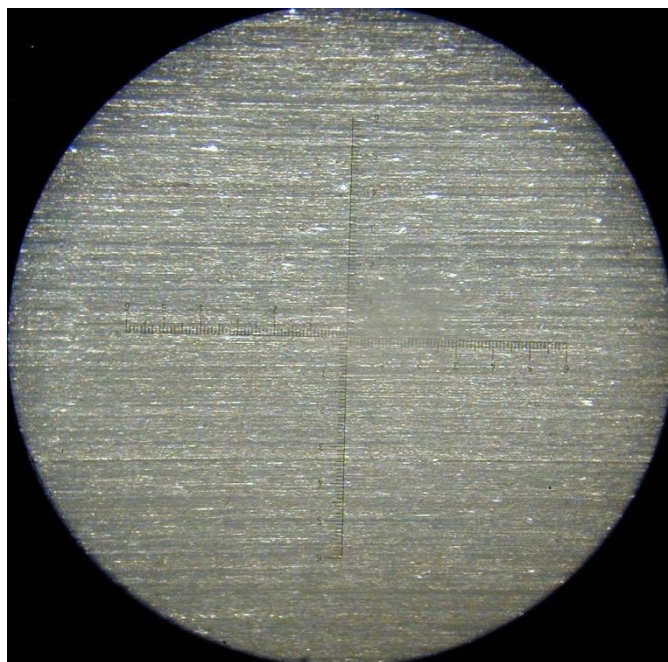
V testu na tvrdost jsem provedl pět měření v jednom řezu každého vzorku, výsledky srovnání vzorku A, a vzorku B jsou uvedeny v Tab. 3.2. Ze středních hodnot vtisků převedených podle vzorce (1) jsem získal hodnoty tvrdosti.

Tab. 3.2 Střední hodnoty vtisků a tvrdostí

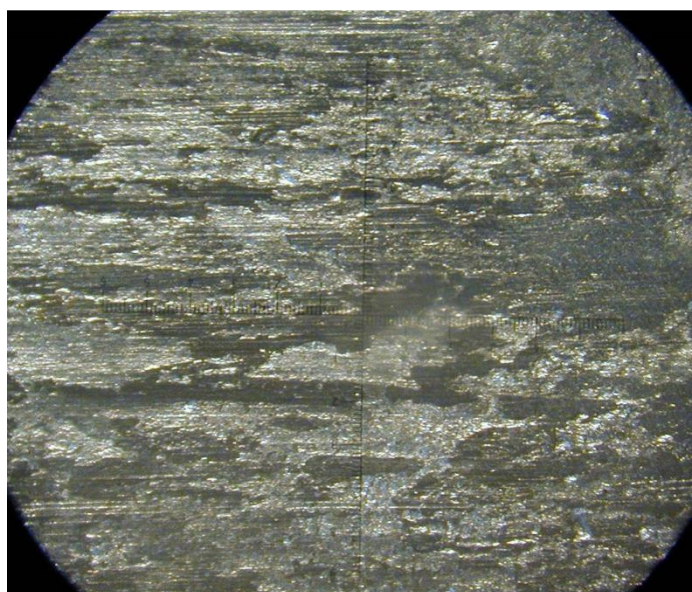
vzorek A			vzorek B		
vtisk	střední hodnota vtisku (mm)	tvrdost	vtisk	střední hodnota vtisku (mm)	tvrdost
1	2,4	3,60	1	2,3	4,27
2	2,45	3,24	2	2,25	4,60
3	2,4	3,60	3	2,3	4,27
4	2,4	3,60	4	2,25	4,60
5	2,4	3,60	5	2,35	3,94
Ø tvrdost	3,52 HBW 2,5/ 25,5		Ø tvrdost	4,33 HBW 2,5/ 25,5	

Z provedeného měření vyplývá, že použitou metodou lze tyto maziva rozlišit. Ovšem vzhledem k výrazným rozdílům chování maziva při kontaktu s mazanou plochou nejsou naměřené rozdíly výrazné. Pro rychlé a jednoduché rozlišení lze navrhnout lomovou zkoušku (nebylo ověřeno).

Rozdíly byly zjištěny rovněž ve vnitřní struktuře srovnávaných maziv. „A“ – homogenní struktura po abrazivním rovnoměrném opotřebení, „B“ – docházelo pouze k přenášení částic a jejich nerovnoměrnému ulpívání na kontaktní ploše, což podstatně ovlivnilo průběh mazání (Obr. 3.13 a Obr. 3.14).



