

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav strojírenské technologie



Tribologie rozebíratelných spojů

Diplomová práce

Vypracoval:

Bc. Michal Kuběnka

Konzultant:

Ing. Zdeněk Hazdra

Vedoucí práce:

doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Praha 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorských zákonů).

V Praze dne

.....

Michal Kuběnka

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc. a Ing. Zdeňku Hazdrovi za cenné rady při vedení mé diplomové práce.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

Program:	Strojní inženýrství	
Obor:	Výrobní a materiálové inženýrství	
Název diplomové práce:	Tribologie rozebíratelných spojů	
Autor diplomové práce:	Bc. Michal Kuběnka	
Konzultant diplomové práce:	Ing. Zdeněk Hazdra	
Vedoucí diplomové práce:	doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.	
Rozsah diplomové práce:	Počet stran:	83
	Počet obrázků:	47
	Počet tabulek:	36
	Počet grafů:	17
	Počet příloh:	1x CD

Anotace:

První část diplomové práce se zabývá tribologií, třením a popisem tribologické zkoušky. Následně byla popsána rozebíratelná spojení strojních součástí. V druhé části je popsán experiment, který byl proveden na tribometru TOP3. Na připravených vzorcích byl zjišťován koeficient tření s použitím různých maziv a povlaků.

Klíčová slova: tribologie, tření v závitech, rozebíratelné spoje, šroubové spoje, kluzné laky

Annotation:

The first part of master thesis deals on tribology, friction and description of tribological examination. The dismountable connections of the mechanical parts were described. In the second part is described the experiment, which was performed on a tribometer TOP3. On prepared samples was determined the friction coefficient with using various lubricants and coatings.

Keywords: tribology, friction in threads, demountable connection, screw connections, sliding varnishes

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Tribologie	8
2.1	Tribologický systém.....	8
3	Tření.....	9
3.1	Vnější tření.....	10
3.1.1	Kluzné (smykové) tření.....	10
3.1.2	Valivé tření	11
3.2	Vnitřní tření	12
4	Metoda tribologické zkoušky	13
5	Spojování strojních součástí	14
5.1	Šroubové (závitové) spoje.....	14
5.1.1	Materiály spojovacích součástí.....	18
5.1.2	Základní geometrie závitu	20
5.1.3	Utahovací a povolovací moment	21
5.1.4	Samosvornost.....	24
5.1.5	Tření v závitech	25
5.1.6	Mazání.....	25
5.1.7	Selhání	31
5.1.8	Povrchové úpravy šroubových spojení.....	33
6	Praktická část.....	38
6.1	Příprava zkušebních vzorků.....	39
6.2	Měření drsnosti desek a tablet	39
6.3	Návrh závitu šroubu s ohledem na tlak p v závitech	42
6.4	Galvanické zinkování ve slabě kyselé lázni	44
6.5	Nanesení kluzného laku GLEIT GL 220.....	47
6.6	Popis experimentu - maziva.....	49
6.7	Vyhodnocení naměřených dat	51
6.8	Vyhodnocení koeficientů tření.....	52
7	Diskuze	67
8	Závěr.....	68
	Použitá literatura a zdroje	70
	Seznam obrázků	73
	Seznam tabulek	75
	Přílohy.....	77

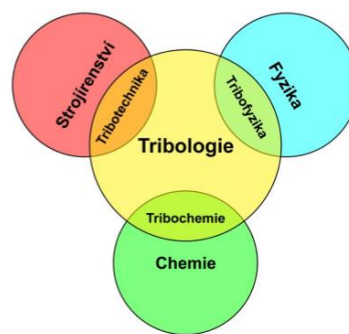
1 Úvod

Přísné bezpečnostní požadavky šroubových spojů v leteckém nebo automobilovém průmyslu kladou nemalé požadavky na kvalitu výroby, funkčnost a povrchové úpravy. Nejdůležitějším faktorem ovlivňující spolehlivost a životnost šroubového spoje je napínací síla, na kterou má vliv koeficient tření a točivý moment. Koeficient tření a rozptyl hodnot výrazně závisí na použitém mazivu. Z hlediska parametrů týkajících se utahování spojovacích prvků má hodnota koeficientu tření pod hlavou (50 %) a koeficientu tření v závitě (40 %) největší vliv na napětí šroubu. Nutností je kontrolovat tyto parametry a minimalizovat jejich rozptyl, aby bylo zajištěno správné smontování. Průzkumy autoservisů v USA ukazují, že 23 % všech servisních problémů, bylo spojeno s uvolněním rozebíratelných spojení. U 12 % nových automobilů byly zjištěny problémy související s povolením spojovacích prvků. Stejně problémy spojené s rozebíratelnými spojeními se vyskytují v mnoha dalších průmyslových odvětvích. Hlavním důvodem uvolnění spojovacích prvků je nevhodné utažení. Selhání kompletního výrobku může být způsobeno jediným šroubem, který byl nesprávně nebo nedostatečně dotažen. Proto je dnes kladeno více a mnohem přísnější požadavky na kvalitu spojovacích prvků. [1]

Cílem této práce je kvantifikovat a porovnat vliv aplikace různých povrchových úprav a maziv na zlepšení tribologických parametrů a koeficientu tření. Tření výrazně ovlivňuje předepínací sílu v ose rotace po dotažení šroubového spojení dle předepsaných parametrů.

2 Tribologie

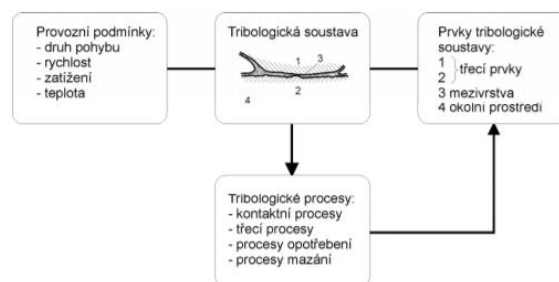
Vědecký obor tribologie se zabývá studiem, popisem tření, mazáním a opotřebením funkčních dvojic. Zkoumá působení povrchů při jejich vzájemném kontaktu a pohybu. Jednou z hlavních náplní tohoto oboru je vývoj vhodných maziv, zamezení opotřebenění a prodloužení životnosti. Tribologické poznatky jsou využívány při konstrukci a výběru vhodných materiálů pro výrobu strojních součástí. Tření je způsobeno pasivními odpory proti pohybu, které vznikají v důsledku vzájemné interakce povrchů. [2, 3, 25, 36]



Obr. 1 Tribologie jako základní kámen vědních oborů [21]

2.1 Tribologický systém

Tribologický systém tvoří třecí povrchy, které jsou ve vzájemném kontaktu a pohybu s případnou mezivrstvou maziva. Na tuto soustavu *působí* různé vlivy okolního prostředí. V tomto systému dochází k tribologickým procesům kontaktním, třecím, procesům opotřebenění a mazání. Tyto děje jsou ovlivněny provozními podmínkami (zatížením, teplotou, rychlostí a druhem pohybu), jenž mění strukturu a vlastnosti tribologické soustavy. Za určitých podmínek může dojít k nadměrnému tření, opotřebenění, nestabilitě, povrchovému poškození až únavovému lomu. [25]



Obr. 2 Tribologický systém [25]

3 Tření

Tření je způsobeno interakcí povrchů za vzniku pasivních odporů působících proti pohybu. Vliv tření může být pro daný systém prospěšný, ale i nežádoucí. Tento technicko-fyzikální jev je užitečný například při snaze o co nejrychlejší zastavení vozidla, kdy požadujeme maximální hodnoty koeficientu tření mezi pneumatikou a vozovkou. Dále člověk využíval tření pro vznik tepla a ohně. Nutností bylo také snažit se o co nejmenší tření při manipulaci s velkými a těžkými předměty. Z tohoto důvodu jsou používána maziva, která vytváří kontaktní mezivrstvu a zamezuje bezprostřednímu styku povrchů. Zmenší se tření a opotřebení.

Důsledkem tření je ztráta mechanické energie a opotřebení materiálu. Jedná se o degradační proces, při kterém dochází k úbytku materiálu. Těchto procesů je využíváno ve výrobě při operacích: broušení a řezání. Tření závisí na drsnosti povrchu, síle a hmotnosti tělesa. [25, 36]

Účinky a následky tření jsou:

- třecí síly a momenty
- přeměna mechanické práce na teplo
- opotřebení

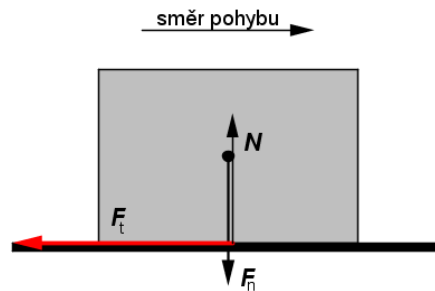
Z pohledu velikosti třecích sil je snahou dosáhnout co nejmenších pasivních odporů, v některých případech naopak co největších. Nejmenší třecí síly jsou požadovány v ložiscích, motorech a dalších strojních součástech. V těchto případech se snažíme o co nejefektivnější využití energie bez změny na energii tepelnou. Naopak účinků tření je využíváno u řemenových převodů, kde je využíváno tření pro přenos síly. Brzdy automobilů potřebují dosáhnout co největšího tření pro rychlé a bezpečné zastavení. Dalším příkladem jsou tkaničky u bot, které drží zavázané. Hřebík, či šroubové spojení plní svou funkci pouze za předpokladu samosvornosti závitu a vzniku třecí síly. [36]

3.1 Vnější tření

3.1.1 Kluzné (smykové) tření

Součinitel kluzného tření je dán vztahem dle Coulombova zákona, který tento jev popsal a experimentálně vyzkoušel v roce 1799.

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} [-] \quad (3.1)$$



Obr. 3 Smykové tření [11]

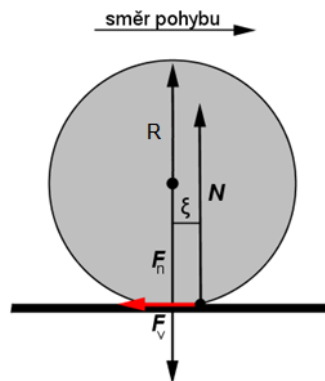
Součinitel tření je označován μ . F_t je třecí síla, která působí proti směru pohybu a kolmo na tuto sílu působí přitlačná síla F_n . Koeficient tření je menší, když je těleso v pohybu. Rozlišují se dva druhy koeficientu tření, statický a dynamický. Statické tření je o 20 až 30 % větší než dynamické. [11, 36]

Tab. 1 Součinitele smykového tření pro různé kombinace třecích dvojic [2]

Materiály stykových ploch	Za klidu	Za pohybu
	μ_0	μ
Ocel / ocel – suché	0,15	0,1
Ocel / bronz – suché	0,18	0,16
Ocel / bronz – dobře mazáno	0,1	0,01
Ocel / led	0,027	0,014
Guma / asfalt – sucho	0,85	0,3
Guma / asfalt – mokro	0,2 – 0,5	0,15
Guma / dlažba (malé kostky) – sucho	0,7	
Guma / dlažba (velké kostky) – sucho	0,6	
Guma / beton – suché	0,7 – 0,8	
Guma / náledí	0,1 – 0,2	
Brzdový buben (litina) / oblož. Ferodo		0,25 – 0,35
Řemenice (ocel) / řemen (kůže, pryž)		0,2 – 0,9
Spojka lamela / oblož. textil / olej		0,1

3.1.2 Valivé tření

Pokud se těleso kruhového průřezu odvaluje po podložce, vzniká takzvané valivé tření. V porovnání s kluzným (smykovým) třením je valivé 10x až 20x menší. Proto se pro uložení otáčivých částí používají ložiska, která sníží tření, a tedy působící síly. [2, 4, 12]



Obr. 4 Valivé tření [12]

Normálová síla F_n působí v těžišti směrem dolů. Opačně působí síla N , která je posunuta o vzdálenost ξ . Vzdálenost ξ je rameno valivého odporu. Síla potřebná pro valení je značena F_v a vypočítá se dle následujícího vzorce. [12]

$$F_v = \xi \frac{F_n}{R} [N] \quad (3.2)$$

Tab. 2 Ramena valivého odporu různých příkladů [36]

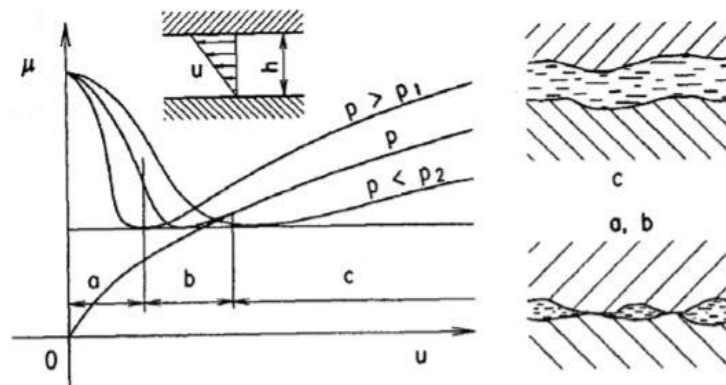
Materiály kola (válec) / podložka	Poloměr R [mm]	Rameno ξ [mm]
Měkká ocel / měkká ocel	30	0,5
Tvrdá ocel / tvrdá ocel	30	0,03
Gumová kola plná / asfalt	30	1,6
Ocelové kolo / ocelová kolej	30	0,4

3.2 Vnitřní tření

Tření se rozděluje do čtyř skupin dle toho, jak jsou stykové plochy mezi tělesy odděleny od sebe. Jedná se o:

- tření suché (bez maziva)
- tření s tuhým mazivem
- tření s kapalným mazivem
- tření s mezivrstvou plynu

Při tření s přítomností maziva může docházet k občasnému dotyku mikronerovností povrchů. V tomto případě se jedná o smíšené tření, které v technické praxi nastává velmi často. Smíšené neboli mezní tření je dáno velmi malou tloušťkou kapalného maziva (několik molekul). Na obrázku jsou Stribeckovy křivky, které znázorňují závislost součinitele tření na rychlosti pohybu stykových ploch. V oblasti a) dochází k suchému tření, kde snižující rychlostí dochází k odírání povrchů až k jejich zadření. Následuje oblast b) smíšené tření, při kterém klesá opotřebení vlivem zvyšující rychlosti. V oblasti kapalného tření c) jsou vrcholky nerovností pokryty mazivem. Snahou je dosáhnout kapalného tření, protože dochází k minimálnímu opotřebení povrchů. [2, 36]



Obr. 5 Stribeckovy křivky [36]

Tab. 3 Velikost součinitele tření s různými mazivy [2]

Třecí stav	Mazivo	Koeficient tření
Tření pevných těles	-	0,01 – 0,25
Smíšené tření	Částečné mazivo	0,01 – 0,2
Kapalné tření	Kapalné mazivo	0,01 – 0,1
Valivé tření	Valivé těleso	0,001 – 0,0001
Plynové tření	Plyn, stlačený vzduch	0,0001 – 0,0005

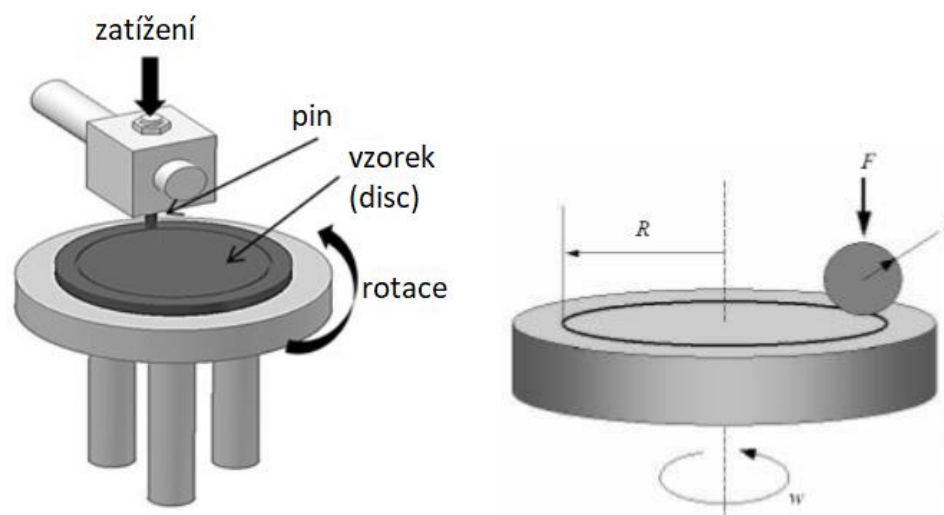
4 Metoda tribologické zkoušky

Tribologická zkouška se provádí na zařízení zvaném tribometr. Měřicí část tribometru musí být izolována od okolního prostředí, aby naměřené výsledky nebyly zkresleny. Izolování prostoru pro měření je zabezpečeno použitím ochranného krytu, kterým dosáhneme stálých podmínek. Uvnitř krytu je třecí snímač a v jeho okolí je sledována teplota a vlhkost. Pro testování třecích dvojic existuje více druhů pohybu V této části je představena metoda pin on disc a v experimentu popsána metoda pin on table. [21]

Metoda PIN on DISC

Principem metody PIN on DISC je vtlačování definovanou silou fixně uchyceného tělíska (pinu) ve tvaru kuličky do rotujícího vzorku. Poloměr vznikající kružnice nesmí být moc malý, aby naměřené hodnoty opotřebení nebyly ovlivněny vznikajícím teplem. Naměřený koeficient tření a rozsah opotřebení jsou ovlivněny parametry:

- Zatěžující síla
- Velikost stykové plochy – geometrie pinu tělíska
- Relativní rychlost pohybu mezi kuličkou a vzorkem
- Počet cyklů
- Teplota povrchu vzorku
- Okolní prostředí (vlhkost, teplota) a maziva
- Stav a kvalita povrchu vzorku
- Fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu vzorku a tělíska [23, 24]



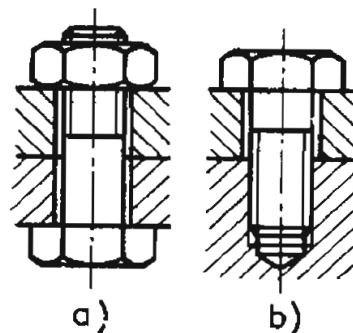
Obr. 6 Princip metody PIN on DISC [22]

5 Spojování strojních součástí

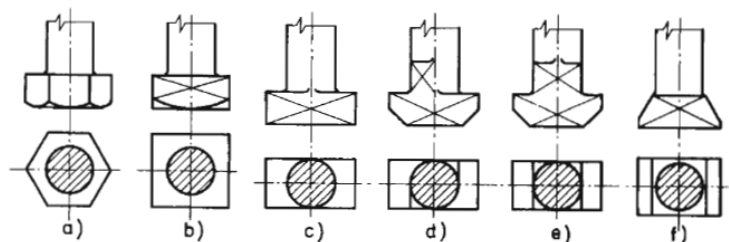
Strojní součásti lze spojovat rozebíratelným a nerozebíratelným způsobem. Výběr vhodného spojení závisí na jeho funkci, způsobu zatížení, těsnosti, pohyblivosti, splnění požadavků na pevnost a atd. Spoj dále musí navržen tak, aby bezpečně vydržel provozní zatížení. Rozebíratelné spojení má tu výhodu, že lze snadno rozebrat a následně zase bez poškození spojit. Mezi tato spojení patří: šrouby, čepy, klíny, kolíky, drážkové spoje, svěrné spoje a nalisované spoje. Nerozebíratelná spojení lze rozebrat pouze s trvalou deformací, či jejich destrukcí. Nelze je znovu spojit. Příklady nerozebíratelných spojení jsou: nýtové spoje, svařované, pájené a lepené. [5]

5.1 Šroubové (závitové) spoje

Šroubový spoj patří mezi nejpoužívanější rozebíratelná spojení. Funkční plochou šroubu a matice je závit. Rozeznáváme tyto typy: maticové šrouby s hlavou a maticí, závrtné šrouby a šrouby a matice pro speciální použití. Většina běžných šroubů a matic je normalizována. Šroub může mít hlavu šestihrannou, čtyřhrannou, tvaru T, válcovou, kuželovou (zápustnou) a půlkulatou. [5]



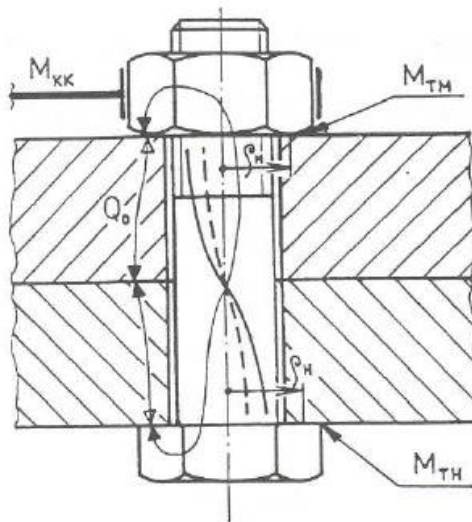
Obr. 7 Příklady šroubových spojení – /a/ šroub s maticí, /b/ závrtný šroub s maticí [5]



Obr. 8 Šrouby s různými typy hlav [5]

Šroubové spoje lze rozdělit z konstrukčního hlediska na spoje:

- **bez předpětí**
Šroubové spoje bez předpětí nejsou příliš časté a používají se zřídka. [30]
- **předepjaté**
Většina šroubových spojů je předepjatá. Při montáži jsou utaženy potřebným kroutícím momentem na relativně velkou vnitřní osovou sílu (montážní předpětí Q_0). Vlivem osově síly se dosáhne potřebné silové vazby kontaktních ploch a pevnosti šroubového spoje jako celku. [30]



Obr. 9 Předepjatý šroubový spoj [30]

- M_{KK} [Nm] - moment na klíči způsobí otáčení matice
 M_{TM} [Nm] - třecí moment pod maticí
 M_Z [Nm] - moment v závitu
 M_{TH} [Nm] - třecí moment pod hlavou
 ρ_M a ρ_H [mm] - příslušné třecí poloměry
 f_M a f_H [-] - součinitel tření pod maticí a hlavou šroubu

Šroub je namáhán na tah osovou silou Q_0 . Stejnou silou jsou mezi hlavou a maticí šroubu svírány spojované desky. Dle obrázku vzniká uzavřený silový okruh Q_0 vzájemným působením šroubu, matice a spojovaných desek. Při utahování dochází k postupnému nárůstu předpětí vlivem síly Q . Požadované předpětí šroubu je označeno Q_0 . [30]

Osově napětí se vypočítá přes Hookův zákon (4.1).

$$\sigma_t = \varepsilon * E \text{ [MPa]} \quad (5.1)$$

ε [-] - relativní prodloužení

E [GPa] - modul pružnosti v tahu

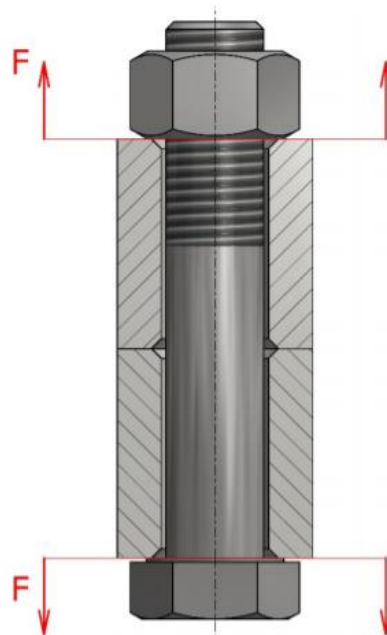
vypočet osově síly je následovný (4.2).

$$Q_0 = \sigma_t * S \text{ [N]} \quad (5.2)$$

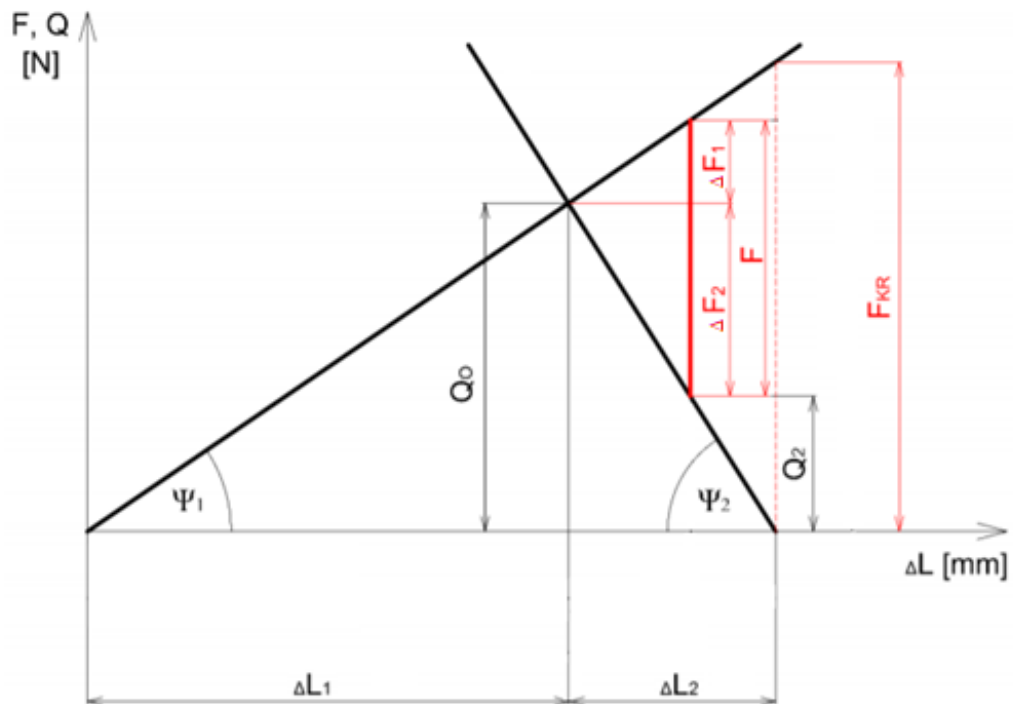
S [mm^2] – průřez dřívku šroubu

Montážní diagram předepjatého spoje:

Montážní diagram slouží k určení maximální osově síly působící na šroub a pro výpočet pevností kontroly předepjatého spoje. Utahováním (předepínáním) šroubového spoje se prodlužuje šroub a zároveň jsou stlačovány dvě části (desky) k sobě. Poměr mezi deformací šroubu a svíraných částí je dán konstantami tuhostí. Pokud zavedeme vnější osovou sílu F , odlehčí se sevřené části a o stejnou hodnotu se zvýší deformace šroubu.



Obr. 10 Osovou silou F zatížený předepjatý šroubový spoj [32]



Obr. 11 Montážní diagram spoje [32]

- Q_0 [N] - montážní předpětí spoje
 ΔL_1 [mm] - deformace (prodloužení) šroubu od montážního předpětí
 ΔL_2 [mm] - deformace (stlačení) sevřených částí od montážního předpětí
 $c_1 = tg \psi_1$ [N/mm] - konstanta tuhosti šroubu
 $c_2 = tg \psi_2$ [N/mm] - konstanta tuhosti sevřených částí
 F [N] - maximální provozní osová síla zatěžující spoj
 ΔF_1 [N] - část osové složky provozní síly přitěžující šroub
 ΔF_2 [N] - část osové složky provozní síly odlehčující sevřené části
 F_{KR} [N] - maximální vnitřní osová síla ve šroubu
 Q_2 [N] - zbytkové předpětí sevřených částí spoje

5.1.1 Materiály spojovacích součástí

Přehled materiálů používaných pro šroubová spojení:

➤ **Uhlíková ocel**

Použití maziv má své opodstatnění i u obyčejných ocelových šroubů. Důvodem je možnost opětovně šroubový spoj uvolnit. Povolování šroubů a matic přináší časté potíže kvůli vysokému namáhání závitových boků. Může dojít k poškození závitu, k zadření šroubového dříku až k úplnému zničení. Při použití maziv, například ve formě past, se na bocích závitů vytvoří kluzný film, který podstatně ulehčuje montáž a demontáž šroubového spoje. [26]

➤ **Austenitická ocel**

Šrouby vyrobené z austenitické ocele vykazují stejné nebezpečí zadření jako z titanových slitin. Jejich mechanické vlastnosti jako houževnatost a tažnost způsobují, že jsou náchylnější k zadírání více než uhlíkové ocele. Za suchého tření je také vyšší součinitel tření 0,2 až 0,4, v mezních případech i 0,5. Vysoký součinitel tření zapříčiní nízkou hodnotu napínací síly.

Použití olejů a tuků nepřináší požadovaný efekt. Proto se musí použít kluzné laky a pasty s tuhými mazivy, které sníží součinitel tření na běžné hodnoty nepoužívanějších ocelových šroubů (0,03 – 0,08). Výhodou je odolnost proti korozi a konstantní houževnatost ve velkém teplotním rozsahu (-200 °C až +500 °C). Z těchto důvodů jsou používány v rafineriích, elektrárnách, jaderných reaktorech, turbínách a chemických zařízeních. Při použití za vyšších teplot by neměly být používány pasty a kluzné laky s obsahem sírníku molybdeničitého. Neboť při vysokém obsahu niklu (přes 13 %) v těchto ocelích způsobí korozi pod napětím (korozi z vnitřního pnutí).

Sírník molybdeničitý (MoS₂) s niklem nereaguje, ale za vysokých teplot se může následkem oxidace odštěpit malé množství síry. Následkem je reakce s niklem a vznik síranu nikelnatého. Reakce vzniká na hranicích zrn a u namáhaných součástí je příčinou vzniku koroze pod napětím. Musí být používána maziva bez obsahu síry, kterou mohou obsahovat i mředěné a hliníkové pasty. [26]

➤ Titanová slitina

Šrouby vyrobené z titanové slitiny se vyznačují vysokou pevností. Jsou vyráběny pro lehké konstrukce, leteckou a kosmickou dopravu a pro motory závodních automobilů. Bez maziva je u těchto šroubů součinitel tření větší než 1 a při montáži by docházelo k zadírání. Z tohoto důvodu musí být použito mazivo. Používají se kluzné laky na bázi sirníku molybdeničitého, nebo grafit. Pro dosažení požadované adheze kluzného laku se základním materiálem musí být provedena předúprava povrchu anodickou oxidací. Tímto postupem lze dosáhnout snížení součinitele tření až na 0,05. Kluzným lakem zamezíme vzniku otěru z kmitavého tření a vznik koroze, které nastává u lehkých konstrukcí vyrobených z titanové slitiny. [26]

Šrouby a matice jsou nejčastěji vyráběny z ocelí s vysokou mezí kluzu. Dle stanoveného silového namáhání je volen materiál s odpovídajícím stupněm kvality. Mechanické vlastnosti stanovuje norma EN ISO 898. Pro šrouby namáhané vysokými teplotami se používají legované oceli. Korozivzdorné legované oceli jsou určeny pro šrouby vystavené agresivnímu prostředí a vysoce namáhané. [5, 6]

Šrouby a matice jsou rozděleny do tříd pevností dle normy ČSN EN 898. Třídy pevnosti šroubů jsou označeny dvojcíslem. První číslo značí setinu minimální pevnosti v tahu $R_m [N/mm^2]$. Druhé číslo značí desetinný poměr meze kluzu $R_e [N/mm^2]$ vůči minimální pevnosti v tahu. Například označení třídy pevnosti šroubu lze identifikovat podle následující rovnice (4.6).

$$R_m = 4 * 100 = 400 \text{ MPa} \text{ a } R_e = (4 * 6) * 10 = 240 \text{ MPa}. \quad (5.3)$$

Tab. 4 Přehled pevnostních tříd šroubů dle ČSN EN ISO 898 – 1 [27]

Třída pevnosti šroubů	Materiál
4.6 4.8 5.6 5.8 6.8	Uhlíková ocel
8.8 9.8 10.9	Uhlíková ocel s přísadami (B, Mn, Cr) kalená a popuštěná Uhlíková ocel kalená a popuštěná Legovaná ocel kalená a popuštěná
12.9	Legovaná ocel kalená a popuštěná
12.9	Uhlíková ocel s přísadami (B, Mn, Cr, Mo) kalená a popuštěná

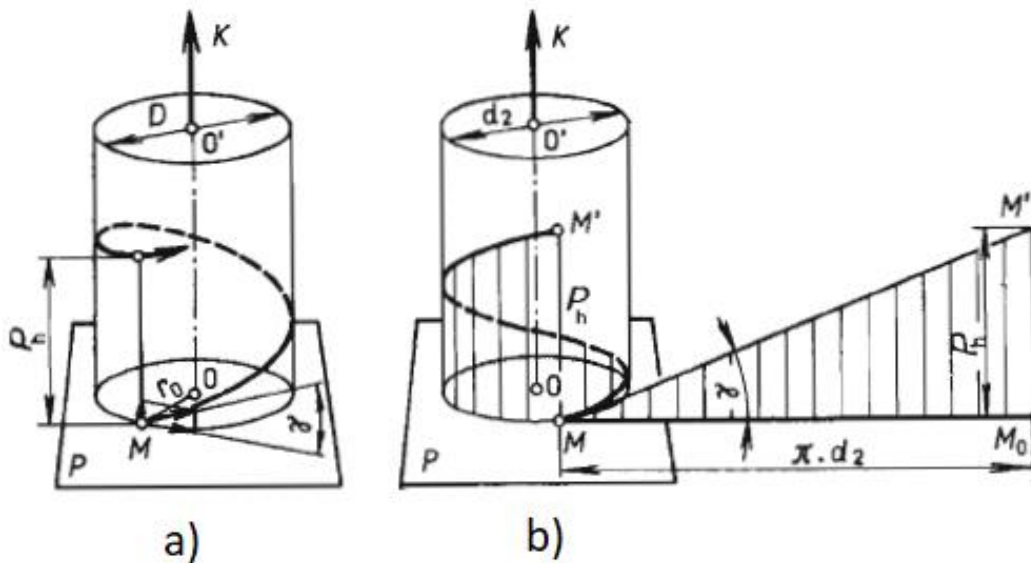
U matic se třída pevnosti udává jedním číslem, které musí být vynásobeno 100, abychom získali minimální pevnost v tahu R_m . Při kombinování šroubů a matic musí mít matice stejnou nebo vyšší třídu pevnosti než šroub. [27]

Tab. 5 Přehled pevnostních tříd matic dle ČSN EN ISO 898 – 2 [27]

Třída pevnosti matic	Materiál
04	Uhlíková ocel
05	Uhlíková ocel kalená a popuštěná
5 6 8 9	Uhlíková ocel
10 12	Uhlíková ocel kalená a popuštěná

5.1.2 Základní geometrie závitu

Všechny body závitu opisují šroubovici tvořenou bodem M. Bod M se otáčí konstantní úhlovou rychlostí kolem osy K a současně se rovnoměrně posouvá ve směru této osy (viz. obr. 7 a). Další způsob vzniku šroubovice je navinutí pravoúhlého trojúhelníka na M , M_0 a M' na válec (viz. obr. 7 b). [5]



Obr. 12 Závít šroubového spoje [5]

P_h [mm] - stoupání závitu, stoupání je nejkratší vzdálenost dvou stejnohlých bodů téhož závitu

γ [°] - úhel stoupání, který je dán vztahem (4.1)

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{P_h}{\pi * d_2} [-] \quad (5.4)$$

d_2 [mm] - střední průměr závitu

5.1.3 Utahovací a povolovací moment

Proces utahování šroubových spojů závisí na kontrole točivého momentu a úhlu otáčení. Kontrola je důležitá pro dosažení požadovaného předpětí šroubového spoje. Pro povolení a utažení šroubu nebo matice zatížené osovou silou F_0 musíme momentovým klíčem dosáhnout součtu momentu odporu v závitech M_z a momentu odporu tření na dosedací ploše hlavy šroubu nebo matice M_m . [5, 10]

$$M = M_z + M_m [N * mm] \quad (5.5)$$

Moment odporu v závitech M_z při utahování se vypočítá podle rovnice:

$$M_z = \frac{1}{2} d_2 * F_0 * \frac{P_h + \pi * d_2 * f_z}{\pi * d_2 - P_h * f_z} [N * mm] \quad (5.6)$$

Moment odporu v závitech M'_z při povolování se vypočítá podle rovnice:

$$M'_z = \frac{1}{2} d_2 * F_0 * \frac{P_h - \pi * d_2 * f_z}{\pi * d_2 + P_h * f_z} [N * mm] \quad (5.7)$$

Moment třecího odporu na dosedací ploše hlavy šroubu nebo matice M_m se vypočítá podle rovnice:

$$M_m \approx \frac{1}{2} d_s * F_0 * f_m [N * mm] \quad (5.8)$$

P_h [mm] - stoupání závitu

d_2 [mm] - střední průměr závitu

f_z [-] - součinitel tření v závitu

f_m [-] - součinitel tření v matici

F_0 [N] - osová síla ve šroubu

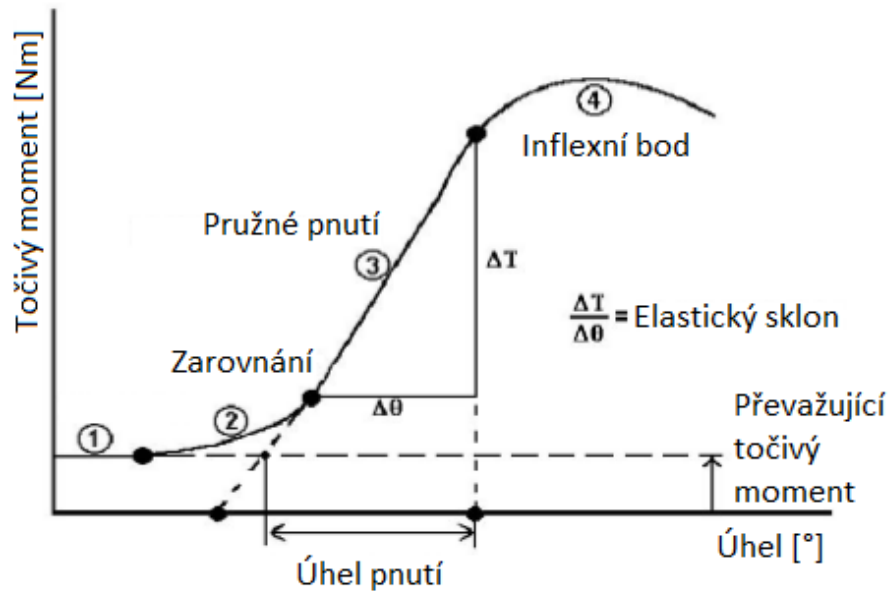
d_s [mm] - přibližný střední průměr stykové plochy matice (hlavy šroubu)

Při utahování dochází k otáčení a posouvání šroubu, narůstání točivého momentu a ke vzniku napětí. Na modelu je znázorněn utahovací moment v závislosti na úhlu natočení. [10]

Na obrázku jsou vyznačeny čtyři zóny při procesu utahování.

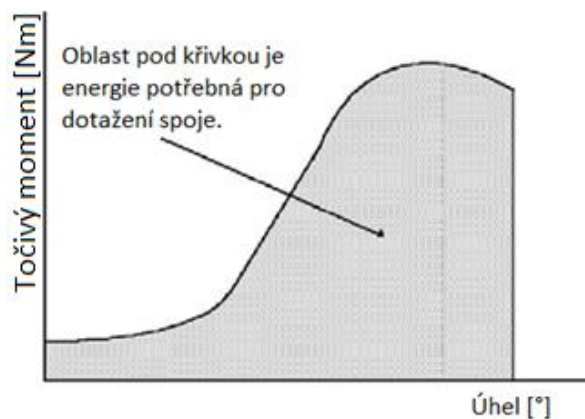
- 1) V první zóně dochází k zabíhání, u kterého převládá utahovací moment. První zóna nastává před tím, než se hlava šroubu nebo matice dotkne povrchu se závitem. [10]
- 2) Druhá zóna se nazývá zarovnávací. Vznikne zarovnáním spojovacího prvku a dosedací plochy za vzniku těsného spojení. [10]

- 3) Třetí zóna je pružná upínací, kde sklon křivky je závislostí uťahovacího momentu na úhlu otočení konstantní. [10]
- 4) Poslední je oblast za mezí kluzu. Na konci elastické zóny začíná inflexním bodem. [10]

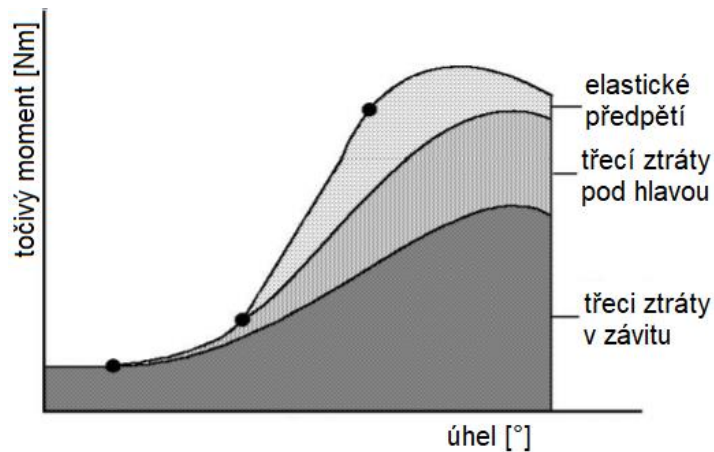


Obr. 13 Model procesu uťahování [10]

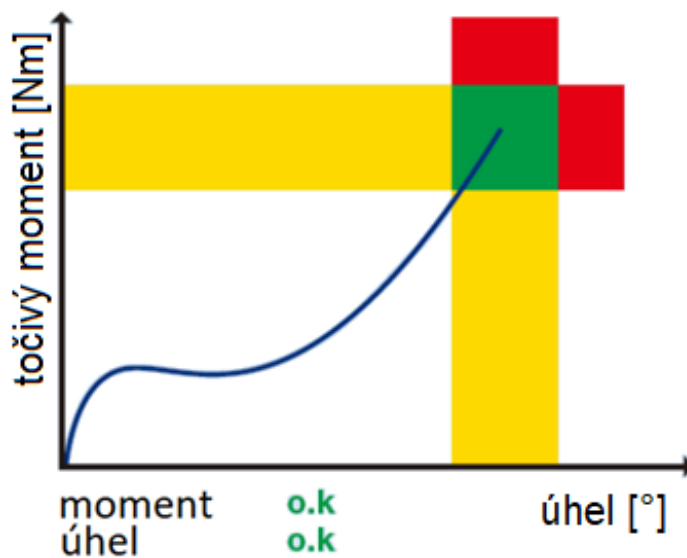
Proces uťahování šroubových spojů je v podstatě proces přenosu energie. Vyznačená plocha pod křivkou je energie potřebná pro dotažení spoje. [10]



Obr. 14 Energie potřebná pro dotažení spoje [10]



Obr. 15 Závislost utahovacího momentu na úhlu pootočení [10]



Obr. 16 Dotažení na požadovaný moment a úhel [14]

5.1.4 Samosvornost

Samosvornost je vlastnost, při které působením osové síly na šroub nedochází k samovolnému otáčení. Závity běžných šroubů jsou samosvorné, aby za provozu nedošlo k jeho povolení. Podmínkou samosvornosti je, že úhel stoupání šroubovice musí být menší, nebo rovno úhlu tření. [5, 6]

$$\gamma \leq \varphi' \quad (5.9)$$

γ [°] - úhel stoupání šroubovice

φ' [°] - redukovaný úhel tření

5.1.5 Tření v závitech

Velikost tření v závitech a ve stykové ploše matice nebo hlavy šroubu jsou ovlivněny: použitým materiálem, drsností dotýkajících se ploch, povrchovou úpravou, mazivem a velikostí zatížení. [5]

Tab. 6 Příklady součinitele tření v závitech f_z [5]

Povrch závitu šroubu	Nemazaný	Mazaný
Neupravený (kovově lesklý)	0,20 – 0,35	0,16 – 0,24
Fosfátovaný	0,28 – 0,40	0,17 – 0,30
Pozinkovaný	0,15 – 0,35	0,14 – 0,18
Kadmiovaný	0,10 – 0,18	0,10 – 0,17

Menší hodnoty součinitele tření v závitech odpovídají nižším zatížení šroubového spojení. Průměrné hodnoty součinitele tření ve stykové ploše (f_m) jsou 0,15 – 0,22. Mnohem nižší hodnoty mají mazané stykové plochy. [5]

5.1.6 Mazání

Výběr vhodného maziva závitů ve šroubových spojích má významný vliv na dosažení napínací síly. Podstatně prodlužuje životnost spoje, neboť vrstva maziva snižuje pnutí v závitu, dřík šroubu je méně namáhán na krut a mnohem snáze po sobě povrchy kloužou. V případě absence maziva dochází při utahování k vzniku povrchových kapilár a třením se spoj svaří za studena.

K tomuto nepříjemnému jevu dochází nejčastěji u šroubů vyrobených z vysoce legovaných materiálů, nejčastěji z austenitické oceli. Tento typ oceli nemá na svém povrchu tenkou vrstvu oxidů, která by snížila tření. Součinitel tření mezi ocelí je větší než 0,3 a pro dosažení větších svěrných sil se použije mazivo s malým součinitelem tření. [7]

Snížení koeficientu tření lze docílit použitím:

 ➤ **Mazacích olejů**

Nevýhodou použití olejů je rychlá degradace, karbonizace a změna viskozity. Dalším problémem je nedostatečná odolnost proti tlakům při utahování spoje a následnému zadření závitů. Oleje jsou náchylné k vytékání, vyschnutí a vzniku koroze u šroubového spoje. [7, 26]

 ➤ **Plastických maziv**

Plastická maziva mají stejné nevýhody jako oleje. Je to způsobeno jejich chemickým složením, jelikož hlavní složkou jsou minerální oleje (až 85 %). [26]

 ➤ **Tuhých maziv**

Tuhá maziva jsou pevné látky, které jsou schopné oddělit od sebe povrchy, jež po sobě kloužou. Výhoda tuhých maziv spočívá v odolnosti za vyšších teplot a tlaku. Proto jsou s kluznými laky vhodným mazivem pro šroubové spoje. Používaným mazivem je grafit, který odolává teplotám okolo 600° C. Mezi další používaná maziva patří sirník molybdeničitý, měď, hliník, olovo a nikl. [7, 26]

 ➤ **Kluzných laků**

Výhodou kluzných laků je velmi nízký součinitel tření ($\mu \approx 0,03$), ale pouze v případě dodržení technologického postupu. Kluzné laky jsou aplikovány v bubnu. Následuje sušení a pro zvýšení odolnosti se vypalují. [7, 26]

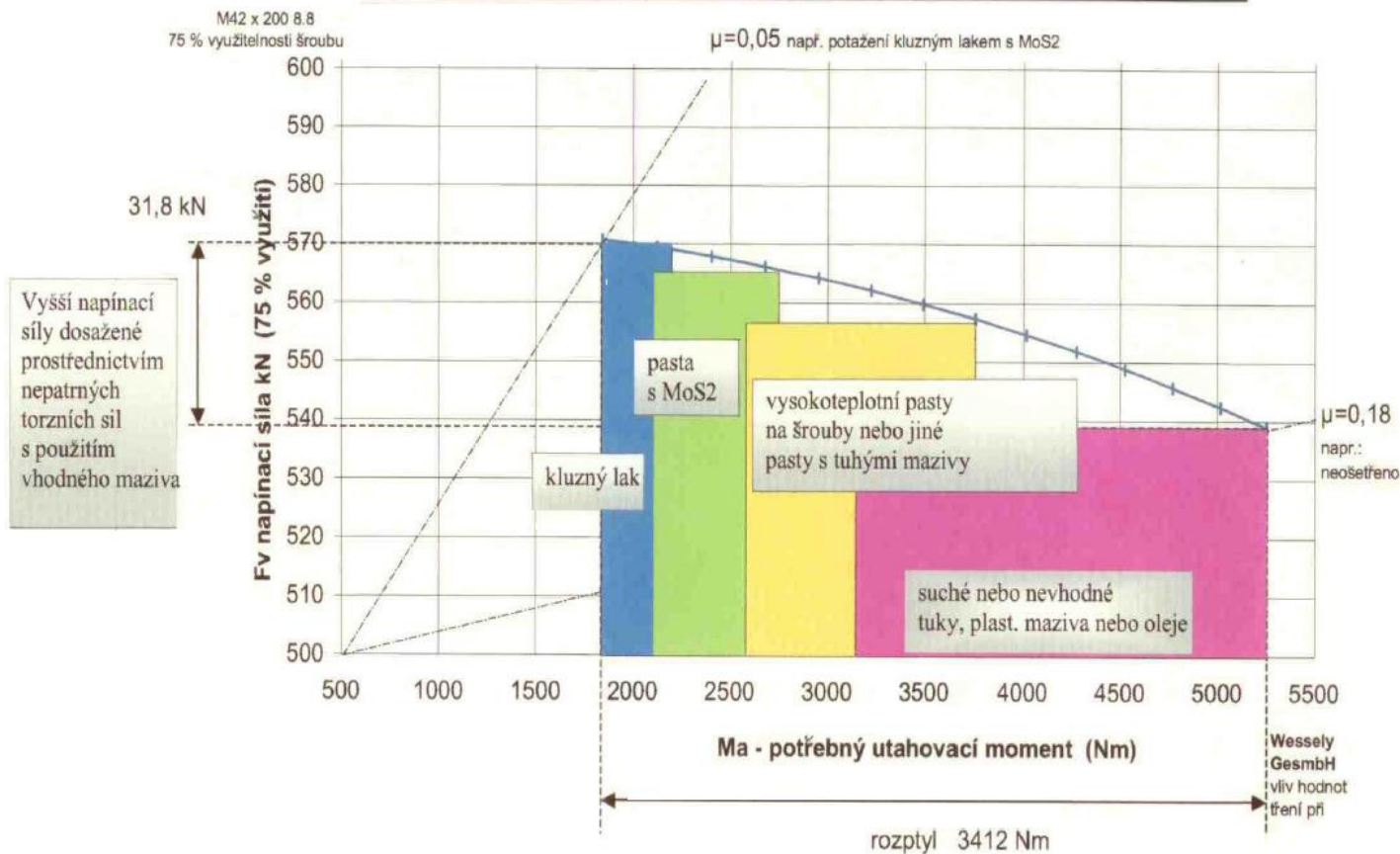
Tab. 7 Přehled tuhých maziv a jejich vliv na utahovací moment, rozptyl a součinitel tření (šroub M12) [26]

	Utahovací moment F_M [N]	Rozptyl δ [Nm]	Souč. tření μ [-]
Materiál: 8.8, černěný, konstantní napínací síla 34 kN			
Minerální olej	70 = 100 %	5	0,13
Pasta s MoS_2	45 = 64 %	5	0,07
Materiál: 8.8, pozinkovaný, konstantní napínací síla 50 kN			
Bez maziva (ve stavu při dodání)	93 = 100 %	53	0,17
Pasta s MoS_2	45 = 48 %	5	0,07
Pasta s Cu	57 = 61 %	0	0,10

	Utahovací moment F_M [N]	Rozptyl δ [Nm]	Souč. tření μ [-]
Materiál: A2, konstantní napínací síla 27 kN			
Bez maziva (ve stavu při dodání)	101 = 100 %	17	0,25
Pasta s MoS_2	40 = 40 %	5	0,09
Pasta s Cu	53 = 52 %	6	0,12
Kluzný lak s MoS_2	36 = 36 %	0	0,07
Kluzný lak s grafitem	25 = 25 %	5	0,06

Tření – utahovací moment - napínací síla

Wessely GesmbH



Obr. 17 Srovnání maziv a jejich účinek na tření, utahovací moment a napínací sílu [28]

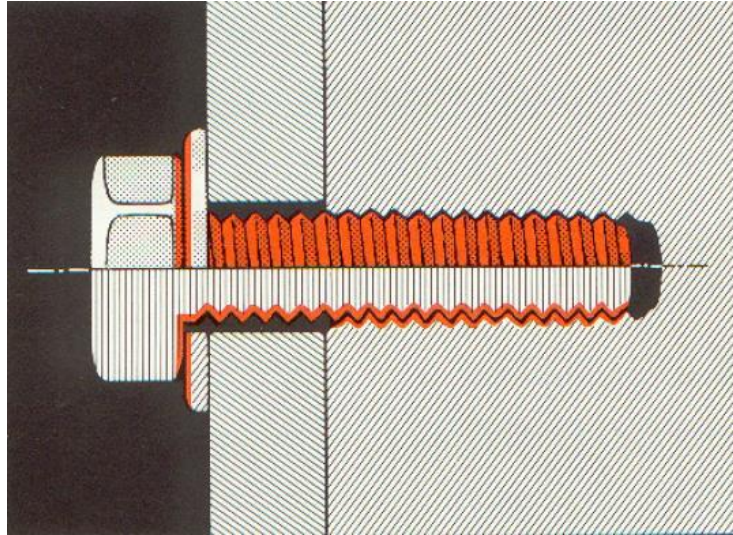
Tab. 8 Vlastnosti tuhých maziv [26]

	Sírník molybdeničitý (MoS_2)	Grafit (C)	Teflon (PTFE)	Hliník (Al)	Měď (Cu)	Nikl (Ni)
Barva	Šedočerná	Černá	Bezbarvá	Stříbrná	Červená	Šedá
Tvrдость (Vickers)	1,26 - 1,43	0,89 - 1,26	<1,26	1,42 - 1,61	1,53 - 1,62	1,76
Hustota [g/cm^3] při 15 °C	4,8	2,1 - 2,3	2,2	2,7	8,9	8,9
Krystalická struktura	Šestiúhelníková vrstvená mřížka	Šestiúhelníková vrstvená mřížka	Část. krys. polymerový molekul. řetězec	Kubická	Kubická	Kubická
Rozpustnost		Nerozpustný	Nerozpustný	Rozpustný v kyselinách	Nerozpustný	Nerozpustný
Teplota použití [°C]	300	600	260 - 300	600, prášek hoří za přítomnosti vzduchu	1100	1400
Součinitel tření	0,03 - 0,1	0,1	0,01 - 0,25	0,15	0,13	0,25
Chemická stálost	Velmi stálý	Velmi stálý	Velmi stálý	Nestálý	Stálý	Stálý
Odolnost proti korozi	Špatná	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Dobrá
Zatížitelnost	Velmi dobrá (2)	Přiměřená	Malá	Přiměřená	Přiměřená	Přiměřená
Produkty rozpadu při oxidaci	MoO_3, SO_2	CO, CO_2	C_2F_4	Al_2O_3	CuO	NiO

- 1) Koeficient tření závisí na mnoha faktorech (tlaku, kluzné rychlosti, vlhkosti, kluzných párů a dostatečného mazání).
- 2) Kluzný film je odolný proti tlaku až k mezi pružnosti všech známých kovů. Tvrдость součástek, které se třou, musí být větší než tvrдость tuhých maziv, které je od sebe oddělují.

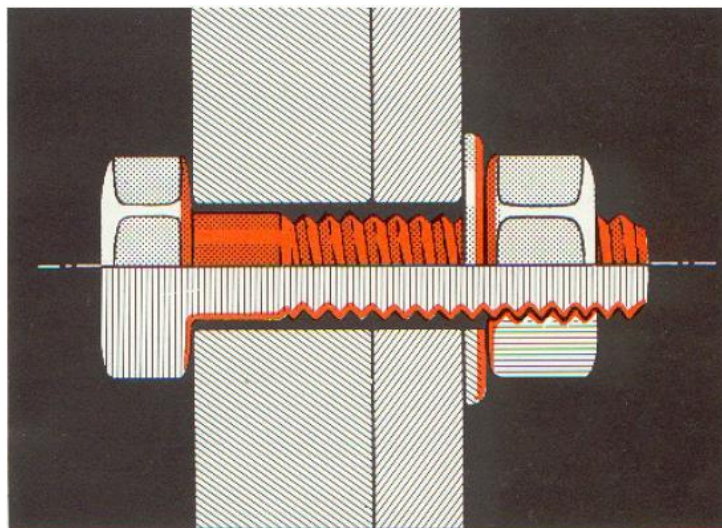
Příklady správného mazání šroubových spojů:

Na obrázku šroubového spoje jsou oranžově vyznačená výrazně namáhaná místa, která je potřeba ošetřit mazivem. U šroubu bez matice je potřeba namazat třecí plochy mezi závitem šroubu a díry. Dále je potřeba ošetřit dosedací plochu hlavy šroubu a podložky. [33]



Obr. 18 Šroub s podložkou [33]

Šroub s maticí má nejvíce namáhané místo mezi závitem šroubu a matky. Také je potřeba namazat dosedací plochu šroubu, matky a podložky. [33]



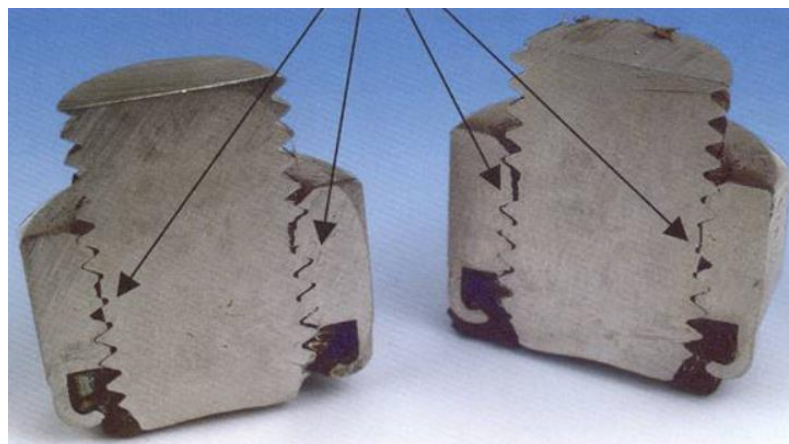
Obr. 19 Šroub s podložkou a maticí [33]

5.1.7 Selhání

Důvodem nejčastějšího selhání funkce šroubového spoje je nedostatečná napínací síla. V důsledku vibrací nastane únavový lom šroubu a selhání šroubového spoje. Pro dosažení požadovaného předepnutí šroubového spoje je nutné dotažení stanoveným krouticím momentem, pootočení o určitý úhel, či kombinací těchto utahovacích úkonů (například u předepjatých šroubů na ojnicích spalovacích motorů). K tomuto účelu se používají momentové klíče a přípravky pro měření úhlu pootočení. [8, 13, 14]

Další příčinou bývá zadření v důsledku vzniku vysokých kontaktních tlaků a následný vznik mikro-svarů. Utahováním šroubového spoje dochází ke kontaktu závitů, šroubu a matice. Vzniká tření, které je způsobeno drsností třecí dvojice. Při nedostatečném mazání nebo v důsledku koroze se zvyšuje tření a dochází k zahřívání spoje. Závit se zadrhne a při dalším utahování se šroub zlomí. Na zadření jsou nejvíce náchylná šroubová spojení vyrobená z austenitické, nebo korozivzdorné oceli a hliníku. [8, 13, 14]

Pokud jsou šroubové spoje vystaveny vyšším teplotám, dochází k namáhání vlivem tepelného roztahování. V závislosti na použitém materiálu šroubů vzniká tvrdá a křehká vrstva okují. Vzniklá vrstva v závitě znemožní povolit šroubový spoj. Koroze může poškodit nejčastěji nelegované oceli. Každý závit má boční vůli. Při utahování šroubu táhne pouze jeden bok závitě. Proto vznikají kapiláry, do kterých se lehce dostane vlhkost, nebo plyny, které mohou způsobit korozi. [26]



Obr. 20 Zadření pojistné nerezové matice [13]

Nedostatečná napínací síla a zadření jsou nejčastější příčiny selhání šroubových spojů, které lze ovlivnit použitím vhodného maziva. Z rovnice vyplývá, že napínací síla je velmi závislá na součiniteli tření, tedy na použití maziva. [26]

$$M_A = F_M * (0,16 P + 0,58 * d_2 * \mu_G + \frac{D_{km}}{2} * \mu_K) \quad (5.10)$$

M_A [Nm] - utahovací moment

F_M [N] - napínací síla

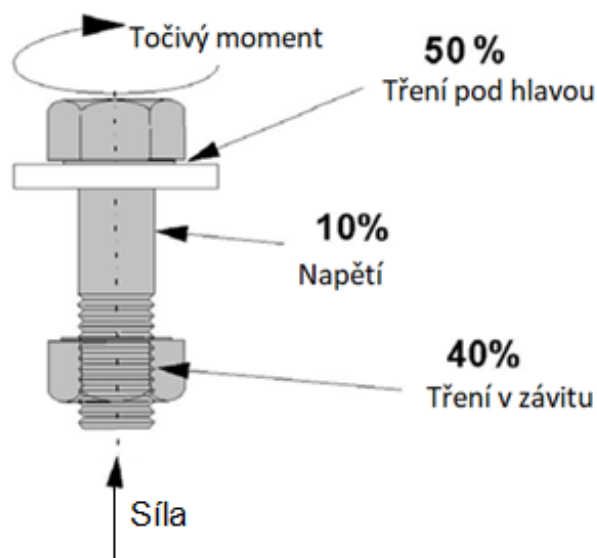
P [mm] - stoupání závitu

d_2 [mm] - střední průměr šroubovice závitu

μ_G [-] - součinitel tření v závitu

$\frac{D_{km}}{2}$ [°] - účinný třecí radius hlavy

μ_K [-] - součinitel tření dosednutí hlavy



Obr. 21 Přeměna točivého momentu [10]

Z obrázku plyne, že z vynaložené utahovací síly se 50 % přemění na tření pod hlavou, 40 % na tření v závitu a 10 % zbyde na vyvození potřebné napínací síly šroubu.

Za podmínky konstantního utahovacího momentu M_A a nízkých hodnot součinitele tření μ_G a μ_K , bude vyvozena velká napínací síla F_M . [26]

5.1.8 Povrchové úpravy šroubových spojení

Povrchové úpravy rozebíratelných spojů ovlivňují tření, životnost a bezpečnost. Stejně jako maziva mají povrchové úpravy vliv na napínací síly. Protikorozní odolnost, ořevzdornost a snadná montáž/demontáž spoje závisí na vhodně zvolené povrchové úpravě. Povrchové úpravy spojů pomáhají odolávat vysokým teplotám, agresivnímu prostředí a velkému zatěžování. [8, 9]

Přehled povrchových úprav šroubových spojení:

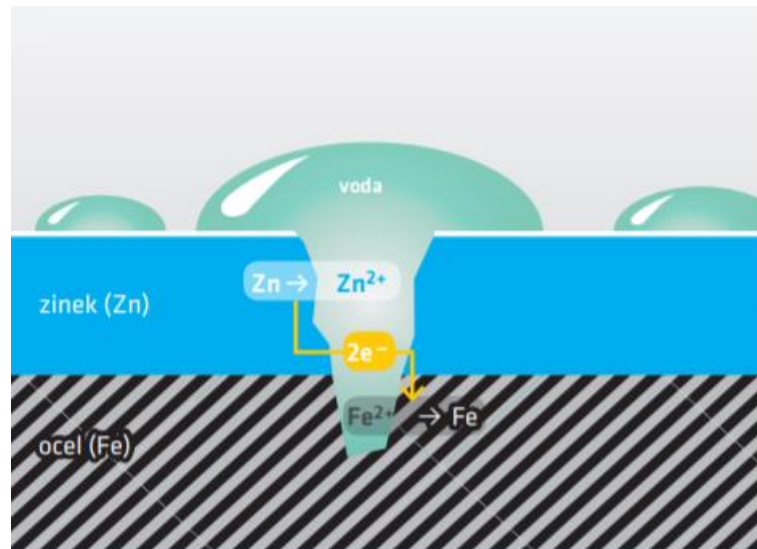
➤ Zinkování

Nejpoužívanější povrchovou úpravou jsou povlaky zinku a jeho slitin. Tento povlak je využíván z důvodu katodické ochrany, která zajišťuje neporušení základního materiálu, hran i závitů rozebíratelných spojení při poškození zinkové vrstvy. Zinek je elektrochemicky méně ušlechtilý než ocelový podklad spojovacího prvku.

Zinek se železem ve vlhku vytváří elektrický člunek a při reakci vzniká hydroxid zinečnatý. Proces katodické ochrany se opakuje až do spotřebování veškerého zinku. Výhodou je dobrá korozní odolnost, odolnost proti mechanickému poškození, dlouhá životnost (i 40 a více let) a nízké výrobní náklady. [8, 9, 19]

Mg	hořčík	$Mg^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Mg$	-2,36 V	neušlechtilý
Al	hliník	$Al^{3+} + 3 e^- \rightleftharpoons Al$	-1,66 V	
Zn	zinek	$Zn^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Zn$	-0,76 V	
Fe	železo	$Fe^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Fe$	-0,41 V	
Cd	kadmium	$Cd^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Cd$	-0,40 V	
Ni	nikl	$Ni^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Ni$	-0,23 V	
Sn	cín	$Sn^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Sn$	-0,14 V	
Pb	olovo	$Pb^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Pb$	-0,13 V	
Cu	měď	$Cu^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Cu$	+0,35 V	ušlechtilý

Obr. 22 Elektrochemický potenciál prvků [38]



Obr. 23 Katodická ochrana základního materiálu [38]

➤ Fosfátování

Fosfátování je chemický proces přeměny fosforečnanů, při kterém se odstraní mikroskopická vrstva železa a vznikne tenká vrstva oxidu manganičitého nebo oxidu zinečnatého. Výsledkem je šedo-černý povrch, který je odolný vůči korozi a otěru. Fosfátovat nelze korozivzdornou ocel, ocel s velkým obsahem niklu a neželezné kovy (hliník, mosaz a měď).

Samotný fosfátový povlak neposkytne ochranu z důvodu poretity vrstvy. Pro dosažení střední úrovně korozní odolnosti se používá dodatečné ošetření olejem. Jeho poretita vytváří adhezní vrstvu, která je dobrým nosičem lubrikantů, čehož se využívá ke snížení tření. Chemická povaha povlaku elektricky izoluje povrch součásti a zvyšuje korozní odolnost a odolnost proti podkorodování. [9]

➤ Niklování

Niklové povlaky se nejvíce využívají jako ozdobně ochranné v systémech Ni-Cr a Cu-Ni-Cr. Nikl je poměrně elektrochemicky ušlechtilý kov. Proto většinu základních materiálů chrání bariérově. Povlak nesmí být porézní, aby byla zajištěna ochrana proti korozi. Pórovitost povlaku je přímo úměrná tloušťce povlaku a při 25 μm je již malá. [37]

➤ Pasivace

Pasivací dochází k chemickému rozpouštění sloučenin železa z korozivzdorné oceli. Rozpouštědlem je roztok kyseliny, který odstraňuje nečistoty. Neodstraněné nečistoty jsou potenciálními místy pro vznik koroze. Pasivací se vytvoří tenká průhledná vrstva oxidu, která chrání ocel před vznikem koroze. [9]

Typy pokovení rozebíratelných spojů zinkem se nejčastěji provádí:

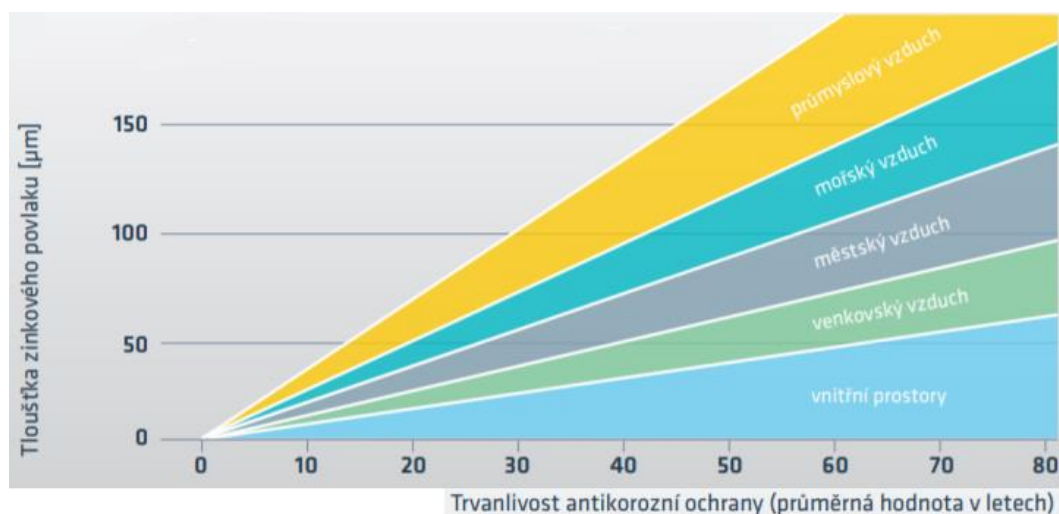
➤ Galvanicky (elektrolyticky)

Kompozitní galvanické povlaky poskytují samomaznost, kluznost, tvrdost a otěruvzdornost. Povlak bývá označován ECC (Elektrodeposited Composite Coating). Disperzní částice jsou rozptýlené v kovové matici.

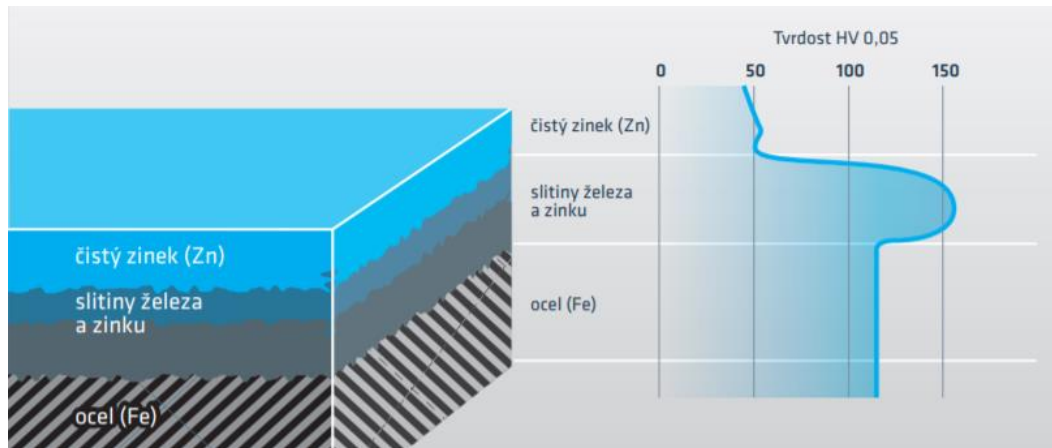
Kompozitní povlak Zn-PTFE je složen ze zinkové, galvanicky vyloučené matrice a z disperzních částic polytetrafluoretylenu. Částice PTFE jsou obvykle menší než 0,5 μm a jsou rovnoměrně rozptýleny v povlaku. Při otěru částice ulpívají na protikusův funkci dvojice. Výhodou povlaku je nízký součinitel tření (pod 0,2), otěruvzdornost a vznik suchého samomazného filmu. [8, 15]

➤ Ponorem v roztaveném kovu (žárově)

Žárové pokovení probíhá v tavné lázni, v níž je tekutý zinek o teplotě 450 $^{\circ}\text{C}$. Kovový povlak o tloušťce 50 až 200 μm chrání celoplošně i v dutých prostorech. [38]



Obr. 24 Doba ochrany zinkovým povlakem [38]



Obr. 25 Řez zinkovým povlakem [38]

Na základním materiálu je vytvořena slitina železa a zinku, která má větší tvrdost než základní materiál. Povrch je uzavřen povlakem čistého zinku s menší tvrdostí. [38]



Obr. 26 Větší tloušťka povlaku na hranách a v rozích [38]

Na hranách a v rozích je tloušťka žárově zinkovaného povlaku větší než na plochách. Exponované oblasti jsou velmi dobře chráněny. [38]

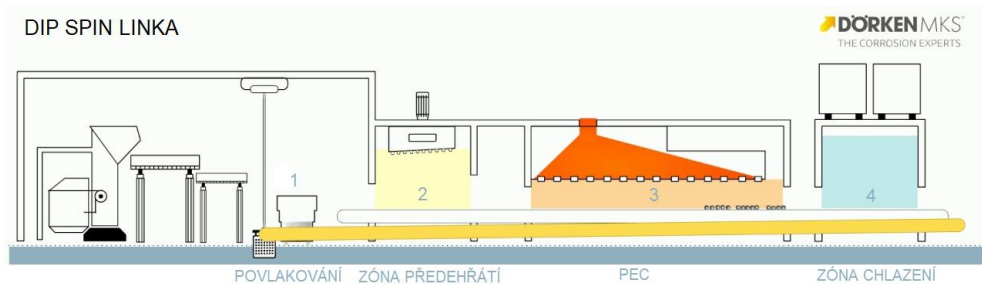
➤ Difuzně (sheradizací)

Sheradování patří mezi nízkoteplotní termodifúzní zinkování. Vrstva povlaku je 15 až 120 μm . Výhodou povlaku je schopnost kopírovat obrysy povrchu, čehož se využívá u vnitřních závitů. Povrchová vrstva se neodlupuje a vyznačuje se vysokou otěruvzdorností. [19, 20]

➤ **Nanášení povlaků s mikrolamelami zinku (neelektrolyticky)**

Povlaky s mikrolamelami zinku jsou rozděleny na systémy ředidlové a vodní. Oba systémy se nanášejí na lince Dip-Spin, která se používá pro hromadné pokovování šroubů. Princip spočívá v ponoření koše se šrouby do studené emulze, následným odstředěním pomocí gravitace a vytvrzení v peci. Výhodou je zamezení vzniku vodíkové křehkosti. [35]

Povrchová úprava Delta MKS je neelektrolyticky nanášený povlak, ředitelný na bázi vody ze zinkových mikrolamel. Povlak je složen ze směsi zinku, hliníku a pojiva. Změnou obsahu pojiva lze ovlivňovat součinitel tření. Díky malým rozměrům mikrolamel lze získat tenký povlak (přibližně 4 μm). [16, 17, 18]



Obr. 27 Schéma linky Dip Spin [34]



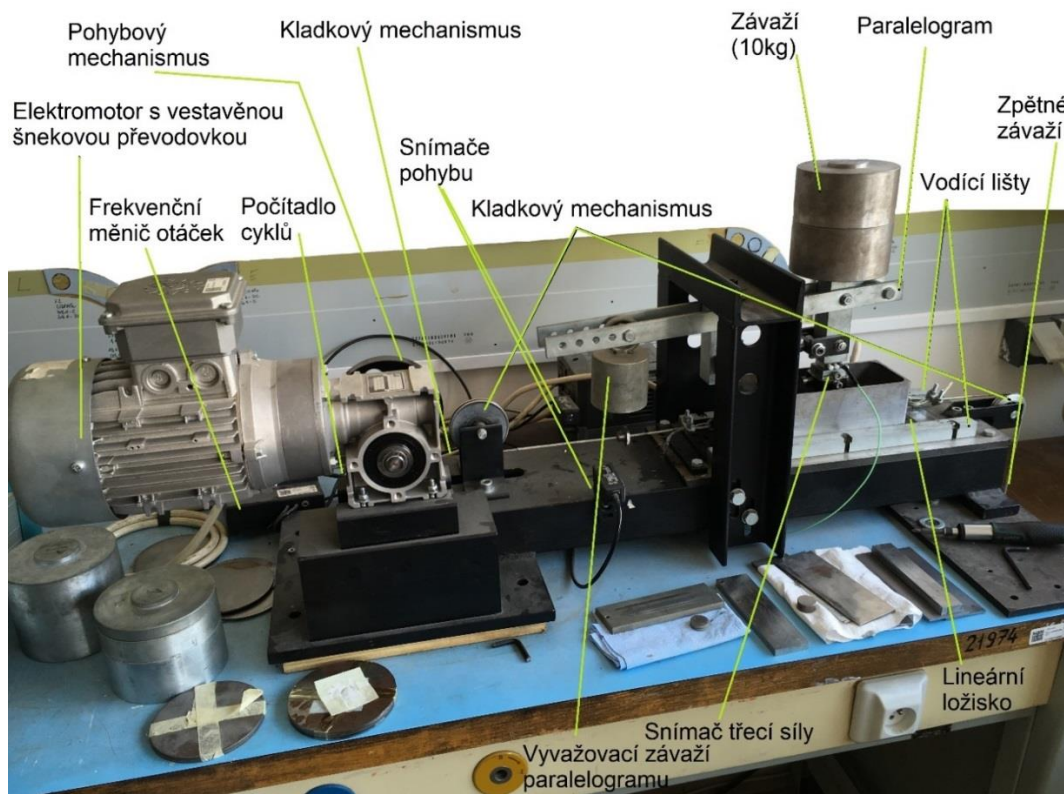
Obr. 28 Linka Dip Spin [34]

6 Praktická část

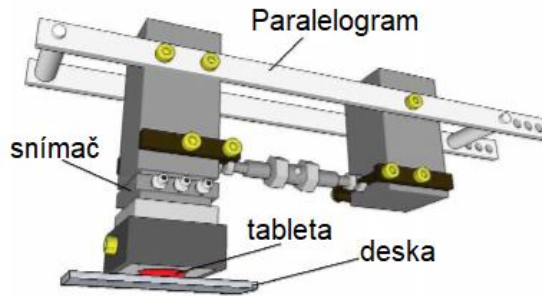
Popis experimentu:

Měření probíhalo na tribometru TOP3, který se nachází v laboratořích Ústavu strojírenské technologie FS ČVUT. Tribometr je využíván k měření opotřebení materiálu a zjišťování adheze povrchových vrstev třecích dvojic. Součinitel tření byl měřen mezi funkčními dvojicemi, u kterých docházelo k translačně oscilačnímu pohybu. Tento pohyb je nerovnoměrně zrychlený a způsobený elektromotorem se šnekovou převodovkou s klikovým mechanismem.

Rychlost vratného pohybu může být 0 až 0,192 m/s. Statickým členem je tableta upnutá na paralelogramu. Deska je pohyblivým členem a je upnuta na valivě uloženém vozíku. Pákový mechanismus paralelogramu přenáší zatížení v rozmezí 0 až 250 N na tabletu a přitlačuje ji na třecí dvojici zkušební desky. Na tribometru může být třecí dvojicí deska a tableta (plocha – plocha), nebo deska a kulička (plocha – koule). [15]



Obr. 29 Sestava tribologického zařízení TOP3

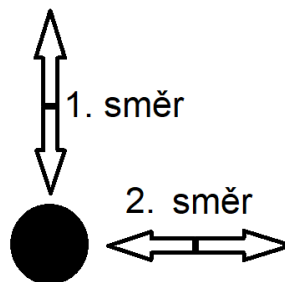


Obr. 30 Detailní pohled třecí dvojice a snímače [15]

6.1 Příprava zkušebních vzorků

Pro experimentální měření byly zvoleny vzorky typu deska / tableta, o rozměru 135x50x8 mm, tablety o průměru 20 h11 a výšce 8 mm. Tablety měly zkosené hrany 0,5x45°. Tablety byly přebroušeny směrem do kruhu proti směru hodinových ručiček na brusném papíru SAITAC Waterproof P 600. Následovalo stejné broušení, ale s jemnějším brusným papírem SAITAC Waterproof P 1200.

Dokončeno bylo broušením „do kříže“ s úhlem 90° a hrubostí P 600. Broušeno dle obrázku v 1. směru 15x tahů tam a zpět. Ve 2. směru broušeno také 15 tahů tam a zpět. Tímto postupem vznikly stejně přebroušené tablety s požadovanou strukturou.



Obr. 31 Broušení tablety „do kříže“

6.2 Měření drsnosti desek a tablet

Před měřením drsnosti bylo nutné povrch vzorků vyčistit a zbavit tablety a desky mastnoty pomocí Perchloroethylenu, který je určený k čištění, odmašťování a rozpouštění nečistot. Pomocí drsnoměru Mitutoyo SJ-310 byla změřena drsnost povrchu R_a a R_z .

Měření bylo opakováno pětkrát v 1. směru a pětkrát kolmo. Snímač byl vždy kousek posunut, aby byly zjištěny průměrné hodnoty.



Obr. 32 Ukázka měření drsnosti desek

Drsnosti desek

Tab. 9 Naměřená drsnosti desky C

vzorek	C		vzorek	C	
směr	1		směr	2	
měření	Ra [μm]	Rz [μm]	měření	Ra [μm]	Rz [μm]
1.	0,27	1,78	1.	0,14	0,94
2.	0,31	2,19	2.	0,14	0,79
3.	0,33	2,30	3.	0,12	0,79
4.	0,30	1,95	4.	0,19	1,14
5.	0,32	2,14	5.	0,15	0,90
průměr	0,31	2,07	průměr	0,15	0,91

Tab. 10 Naměřená drsnost desky B

vzorek	B		vzorek	B	
směr	1		směr	2	
měření	Ra [μm]	Rz [μm]	měření	Ra [μm]	Rz [μm]
1.	0,33	2,09	1.	0,15	0,84
2.	0,27	1,59	2.	0,12	0,74
3.	0,30	2,15	3.	0,26	1,77
4.	0,24	1,99	4.	0,14	0,97
5.	0,23	1,45	5.	0,10	0,57
průměr	0,27	1,85	průměr	0,15	0,98

Tab. 11 Naměřená drsnost desky A

vzorek	A		vzorek	A	
směr	1		směr	2	
měření	Ra [μm]	Rz [μm]	měření	Ra [μm]	Rz [μm]
1.	0,29	2,47	1.	0,15	0,88
2.	0,24	1,87	2.	0,15	0,95
3.	0,22	1,66	3.	0,16	1,10
4.	0,29	2,04	4.	0,15	0,98
5.	0,24	1,55	5.	0,12	0,88
průměr	0,26	1,92	průměr	0,15	0,96

Tab. 12 Naměřená drsnost desky K

vzorek	K		vzorek	K	
směr	1		směr	2	
měření	Ra [μm]	Rz [μm]	měření	Ra [μm]	Rz [μm]
1.	0,13	1,39	1.	0,20	1,43
2.	0,20	2,93	2.	0,10	1,03
3.	0,23	2,59	3.	0,11	0,89
4.	0,15	1,49	4.	0,07	0,49
5.	0,15	1,56	5.	0,36	1,99
průměr	0,17	1,99	průměr	0,17	1,17

Tab. 13 Naměřená drsnost desky T1

vzorek	T1	
směr	1	
měření	Ra [μm]	Rz [μm]
1.	3,78	18,08
2.	1,64	6,59
3.	3,48	15,56
4.	1,10	4,92
5.	1,87	8,71
průměr	2,37	10,77

Drsnosti tablet
Tab. 14 Naměřená drsnost tablety 1

vzorek	1	
měření	Ra [μm]	Rz [μm]
1.	0,10	0,77
2.	0,12	0,79
3.	0,12	0,88
4.	0,11	0,90
5.	0,08	0,77
průměr	0,11	0,82

Tab. 15 Naměřená drsnost tablety 2

vzorek	2	
měření	Ra [μm]	Rz [μm]
1.	0,08	0,72
2.	0,11	0,89
3.	0,10	0,85
4.	0,09	0,73
5.	0,09	0,80
průměr	0,09	0,80

Tab. 16 Naměřená drsnost tablety 3

vzorek	3	
měření	Ra [μm]	Rz [μm]
1.	0,12	0,79
2.	0,07	0,63
3.	0,14	1,55
4.	0,06	0,52
5.	0,10	0,87
průměr	0,10	0,87

6.3 Návrh závitu šroubu s ohledem na tlak p v závitech

Pro střední tlak v závitech platí:

$$p = \frac{Q}{z * \pi * d_2 * H_1} \leq p_d$$

z - počet závitů v matici o výšce H

d_2 [mm] - střední průměr závitu

H_1 [mm] - pracovní výška závitu

Výpočet hmotnosti závaží pro tribometr TOP3 s ohledem na dovolený tlak v závitech:

materiály	p_D [MPa]	f (mazáno)
ocel kalená - bronz	10 ÷ 15	0,06 ÷
ocel - bronz	8 ÷ 10	÷ 0,08
ocel - ocel	7 ÷ 12	0,1 ÷ 0,13
ocel - šedá litina	4 ÷ 6	0,09 ÷ 0,11

Uvedené hodnoty p_D platí pro trvalý provoz a mech. pohon; při občasném provozu nebo při ručním pohonu lze jít na hodnoty \approx o 50% vyšší.

Obr. 33 Dovolенý tlak třecí dvojice [29]

 Výpočet pro tablety o průměru $d = 20$ h11 mm a výšce 8 mm.

$$p = \frac{Q}{S} [Pa]$$

$$Q = \frac{\pi * d^2}{4} * p_D [Pa]$$

1) Výpočet s tlakem v závitu $p_D = 7$ MPa

$$\frac{\pi * 0,02^2}{4} * 7000000 = Q$$

$$Q = 2199 [N]$$

$$F = m * g [N]$$

$$2199 = m * 9,81$$

$$m = 224,16 [kg]$$

2) Výpočet s tlakem v závitu $p_D = 12$ MPa

$$\frac{\pi * 0,02^2}{4} * 12000000 = Q$$

$$Q = 3770 [N]$$

$$m = 384,29 [kg]$$

Dle výpočtu volit závaží o váze 224 až 384 kg. Z důvodu konstrukčního omezení zatížení tribometru a bezpečnosti je zvoleno závaží o hmotnosti 10 kg.

6.4 Galvanické zinkování ve slabě kyselé lázni

Dvě desky a dvě tablety byly galvanicky pozinkovány. Následně byla deska a tableta 1,5 minuty pasivována v modrém chromátu.

Tab. 17 Technologický postup galvanického zinkování

Č. operace	Operace	Pracovní podmínky
1.	Ultrazvukové odmaštění	Star 75 PN, 60 °C, 10 min
2.	Oplach	Voda, 20 °C, 1 min
3.	Aktivace – moření	10 % HCl (kyselina chlorovodíková), 30 s
4.	Oplach	Voda, 20 °C, 1 min
5.	Zinkování	U= 9-12 V, I= 1,2-1,5 A, 25 °C, 35-45 min
6.	Oplach	Voda, 20 °C, 1 min
7.	Pasivace	Modrý chromát Cr ³⁺ , 90 s
8.	Oplach	Voda, 20 °C, 1 min
9.	Sušení	Teplý vzduch 90 °C



Obr. 34 Galvanické zinkování

Změření tloušťky vyloučeného povlaku:

Tloušťky vyloučeného povlaku byly změřeny digitálním tloušťkoměrem, který byl zkalibrován podle fólie o tloušťce 23,6 μm . Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce s vypočtenou průměrnou hodnotou.



Obr. 35 Digitální tloušťkoměr

První pokovení probíhalo 45 minut. Na zdroji byl nastaven proud $I = 1,2 \text{ A}$ a napětí $U = 9 \text{ V}$.

Tab. 18 Změřené tloušťky zinkového povlaku (1. pokovení)

měření	tableta 1. strana	tableta 2. strana	deska X 1.strana	deska X 2. strana
	tloušťka [μm]			
	23,8	35,6	10,3	10,8
1.	36,5	31,2	9,4	9,3
2.	42,7	25,4	9	9,4
3.	29,7	35,7	8	10,4
4.	27,6	31,6	7,1	9,6
5.	23,7	22,3	6,7	10,7
6.	33,2	26,6	8	11
7.	22,8	23,5	7,1	14
průměr	30	28,98	8,2	10,65

Druhé pokovení trvalo 35 minut a byla vyloučena menší vrstva zinkového povlaku. Na zdroji byl nastaven proud $I = 1,5 \text{ A}$ a napětí $U = 12 \text{ V}$.

Tab. 19 Změřené tloušťky zinkového povlaku (2. pokovení)

měření	tableta 1. strana	tableta 2. strana	deska Y 1. strana	deska Y 2. strana
	tloušťka [μm]			
	24,8	19,7	9,5	11,1
1.	20,9	24,9	6,8	9,2
2.	22,9	21,5	5,6	11,1
3.	21,8	20,8	5,9	8,1
4.	19,9	19,8	6,4	7,9
5.	-	-	5,5	10,7
6.	-	-	5,6	7,6
7.	-	-	6,2	10,7
průměr	22,06	21,34	6,44	9,55



Obr. 36 Ukázka zinkového povlaku

Po zinkování byla deska a tableta pasivována v modrém chromátu. Úbytek tloušťky zinkového povlaku je vypočten v tabulce.

Tab. 20 Úbytek tloušťky povlaku po pasivaci

měření	tableta 1. strana	tableta 2. strana
	tloušťka [μm]	
1.	19,1	15,2
2.	17,7	16,7
3.	17,4	16,6
4.	20	16,5
průměr	18,55	16,25
	úbytek tloušťky [μm]	
	5,7	4,5
	3,2	8,2
	5,5	4,9
	1,8	4,3
průměr	4,05	5,475
	úbytek [%]	
	22,98	22,84
	15,31	32,93
	24,02	22,79
	8,26	20,67
průměr	17,64	24,81

6.5 Nanesení kluzného laku GLEIT GL 220

Kluzný lak byl ze vzdálenosti 20 cm nastříkán na desku a tabletu. Na fotografii jsou na povrchu desky vidět zrníčka, která nejsou přípustná. Lak se nechal 24 hodin schnout. Kluzný lak popraskal a změření tloušťky povlaku bylo zjištěno, že tloušťka byla příliš velká (cca 100 μm). Výrobce doporučuje tloušťku vrstvy 10 až 20 μm . Vzorek musel být přebroušen, zbaven povlaku a připraven pro nové nanesení laku.



Obr. 37 Zrníčka na kluzném laku



Obr. 38 Popraskaný kluzný lak



Obr. 39 Nastříkaný kluzný lak

Při druhé aplikaci kluzného laku bylo dosaženo průměrné tloušťky povlaku na ocelové desce 27,75 μm a na tabletě 28,02 μm . Na korozivzdorné desce byla tloušťka povlaku 35,7 μm .

Tab. 21 Tloušťka kluzného laku

měření	ocel		nerez
	deska	tableta	deska
	tloušťka [μm]		tloušťka [μm]
1.	33,7	26,7	34
2.	30,7	28,2	35,5
3.	29,4	31,1	38,5
4.	24,8	28,3	31,8
5.	27,5	25,8	39,5
6.	24,6	-	30,9
7.	28,7	-	38,5
8.	26	-	37,8
9.	25,3	-	37
10.	26,8	-	33,5
průměr	27,75	28,02	35,7

6.6 Popis experimentu - maziva

Experiment probíhal se závažím 10 kg. Mazivo bylo přidáváno pod tabletu vždy po 2 minutách. Zkouška jednoho druhu maziva trvala 10 minut. Sestava olejů a maziv byla zvolena s ohledem na nejčastější použití při mazání. Oleje a maziva byla odměřena v injekční stříkačce a následně aplikována přímo na desku v místě dotyku tablety. Mazivo bylo přidáváno po 0,5 ml. Tribometr TOP3 při přidávání maziva byl vždy v horní úvrati.



Obr. 40 Přehled použitých maziv



Obr. 41 Aplikace maziva- měděné pasty pod zkušební tabletu

Rozlišovací legenda:

➤ **Teflonová páska**

První měření probíhalo s nalepenou teflonovou páskou na desku A. Byla použita tableta číslo 0.

➤ **Olej 5W-40**

U druhé zkoušky byla použita deska A s dráhou číslo 2 a tableta číslo 1 z druhé strany. Na začátku bylo pod tabletu injektováno 0,5 ml oleje. Po dvou minutách byl olej přidáván ve stejném množství.

➤ **Molycote**

Použita deska A s dráhou číslo 3 a tableta číslo 2.

➤ **Mazací tuk LV 2-3**

Použita deska A s dráhou číslo 4 a tableta číslo 2.

➤ **Grafit prášek**

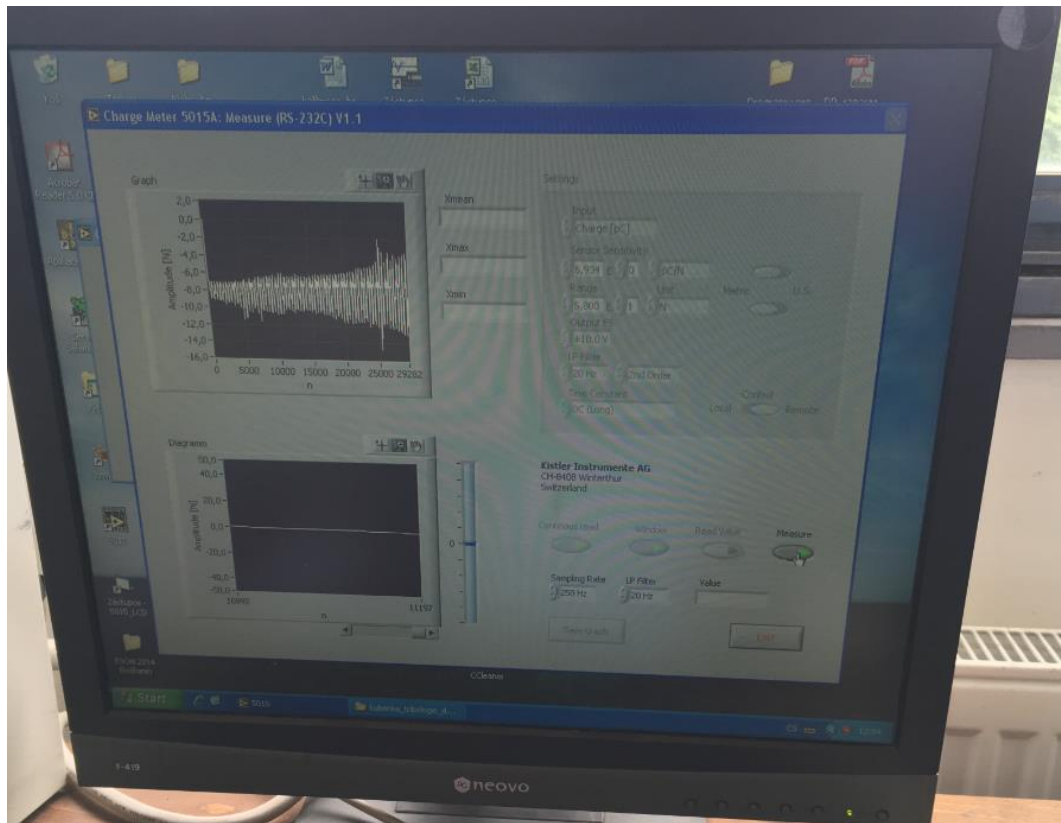
Použita deska B s dráhou číslo 1 a tableta číslo 3.

➤ **Měděná pasta**

Použita deska B s dráhou číslo 2 a tableta číslo 3.

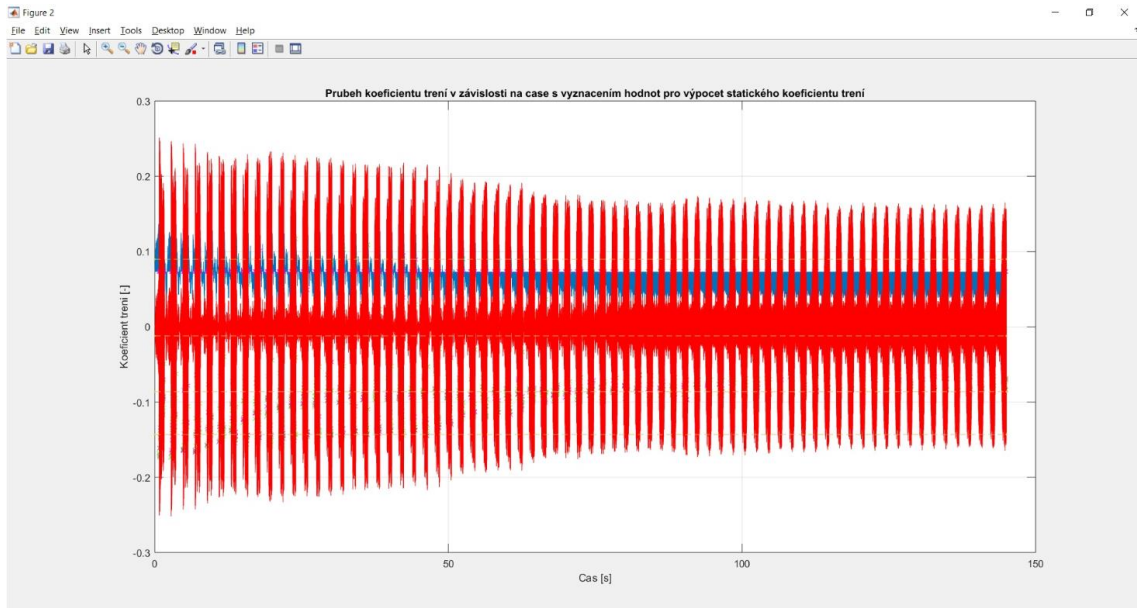
6.7 Vyhodnocení naměřených dat

Naměřené velikosti třecích sil byly posílány do počítače a zaznamenávány v programu Charge Meter 5015A. V programu byla naměřená data uložena do souboru a dále vyhodnocována v Matlabu.



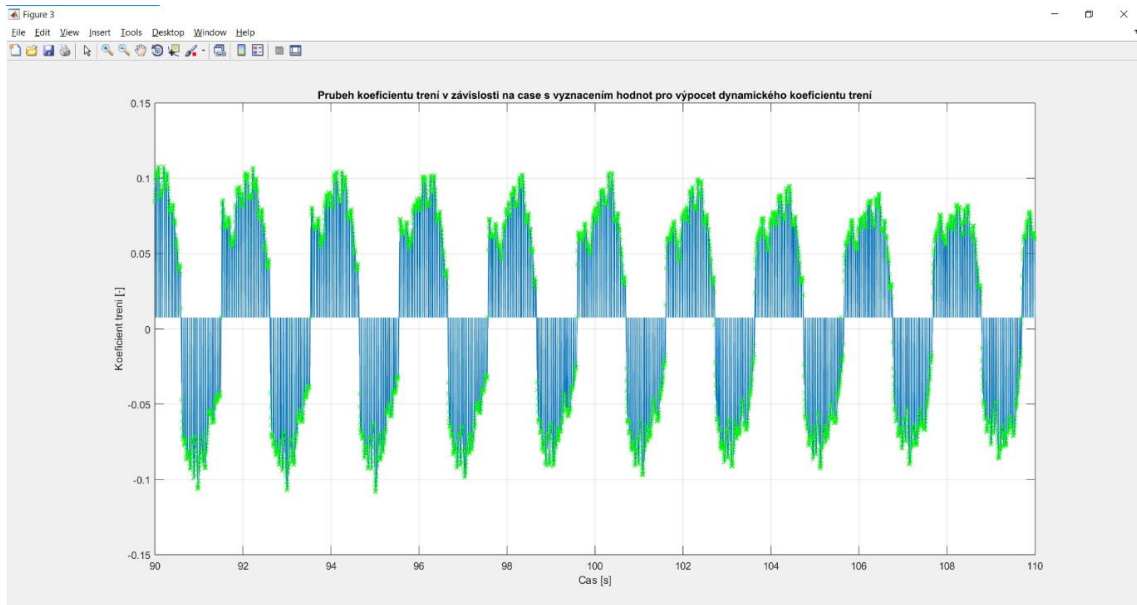
Obr. 42 Záznam třecí síly v programu Charge Meter 5015A

Ukázka vyhodnocování statického koeficientu tření s časovým intervalem od 0 do 140 vteřin.



Obr. 43 Vyhodnocení statického koeficientu tření

Vyhodnocení dynamického koeficientu tření v časovém intervalu 90 až 110 vteřin.



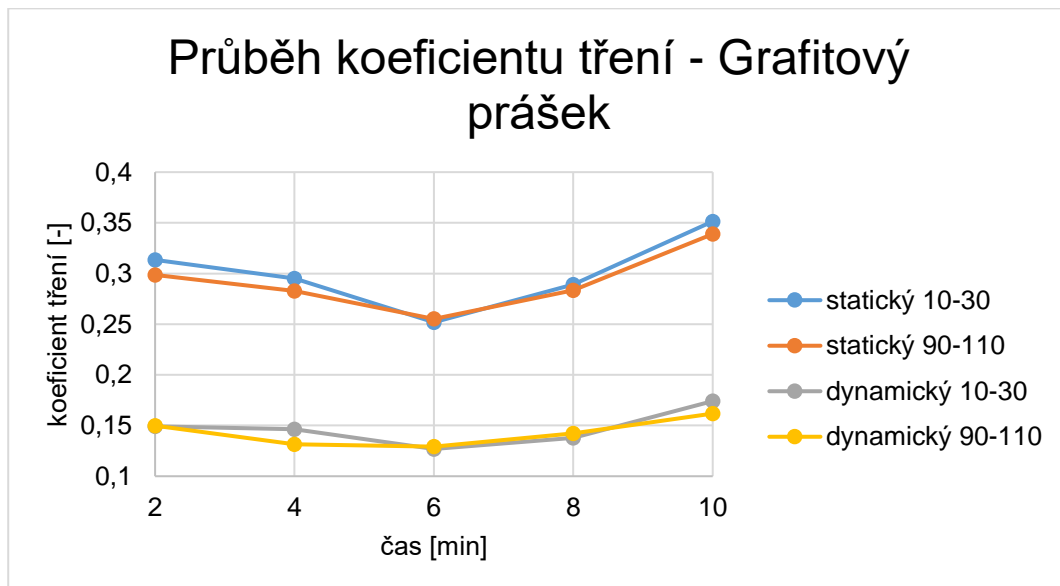
Obr. 44 Vyhodnocení dynamického koeficientu tření

6.8 Vyhodnocení koeficientů tření

V tabulce jsou uvedeny vyhodnocené koeficienty tření mezi ocelovou deskou a tabletou s použitím maziva. Statický a dynamický koeficient tření byl určován v časovém intervalu 10 až 30 vteřin a 90 až 110 vteřinách.

Tab. 22 Grafit – koeficienty tření

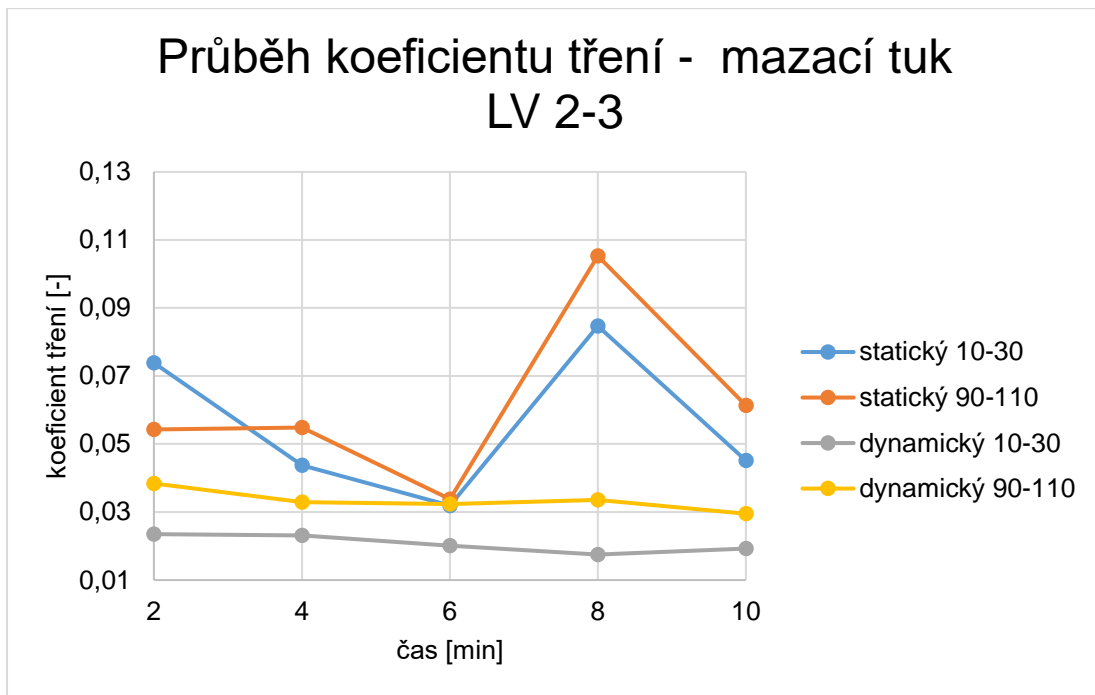
grafit				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,3134	0,2986	0,1493	0,1497
4	0,2951	0,2829	0,1463	0,1314
6	0,2519	0,2552	0,1269	0,1292
8	0,2891	0,2833	0,1377	0,1421
10	0,3514	0,3389	0,1741	0,1618
průměr	0,3002	0,2918	0,1469	0,1428
směrodatná odchylna	0,0363	0,0306	0,0175	0,0135



Graf 1 Průběh koeficientu tření - Grafitový prášek

Tab. 23 Plastické mazivo LV 2-3 – koeficienty tření

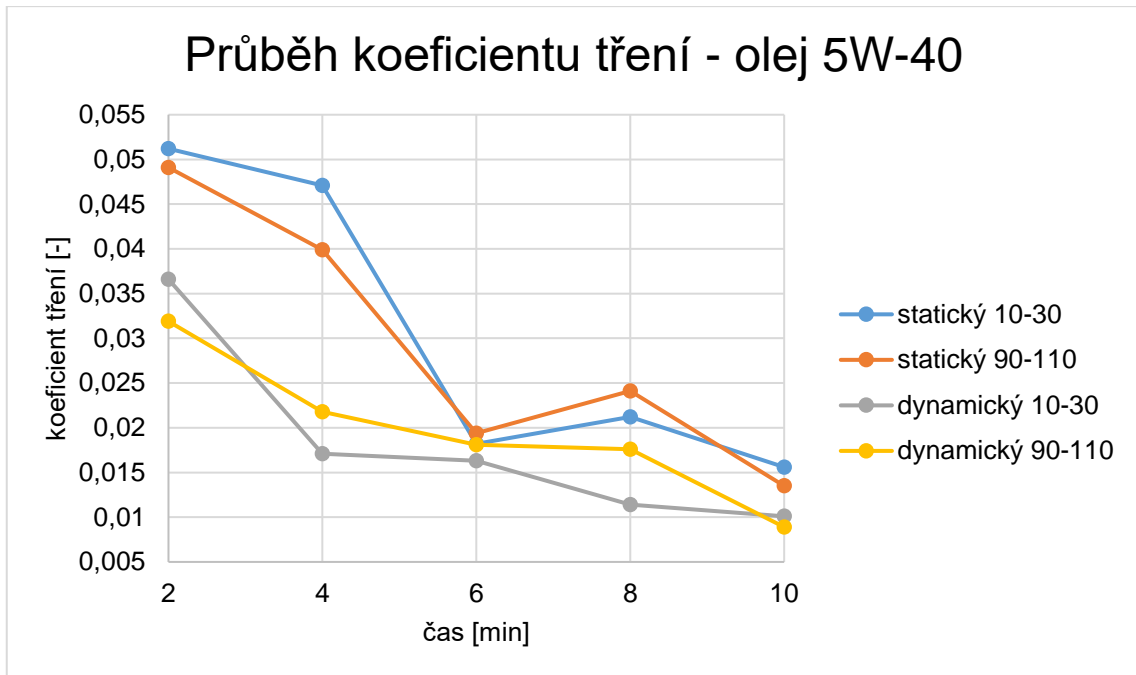
plastické mazivo LV 2-3				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,0739	0,0543	0,0235	0,0384
4	0,0437	0,0548	0,0231	0,0329
6	0,0319	0,0338	0,0201	0,0323
8	0,0847	0,1053	0,0175	0,0336
10	0,0451	0,0613	0,0193	0,0295
průměr	0,0559	0,0619	0,0207	0,0333
směrodatná odchylna	0,0223	0,0264	0,0026	0,0032



Graf 2 Průběh koeficientu tření - mazací tuk LV 2-3

Tab. 24 Olej – koeficienty tření

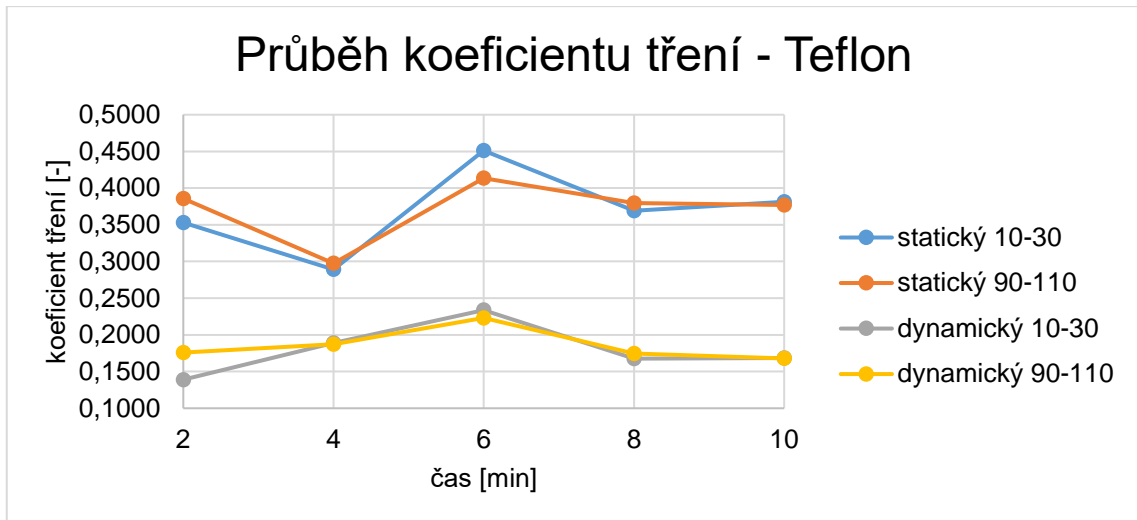
olej 5W-40				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,0512	0,0491	0,0366	0,0319
4	0,0471	0,0399	0,0171	0,0218
6	0,0182	0,0194	0,0163	0,0181
8	0,0212	0,0241	0,0114	0,0176
10	0,0156	0,0135	0,0101	0,0089
průměr	0,0307	0,0292	0,0183	0,0197
směrodatná odchylka	0,0171	0,0148	0,0107	0,0083



Graf 3 Průběh koeficientu tření - olej 5W-40

Tab. 25 Teflon – koeficienty tření

teflonová páska				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,3532	0,3855	0,1390	0,1758
4	0,2891	0,2974	0,1891	0,1872
6	0,4511	0,4135	0,2337	0,2231
8	0,3691	0,3795	0,1677	0,1744
10	0,3812	0,3771	0,1685	0,1679
průměr	0,3687	0,3706	0,1796	0,1857
směrodatná odchylka	0,0581	0,0434	0,0351	0,0220



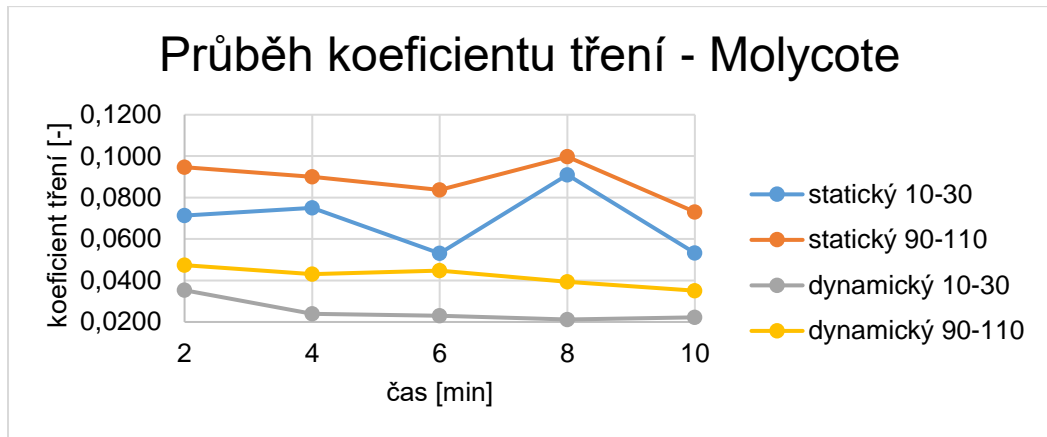
Graf 4 Průběh koeficientu tření - Teflon



Obr. 45 Teflonová páska nalepená na desce

Tab. 26 Plastické mazivo Molyka – koeficienty tření

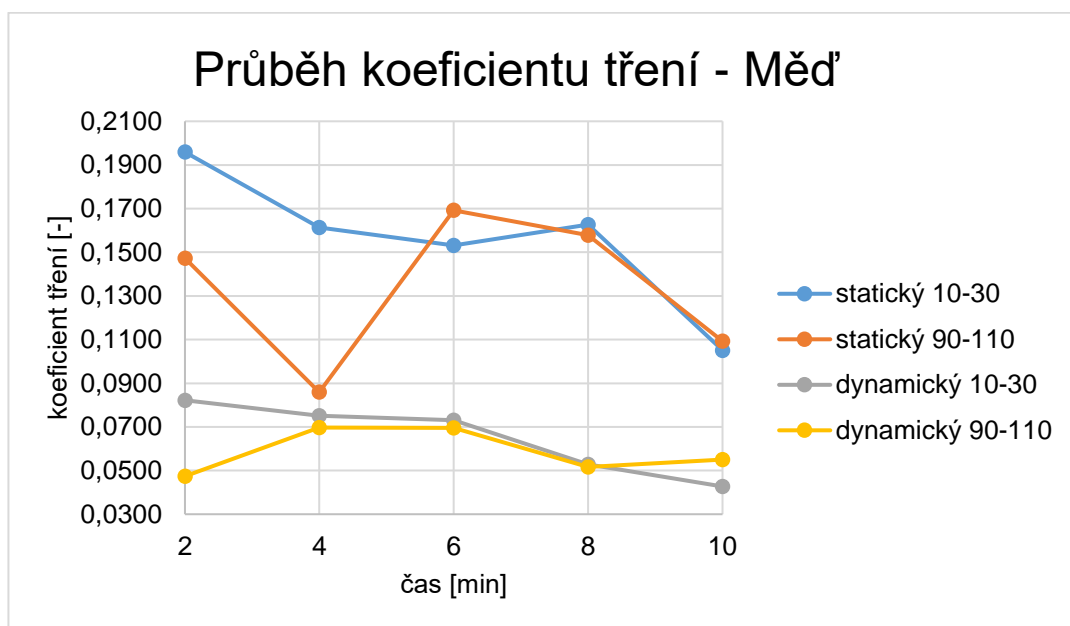
plastické mazivo Molyka G				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,0713	0,0947	0,0353	0,0474
4	0,0751	0,0901	0,0239	0,0431
6	0,0531	0,0837	0,0230	0,0447
8	0,0910	0,0997	0,0212	0,0393
10	0,0532	0,0731	0,0223	0,0351
průměr	0,0687	0,0883	0,0251	0,0419
směrodatná odchylka	0,0160	0,0103	0,0058	0,0048



Graf 5 Průběh koeficientu tření – Molycote

Tab. 27 Měď – koeficienty tření

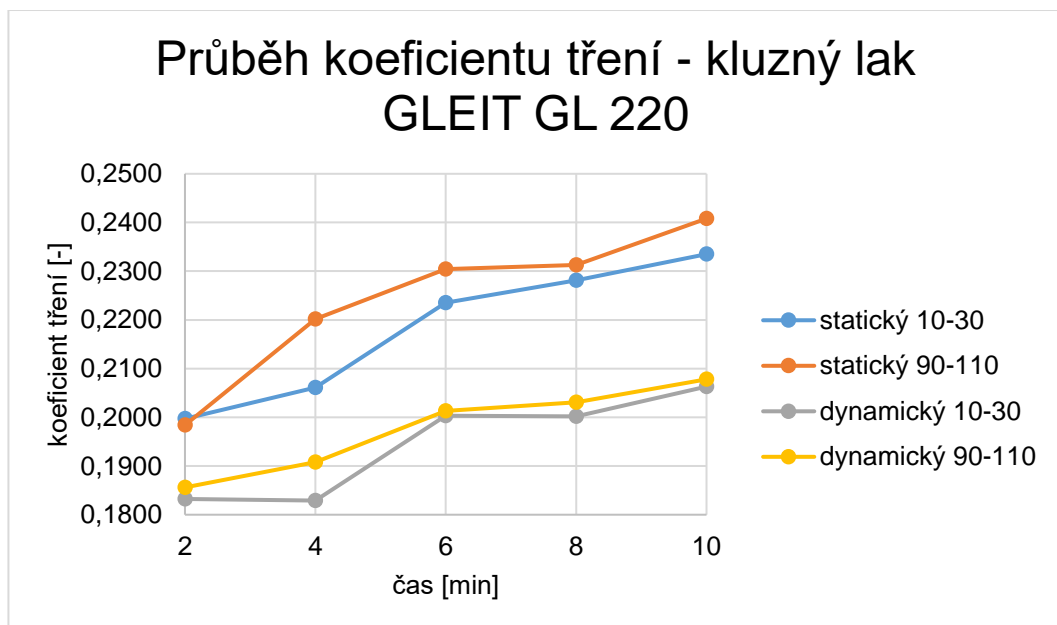
měděná pasta				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	Statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,1959	0,1473	0,0822	0,0474
4	0,1613	0,0859	0,0751	0,0697
6	0,1531	0,1692	0,0731	0,0696
8	0,1626	0,1578	0,0528	0,0517
10	0,1051	0,1093	0,0427	0,0550
průměr	0,1556	0,1339	0,0652	0,0587
směrodatná odchylka	0,0326	0,0350	0,0167	0,0104



Graf 6 Průběh koeficientu tření - měď

Tab. 28 Kluzný lak – koeficienty tření

kluzný lak GLEIT GL 220				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,1997	0,1984	0,1832	0,1856
4	0,2061	0,2202	0,1829	0,1908
6	0,2235	0,2304	0,2003	0,2013
8	0,2281	0,2313	0,2002	0,2031
10	0,2335	0,2408	0,2063	0,2078
průměr	0,2182	0,2242	0,1946	0,1977
směrodatná odchylka	0,0146	0,0162	0,0108	0,0092



Graf 7 Průběh koeficientu tření – kluzný lak

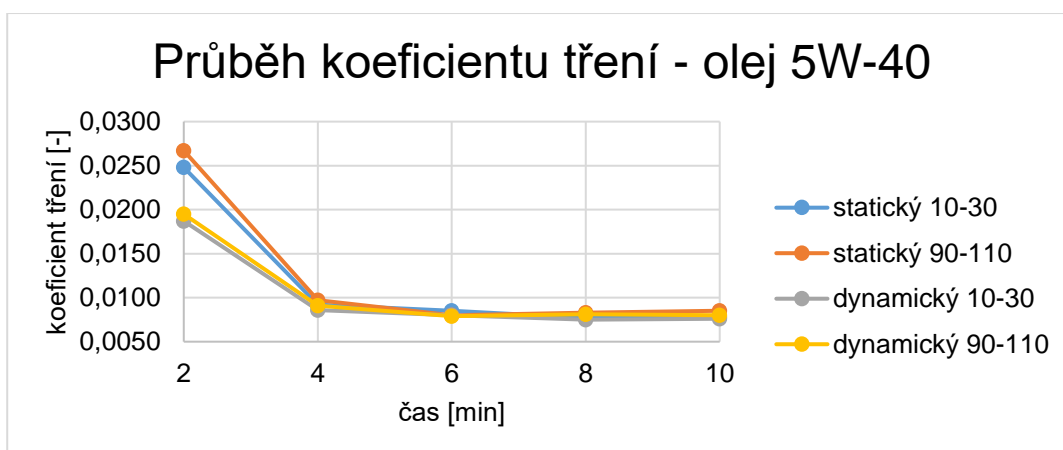


Obr. 46 Vydřená stopa kluzného laku

Vyhodnocené koeficienty tření pro korozivzdornou desku a ocelovou tabletu:

Tab. 29 Olej – koeficienty tření

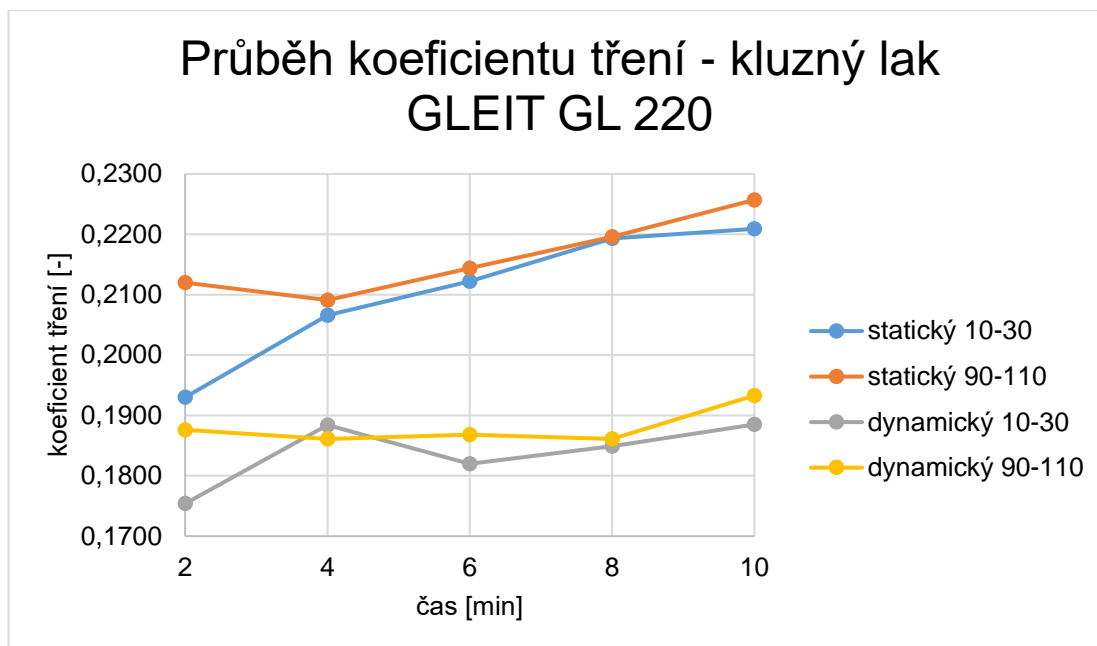
olej 5W-40				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,0248	0,0267	0,0187	0,0195
4	0,0092	0,0097	0,0086	0,0091
6	0,0085	0,0080	0,0080	0,0079
8	0,0077	0,0083	0,0075	0,0081
10	0,0078	0,0085	0,0076	0,0080
průměr	0,0116	0,0122	0,0101	0,0105
směrodatná odchylka	0,0074	0,0081	0,0048	0,0050



Graf 8 Průběh koeficientu tření - olej 5W-40

Tab. 30 Kluzný lak – koeficienty tření

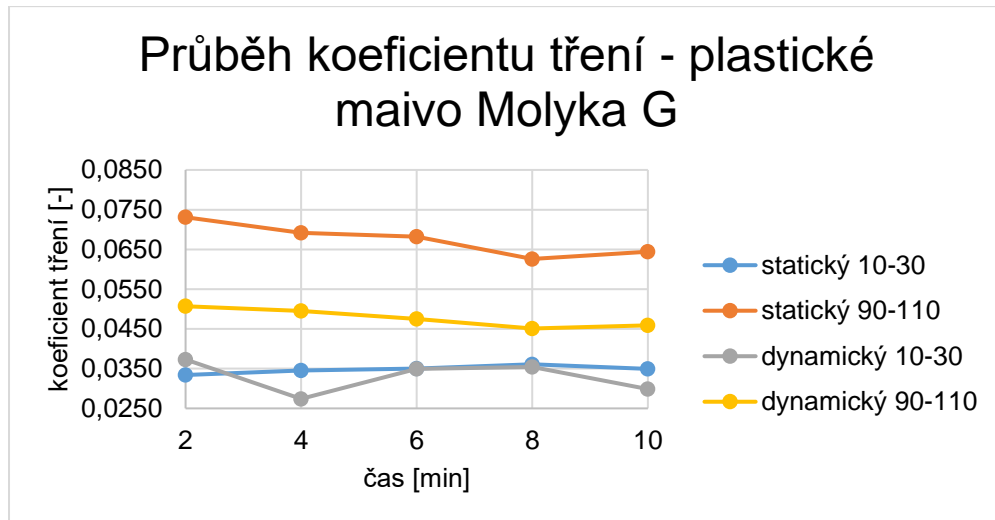
kluzný lak GLEIT GL 220				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,1930	0,2120	0,1754	0,1876
4	0,2066	0,2091	0,1884	0,1861
6	0,2122	0,2144	0,1820	0,1868
8	0,2193	0,2196	0,1849	0,1861
10	0,2209	0,2257	0,1885	0,1933
průměr	0,2104	0,2162	0,1838	0,1880
směrodatná odchylka	0,0113	0,0066	0,0054	0,0030



Graf 9 Průběh koeficientu tření – kluzný lak

Tab. 31 Plastické mazivo Molyka – koeficienty tření

plastické mazivo Molyka G				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,0334	0,0731	0,0373	0,0507
4	0,0345	0,0692	0,0274	0,0495
6	0,0350	0,0682	0,0349	0,0475
8	0,0361	0,0626	0,0354	0,0451
10	0,0349	0,0644	0,0299	0,0459
průměr	0,0348	0,0675	0,0330	0,0477
směrodatná odchylka	0,0010	0,0041	0,0041	0,0024



Graf 10 Průběh koeficientu tření – plastické mazivo Molyka G

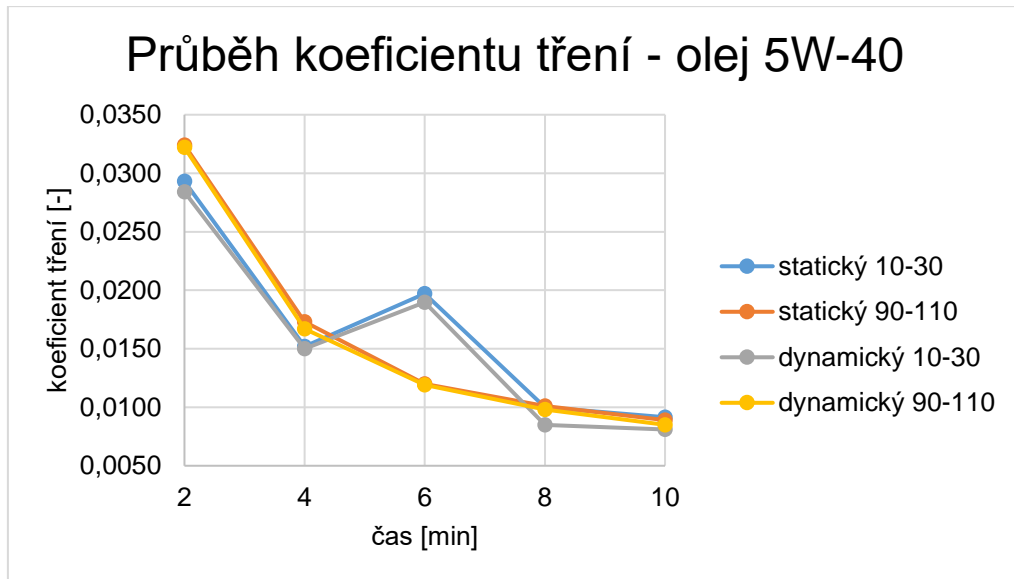
Deska a tableta byla galvanicky pozinkována. Vyhodnocené koeficienty tření pro ocelovou desku a tabletu:

Tab. 32 Bez maziva – koeficienty tření

bez maziva				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,2178	0,3250	0,1925	0,3225
4	zadřeno za 80 s			
6				
8				
10				
průměr	0,2178	0,3250	0,1925	0,3225

Tab. 33 Olej – koeficienty tření

olej 5W - 40				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,0293	0,0324	0,0284	0,0322
4	0,0152	0,0173	0,0150	0,0167
6	0,0197	0,0120	0,0190	0,0119
8	0,0100	0,0101	0,0085	0,0098
10	0,0092	0,0089	0,0081	0,0085
průměr	0,0167	0,0161	0,0158	0,0158
směrodatná odchylka	0,0082	0,0096	0,0084	0,0097



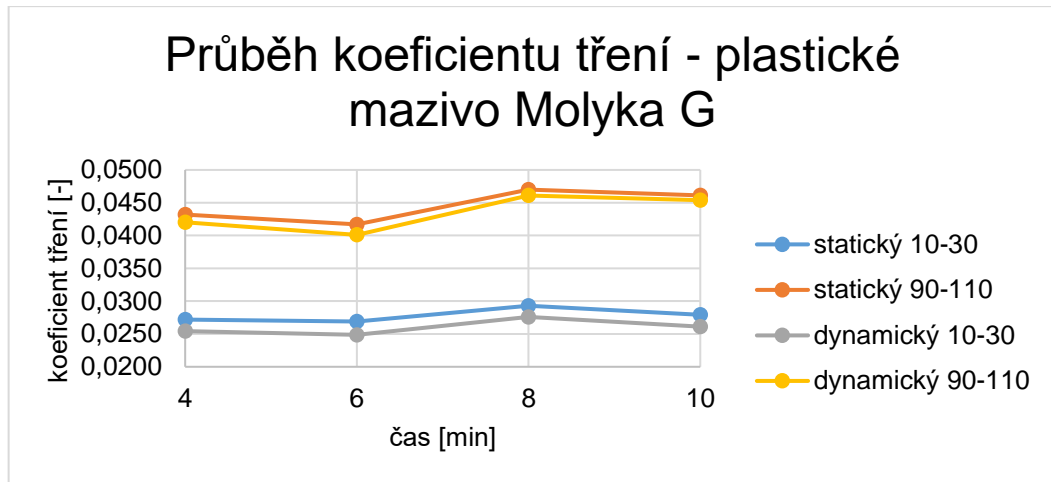
Graf 11 Průběh koeficientu tření - olej 5W-40



Obr. 47 Horní dráha třena na sucho a spodní s olejem

Tab. 34 Plastické mazivo Molyka – koeficienty tření

plastické mazivo Molyka G				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	-	-	-	-
4	0,0272	0,0432	0,0255	0,0420
6	0,0269	0,0417	0,0249	0,0401
8	0,0293	0,0470	0,0276	0,0461
10	0,0279	0,0461	0,0261	0,0454
průměr	0,0278	0,0445	0,0260	0,0434
směrodatná odchylka	0,0011	0,0025	0,0012	0,0028

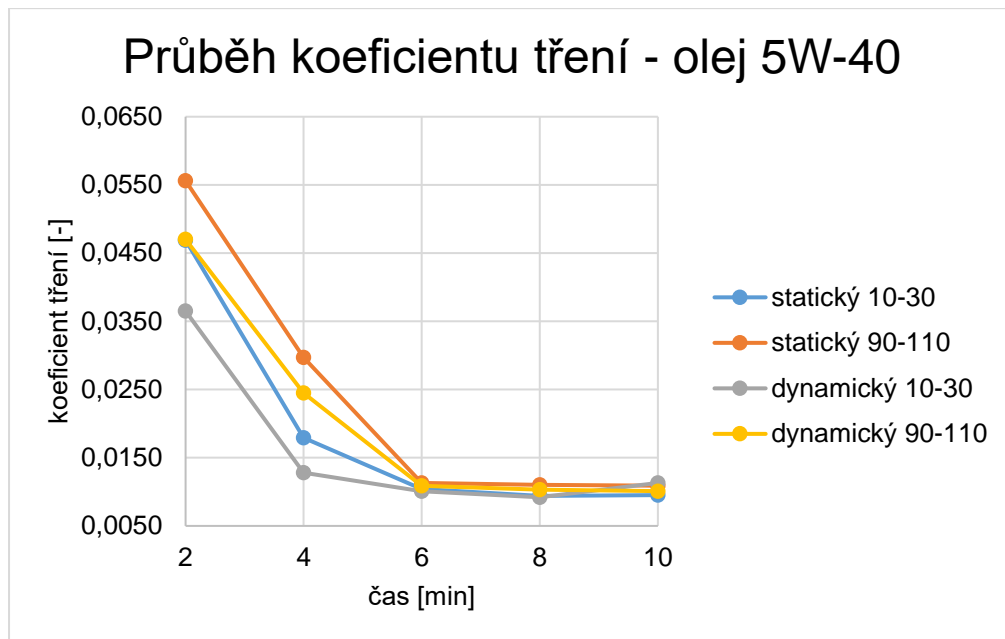


Graf 12 Průběh koeficientu tření –Molyka G

Deska a tableta byla galvanicky pozinkována a poté pasivována v modrém chromátu. Vyhodnocené koeficienty tření pro ocelovou desku a tabletu:

Tab. 35 Olej – koeficienty tření

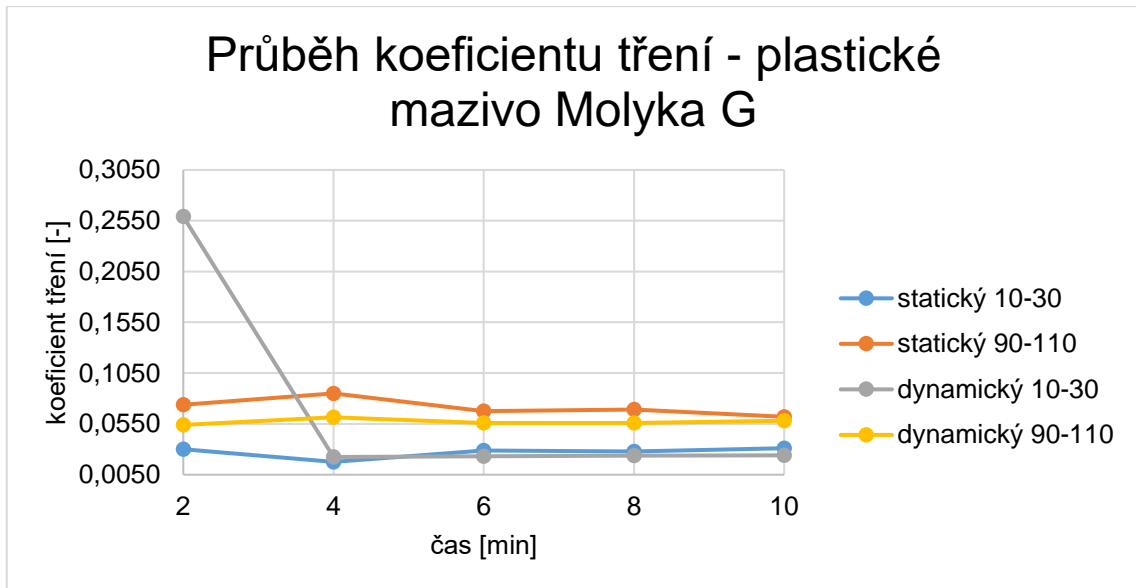
olej 5W - 40				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,0469	0,0556	0,0365	0,0470
4	0,0179	0,0297	0,0128	0,0245
6	0,0104	0,0113	0,0101	0,0109
8	0,0094	0,0110	0,0092	0,0103
10	0,0095	0,0109	0,0113	0,0101
průměr	0,0188	0,0237	0,0160	0,0206
směrodatná odchylka	0,0161	0,0196	0,0116	0,0160



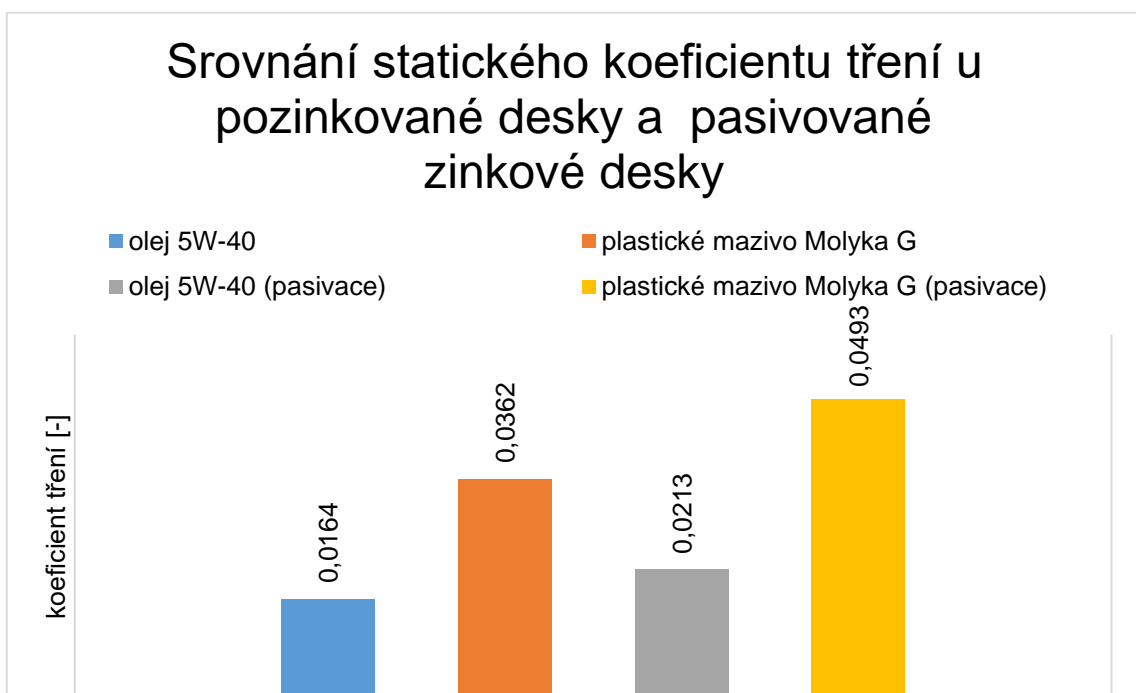
Graf 13 Průběh koeficientu tření - olej 5W-40

Tab. 36 Plastické mazivo Molyka– koeficienty tření

plastické mazivo Molyka G				
čas [min]	koeficient tření [-]			
	statický 10-30 s	statický 90-110 s	dynamický 10-30 s	dynamický 90-110 s
2	0,0299	0,0739	0,2590	0,0540
4	0,0176	0,0850	0,0224	0,0615
6	0,0287	0,0676	0,0230	0,0558
8	0,0278	0,0690	0,0236	0,0559
10	0,0311	0,0620	0,0242	0,0580
průměr	0,0270	0,0715	0,0704	0,0570
směrodatná odchylka	0,0054	0,0087	0,1054	0,0029

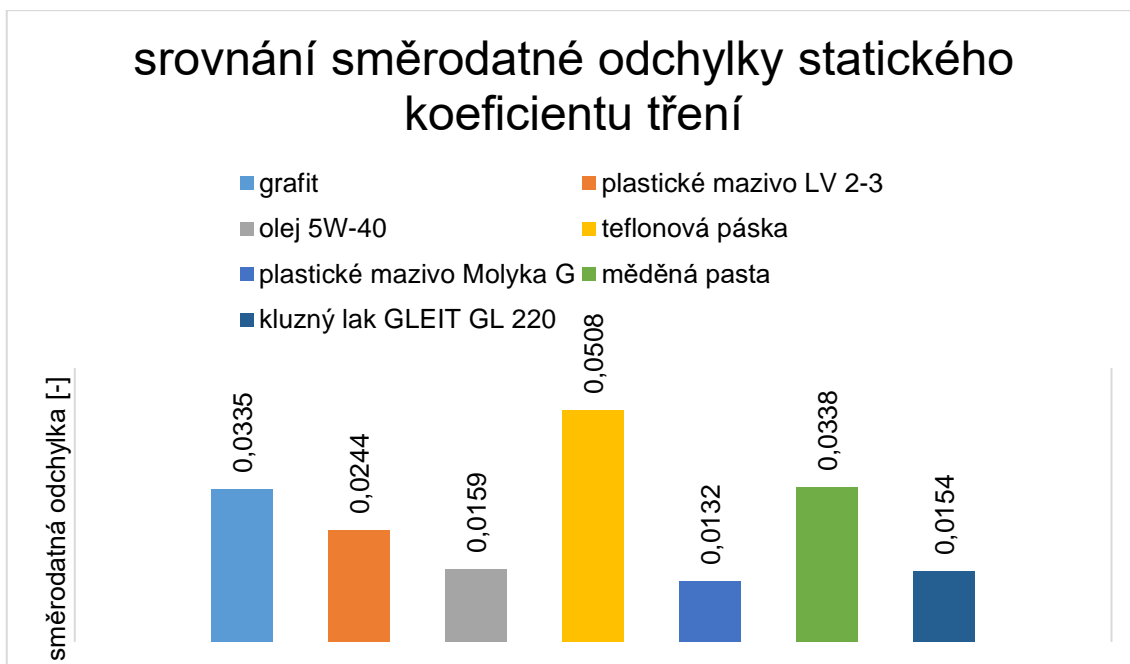


Graf 14 Průběh koeficientu tření – Molyka G

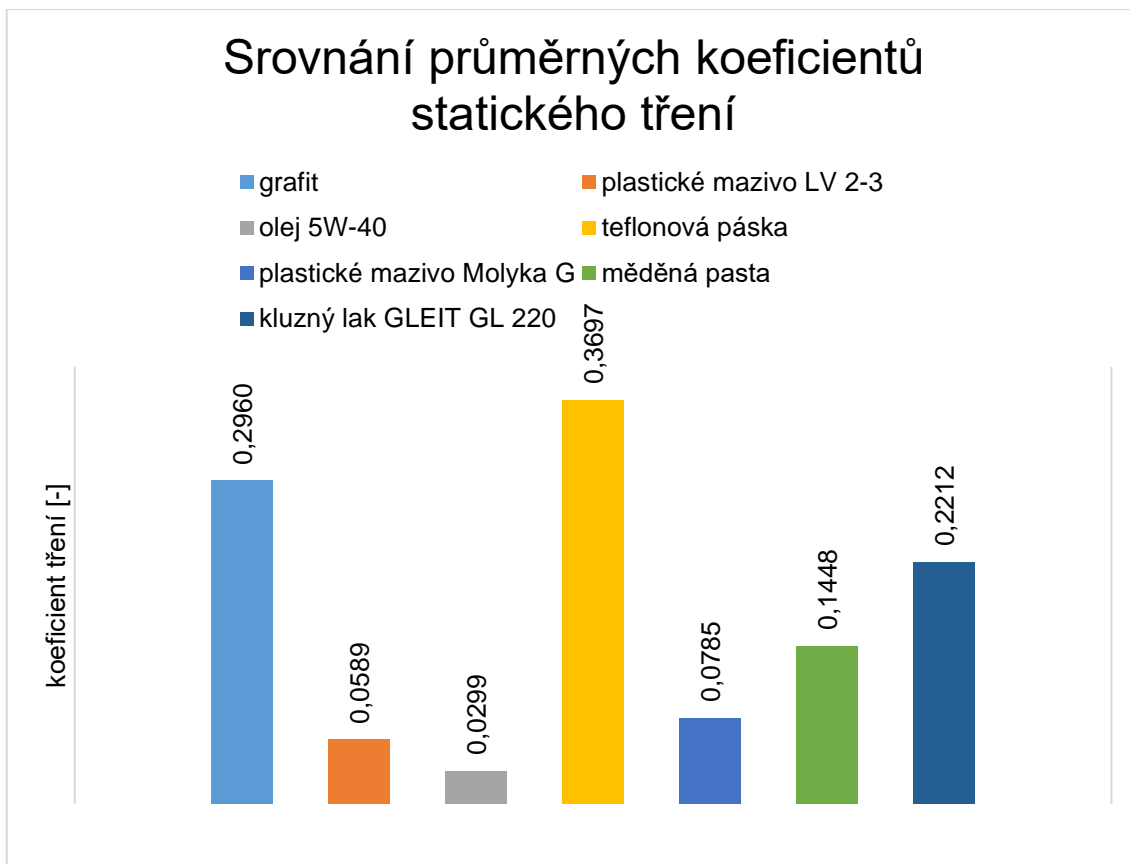


Graf 15 Srovnání statického koeficientu Zn desky a pasivované desky

V grafu jsou porovnány statické koeficienty tření s použitím oleje a plastického maziva. První měření proběhlo na pozinkované desce a tabletě. Druhé měření bylo provedeno také na pozinkované desce a tabletě, ale pasivované modrým chromátem. V grafu je vidět, že u pasivované desky a tablety jsou pro obě maziva naměřeny vyšší koeficienty tření. Pasivací zvýšíme korozní odolnost, ale negativně ovlivníme koeficient tření, který má rozhodující vliv na napínací sílu šroubu.



Graf 16 Srovnání směrodatné odchyly statického koeficientu tření



Graf 17 Srovnání průměrných koeficientů statického tření

7 Diskuze

Srovnáním průměrných statických koeficientů tření pro ocelovou desku a tabletu se zdá nejlepším mazivem olej. Koeficient tření vykazuje hodnotu 0,003 a při přidávání oleje docházelo neustále k poklesu tření. Druhou nejnižší hodnotu koeficientu tření vykazovalo plastické mazivo LV 2-3 s hodnotou 0,059. Nicméně tření v čase začalo narůstat.

Další v pořadí bylo plastické mazivo Molyka G s hodnotou 0,079. Následovala měděná pasta s hodnotou 0,145. U kluzného laku byla dosažena hodnota 0,221, tedy větší, než udává výrobce. Rozdíl je nejspíše způsoben odlišně provedenou zkouškou a neodborným nanesením laku. Z tohoto důvodu by bylo vhodné v budoucnu podrobit více vzorků testování, a tento fakt potvrdit či vyvrátit. U vzorku s mazacím médiem v podobě suspenze grafitového prášku rozmíchaného v oleji, byl naměřen druhý nejvyšší koeficient tření 0,296. Deska s teflonovou páskou měla nejvyšší hodnotu 0,37 (nemazáno).

U plastického maziva Molyka a kluzného laku byl vypočítán nejmenší rozptyl koeficientů tření. Bylo potvrzeno, že tato maziva jsou z důvodu dosažení opakovatelných hodnot tření vhodná pro mazání šroubových spojů. S uvedenými mazivy lze v praxi nejlépe dosáhnout potřebné a opakovatelné napínací síly šroubu při stejném utahovacím momentu.

8 Závěr

Největší kontaktní tlak nastává při dotažení šroubového spoje pod hlavou šroubu a ve funkční ploše závitu. Největší část osového zatížení se přenáší vždy na první dva až tři závity. Proto je nutné pro některé rozebíratelné šroubové spoje mazivo, které odolá vysokým tlakům, zajistí konstantní hodnoty tření, umožní opakovatelné povelování (utažení) a ochrání závit před korozi. Oleje jsou jako mazivo závitů nevhodné, protože neposkytují vysokou soudržnost mazacího filmu při vysokých kontaktních tlacích. Dalším negativním faktorem olejů je jejich nízká vazkost. Výhodou jsou lepší penetrační vlastnosti a ochrana proti korozi.

Použití plastických maziv je ve srovnání s oleji o něco lepší, avšak některé mazací tuky mají sklon k nasákavosti a chemicky zadržují vodu. To má negativní vliv na ochranu proti korozi. Hlavním důvodem použití plastických maziv pro aplikace v oblasti šroubových spojů je jejich dobrá mísitelnost s aditivy. Jedná se o aditiva v podobě prachových částic grafitu či siřníku molybdeničitého (MoS_2), která zvyšují odolnost proti vysokým kontaktním tlakům. Nevýhodou těchto maziv je omezený rozsah použitelnosti v teplotách od -30 °C do $+120\text{ °C}$.

Použitelnými mazivy pro šroubové spoje jsou tuhá maziva jako grafit, siřník molybdeničitý a měď. Grafitové mazivo lze použít do teploty 600 °C a měď až do 1100 °C . Měď je vhodná pro použití v extrémních teplotách, protože poskytuje tepelnou stálost a zabraňuje zadření šroubového spoje.

Dále je vhodným mazivem šroubových spojů kluzný lak. Výhodou je minimalizace vzniku trhavého pohybu a široký okruh teplotního použití od -180 °C až $+450\text{ °C}$. Má extrémní odolnost vůči tlaku, nízké a opakovatelné hodnoty koeficientu tření. Nízkým koeficientem tření dosáhneme nižších třecích odporů v závitu. Vlivem nižších pasivních odporů v závitu je šroub méně namáhaný na krut a je dostačující menší utahovací moment. Není nutné překonávat vysoké ztráty způsobené třením v kontaktních místech, jak již bylo popsáno v teoretické části.

Proto je možné pro danou aplikaci použít menší šroub nebo šroub vyrobený z materiálu vykazující horší mechanické vlastnosti. Tím se nabízí možnost snížit náklady na dané šroubové spojení.

Hlavním faktorem pro povolení šroubového spoje je drsnost povrchů závitů. Pro šroubové spoje jsou vhodnější válcované závity. Závity vyrobené válcováním mají hladší povrch v porovnání s řezaným závitem. Čím bude povrch hladší, tím nižšího koeficientu tření dosáhneme. Drsnosti desek a tablet se po tribologické zkoušce nezměnily. Zachováním co nejmenšího nárůstu drsnosti při povolování a utahování šroubového spoje předejdeme zadření.

Povlak zinku byl vlivem zatížení (10 kg) prodřen a deska s tabletou zadřena za 80 vteřin. Pokud by šroub nebyl namazán, nejspíše by došlo k jeho zadření, způsobenými mikrosvary v důsledku velkých kontaktních tlaků K povolení takto namáhaného šroubového spojení by bylo nutné použít mnohonásobně vyššího povolovacího momentu. Rozptyl koeficientů tření by způsobil extrémní rozdíly v hodnotách napínaví síly, a tím by vznikl problém při sériové montáži. Mechanické parametry spoje a jeho bezpečnost by byly obtížně dosažitelné. To by mohlo vést k povolení rozebíratelného spoje a selhání celého zařízení.

Použitá literatura a zdroje

- [1] GRABON, W.A., M. OSETEK a T.G. MATHIA. Friction of threaded fasteners. In: *Tribology International* [online]. 2018, **118**, s. 408-420 [cit. 2019-05-28]. DOI: 10.1016/j.triboint.2017.10.014. ISSN 0301679X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301679X17304747>
- [2] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA A SPOLEHLIVOST I. TRIBODIAGNOSTIKA* [online]. Ostrava, 2000 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: http://www.340.vsb.cz/doc/cms_library/skripta-technicka-diagnostika-i-tribo-193.pdf
- [3] Tribologie – příběh pohybu. In: *[Tribologie ložisek]* [online]. Goteborg: SKF, 2013, 25. října 2013 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/news-and-media/news-search/2013-10-25-tribology-a-moving-story.html>
- [4] JANÍK, Josef. *Fyzika tření*. Brno, 2008. Bakalářská práce. MASARYKOVA UNIVERZITA. Vedoucí práce Vladislav Navrátil.
- [5] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. *Části strojů*. Vyd. 5., přeprac. (v SNTL 1. vyd.). Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. Technický průvodce. ISBN 80-030-0046-7.
- [6] MAKOŇOVÁ, Štěpánka. *Šroubové spoje* [online]. In: . [2010], s. 1-11 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://pospolu.rvp.cz/vystupy?file_id=99&do=getFile
- [7] WALD, František, Luboš ROZLÍVKA, Zdeněk SOKOL a Hynek ŠERTLER. *VLIV MAZIVA NA UTAHOVÁNÍ ŠROUBŮ TŘECÍCH SPOJŮ* [online]. , 1-5 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: [http://people.fsv.cvut.cz/~wald/Clanky%20v%20Adobe%20\(Pdf\)/Vliv_maziva_na_VP_srouby.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/~wald/Clanky%20v%20Adobe%20(Pdf)/Vliv_maziva_na_VP_srouby.pdf)
- [8] KUDLÁČEK, Jan, Viktor KREIBICH, Petr DRAŠNAR a Dana BENEŠOVÁ. Povrchové úpravy závitových dvojic. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 1997, 14. prosince 2010 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/povrchove-upravy-zavitovych-dvojic.html>
- [9] Surface finishing treatments. In: *Aspen Fasteners* [online]. USA, [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.aspenfasteners.com/v/vspfiles/files/docs/all_about_coating.pdf
- [10] Engineering Fundamentals of Threaded Fastener Design and Analysis. In: *HEXAGON* [online]. Berlin, [b.r.]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.hexagon.de/rs/engineering%20fundamentals.pdf>
- [11] KRÁLOVÁ, Magda. Smykové tření. In: *Techmania Science Center* [online]. 2005 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/sila/odporove-sily/smykove-treni>

- [12] KRÁLOVÁ, Magda. Valivé tření. In: *Techmania Science Center* [online]. 2005 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/sila/odporove-sily/valive-treni>
- [13] EFEKT ZATUHnutí U NEREZOVÉHO SPOJOVACÍHO MATERIÁLU. In: *Fabory* [online]. [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: https://www.fabory.com/cs/knowledge_center/technical/stainless_steel/the_seizing_of_stainless_steel_fasteners
- [14] JAN, Smolek. *Kontrola a měření strojních zařízení: Kontrola předpětí šroubových spojů*. Brno, 2013.
- [15] ROŠKANIN, Petr, KUDLÁČEK, Jan, ed. *Tribologické vlastnosti galvanicky vyloučených kompozitních povlaků Zn-PTFE* [online]. Praha, 2011 [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: <https://stc.fs.cvut.cz/hist/2011/sbornik/papers/pdf/1100068-.pdf>
- [16] *Ochrana kovů proti korozi - Neelektrolyticky nanášené mikrolamelové povlaky zinku na součástech ze železa nebo z oceli*. EU, 2007.
- [17] BOHÁČEK, Jiří. *Neelektrolyticky vylučované povlaky s mikrolamelami zinku technologie Delta MKS* [online]. 2007 [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-52012/neelektrolyticky-vylucovane-povlaky-s-mikrolamelami-zinku-technologie-delta-mks.html>
- [18] KREISLOVÁ, Kateřina, Tomáš KUBATÍK, Libor TUREK a Jaroslav KVAPIL. *Hodnocení kvalitativních parametrů mikrolamelových povlaků* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32012/hodnoceni-kvalitativnich-parametru-mikrolamelovych-povlaku.html>
- [19] *Ochrana proti korozi - Zn*. Praha: FS ČVUT Ú12133, [2017].
- [20] TERMODIFUZNÍ ZINKOVÁNÍ. In: *ERLEN* [online]. Nýdek, 2000 [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: <http://www.erlen.cz/index.php/termodifuzni-zinkovani/>
- [21] HELEBRANT, František, Ladislav HRABEC a Jan BLATA. *PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ: Tribologie, základní pojmy* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2019-05-27]. ISBN 978-80-248-3028-5. Dostupné z: <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/12-Provoz,%20diagnostika%20a%20údržba%20strojů%2004.pdf>
- [22] HWANG, So, Na LEE a Naksoo KIM. Experiment and Numerical Study of Wear in Cross Roller Thrust Bearings. In: *Lubricants* [online]. 2015, 3(2), s. 447-458 [cit. 2019-05-27]. DOI: 10.3390/lubricants3020447. ISSN 2075-4442. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2075-4442/3/2/447>
- [23] SOSNOVÁ, Martina. *Kluzné vrstvy a metody hodnocení adhezivně-kohezivního a tribologického chování*. Plzeň, 2006. Fond rozvoje vysokých škol. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Antonín Kříž.
- [24] KŘÍŽ, Antonín. *Tribologická analýza pin-on-disc*. ZČU, Plzeň: 2004 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/TRIBOLOGICKA_ANALYZA_PIN-ON-DISC.pdf
- [25] HARTL, Martin. *STUDIUM A MĚŘENÍ VELMI TENKÝCH MAZACÍCH FILMŮ*. Brno, 2002. Habilitační práce. Vysokého učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

- [26] GÄNSHEIMER, Josef. *Optimalizace šroubových spojů za pomoci tuhých maziv*. Nacházel, s.r.o., [2001].
- [27] ČSN EN ISO 898-1. *Mechanické vlastnosti spojovacích součástí z uhlíkové a legované oceli: Část 1: Šrouby se specifikovanými třídami pevnosti - Hrubá a jemná rozteč*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [28] WESSELY, Andreas. *Test šroubů při těžkých zatíženích: Mazání šroubů*. Nacházel, s.r.o., [2000].
- [29] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: příklady*. Vyd. 4. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04137-6.
- [30] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: spoje a části spojovací*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04138-3.
- [31] Předepjatý šroubový spoj. In: *Mechanical, Industrial and Technical Calculations* [online]. Děčín, 2019 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <http://www.mitcalc.cz/doc/boltcon/help/cz/boltcontxt.htm>
- [32] FOJTA, Lubomír. *Analýza šroubových spojů při aplikaci moderních spojovacích prvků, povlaků a maziv*. FS ČVUT, 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Jan Kanaval.
- [33] *Šroubové spoje: Technicko-montážní údaje pro konstruktéry, mistry a montéry*. Nacházel, s.r.o., [2010].
- [34] Dip-Spin Coating Equipment. In: *MINSUN* [online]. Shanghai, 2012 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: <http://minsun.com/en/products/surface-treatment/dip-spin-coating-equipment/>
- [35] HOUŠTĚK, Jan. *Povrchové úpravy šroubů*. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 12. dubna 2006 [cit. 2019-05-28]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/povrchove-upravy-sroubu.html>
- [36] BEČKA, Jan. *Tribologie*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-010-1621-8.
- [37] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav*. 2. vydání. Praha: České vysoké učení technické, 1991. ISBN 9788001004760.
- [38] Žárové zinkování. In: *Wiegel zinkování* [online]. 2012, 2013 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: https://cz.wiegel.de/fileadmin/Redaktion/downloads-cz-sk/Wiegel_InformaceProZinkovani-web.pdf

Seznam obrázků

Obr. 1 Tribologie jako základní kámen vědních oborů [21].....	8
Obr. 2 Tribologický systém [25]	8
Obr. 3 Smykové tření [11].....	10
Obr. 4 Valivé tření [12].....	11
Obr. 5 Stribeckovy křivky [36]	12
Obr. 6 Princip metody PIN on DISC [22].....	13
Obr. 7 Příklady šroubových spojení – /a/ šroub s maticí, /b/ závrtný šroub s maticí [5]	14
Obr. 8 Šrouby s různými typy hlav [5]	14
Obr. 9 Předepjatý šroubový spoj [30].....	15
Obr. 10 Osovou silou F zatížený předepjatý šroubový spoj [32]	16
Obr. 11 Montážní diagram spoje [32].....	17
Obr. 12 Závit šroubového spoje [5].....	21
Obr. 13 Model procesu utahování [10].....	23
Obr. 14 Energie potřebná pro dotažení spoje [10].....	23
Obr. 15 Závislost utahovacího momentu na úhlu pootočení [10]	24
Obr. 16 Dotažení na požadovaný moment a úhel [14].....	24
Obr. 17 Srovnání maziv a jejich účinek na tření, utahovací moment a napínací sílu [28]	28
Obr. 18 Šroub s podložkou [33]	30
Obr. 19 Šroub s podložkou a maticí [33].....	30
Obr. 20 Zadření pojistné nerezové matice [13].....	31
Obr. 21 Přeměna točivého momentu [10]	32
Obr. 22 Elektrochemický potenciál prvků [38].....	33
Obr. 23 Katodická ochrana základního materiálu [38]	34
Obr. 24 Doba ochrany zinkovým povlakem [38]	35
Obr. 25 Řez zinkovým povlakem [38]	36
Obr. 26 Větší tloušťka povlaku na hranách a v rozích [38]	36
Obr. 27 Schéma linky Dip Spin [34]	37
Obr. 28 Linka Dip Spin [34].....	37
Obr. 29 Sestava tribologického zařízení TOP3.....	38
Obr. 30 Detailní pohled třecí dvojice a snímače [15]	39
Obr. 31 Broušení tablety „do kříže“	39
Obr. 32 Ukázka měření drsnosti desek.....	40
Obr. 33 Dovolenny tlak třecí dvojice [29]	43
Obr. 34 Galvanické zinkování	44
Obr. 35 Digitální tloušťkoměr	45
Obr. 36 Ukázka zinkového povlaku	46
Obr. 37 Zrníčka na kluzném laku	48
Obr. 38 Popraskaný kluzný lak	48
Obr. 39 Nastříkaný kluzný lak	48
Obr. 40 Přehled použitých maziv	49
Obr. 41 Aplikace maziva- měděné pasty pod zkušební tabletu	50

Obr. 42	Záznam třecí síly v programu Charge Meter 5015A	51
Obr. 43	Vyhodnocení statického koeficientu tření.....	52
Obr. 44	Vyhodnocení dynamického koeficientu tření.....	52
Obr. 45	Teflonová páska nalepená na desce.....	56
Obr. 46	Vydřená stopa kluzného laku	58
Obr. 47	Horní dráha třena na sucho a spodní s olejem	62

Seznam tabulek

Tab. 1	Součinitele smykového tření pro různé kombinace třecích dvojic [2]	10
Tab. 2	Ramena valivého odporu různých příkladů [36]	11
Tab. 3	Velikost součinitele tření s různými mazivy [2]	12
Tab. 4	Přehled pevnostních tříd šroubů dle ČSN EN ISO 898 – 1 [27]	20
Tab. 5	Přehled pevnostních tříd matic dle ČSN EN ISO 898 – 2 [27]	20
Tab. 6	Příklady součinitele tření v závitech f_z [5]	25
Tab. 7	Přehled tuhých maziv a jejich vliv na utahovací moment, rozptyl a součinitel tření (šroub M12) [26]	26
Tab. 8	Vlastnosti tuhých maziv [26]	29
Tab. 9	Naměřená drsnosti desky C	40
Tab. 10	Naměřená drsnost desky B	40
Tab. 11	Naměřená drsnost desky A	41
Tab. 12	Naměřená drsnost desky K	41
Tab. 13	Naměřená drsnost desky T1	41
Tab. 14	Naměřená drsnost tablety 1	42
Tab. 15	Naměřená drsnost tablety 2	42
Tab. 16	Naměřená drsnost tablety 3	42
Tab. 17	Technologický postup galvanického zinkování	44
Tab. 18	Změřené tloušťky zinkového povlaku (1. pokovení)	45
Tab. 19	Změřené tloušťky zinkového povlaku (2. pokovení)	46
Tab. 20	Úbytek