Obr. 3.13 Povrch vzorku „A“ po experimentálním zatěžování



Obr. 3.14 Povrch vzorku „B“ po experimentálním zatěžování

4 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a ověřit metodiku hodnocení tuhých maziv, určených pro modifikaci tření v kontaktním zatížení kolo-kolejnice. S ohledem na to, že pro hodnocení tuhých maziv nebyla vydána žádná ČSN ani ISO norma, bylo nutné metodiku ověřit na základě vlastního měření.

Navržena byla metodika kombinující testování odolnosti maziva proti adhezivně-abrazivnímu opotřebení, doplněna o hodnocení tvrdosti a vizuálního vzhledu opotřebení kontaktní plochy. Pro experimentální ověření bylo upraveno stávající zařízení pro testování kontaktu kolo-kolejnice, vyhotoveny přípravky a provedeny ověřovací experimenty. Ze srovnávacího experimentu dvou vzorků tuhého maziva byly zjištěny konkrétní rozdíly opotřebení v závislosti na ujeté dráze. Pro hodnocení tvrdosti jsme vycházely z normy ČSN EN ISO6506 – 1 Zkouška tvrdosti podle Brinella. Předepsané normativní podmínky bylo nutné modifikovat pro zkoušku tuhých maziv. V rámci práce byla navržena vhodná kombinace zatížení, identoru a minimálního rozměru měřeného vzorku tuhého maziva. Navržený postup měření byl opět ověřen vlastním měřením tvrdosti srovnávaných tuhých maziv. Vzorek A vykazoval tvrdost 3,52 HBW 2,5/ 25,5 a vzorek B má tvrdost 4,33 HBW 2,5/ 25,5. Z těchto poznatků vyplývá, že vzorek B je houževnatější, zatímco vzorek A je křehčí, což odpovídá zjištěnému charakteru opotřebení. Tato metodika může být aplikována i na další vzorky tuhých maziv.

Pro stanovení rychlého posouzení kvalit tuhého maziva, by stačil provádět pouze jeden z těchto dvou testů. Pro kontrolu bych však navrhoval provádět oba testy. Pro rychlé a jednoduché rozlišení lze navrhnout lomovou zkoušku (nebylo ověřeno). Vhodným doplnění informací by bylo také zjištění o kvalitě pevného mazacího filmu, která obě maziva na okolku vytvářejí a hodnocení vlivu maziva na opotřebení materiálu kola, resp. kolejnice, což požitě zařízení umožňuje. Pokud bych prováděl všechny testy naše poznání o vlivu maziva na styk kolo – kolejnice by byl zcela kompletní. Podle údajů výrobce tyto maziva nikterak nekontaminují okolní životní prostředí, ani se mazivo nepřenáší na hlavu kolejnice.

Použitá literatura

- [1] ŠTĚPINA, Dr. Ing. Václav a Prof. Ing. Václav VESELÝ, DrSc. *Maziva a speciální oleje*. Bratislava: Slovenská akadémievied, 1980. ISBN 1197/I-1973 71-035-80 509/58 03/6.
- [2] *REOTRIB 2010: Pevná maziva a možnosti jejich využití v tribotechnice*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2010. ISBN 978-80-7080-748-4.
- [3] ČSN EN ISO 6506-1. *Kovové materiály - Zkouška tvrdosti podle Brinella: Část 1: Zkušební metoda*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006.
- [4] GESTORSKÝ ÚTVAR, České dráhy. *S 67 vady a lomy kolejnic*. Praha, 1997.
- [5] MACHALÍKOVÁ, Jaroslava. *Tuhá maziva: studijní opora*.
- [6] Maziva. *Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu* [online]. 2012 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.cappo.cz/ropne-vyrobky/maziva/>
- [7] Ekologické maziva na bázi esteru splňují vysoké technologické a ekologické požadavky. In: STAŠA, Radim. *TRIBOTECHNIKA* [online]. TechPark, 2012 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32012/ekologicke-maziva-na-bazi-esteru-splnuji-vysoke-technologicke-a-ekologicke-pozadavky.html>
- [8] KUBÍČEK, Lukáš. Řešení problémů vzniklých třením. In: *TRIBOTECHNIKA* [online]. 2009 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22009/reseni-problemu-vzniklych-trenim.html>
- [9] *Metodika měření zkoušky tlakem kovových materiálů* [online]. Pardubice, 2010 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://dspace.upce.cz/handle/10195/36513>. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera.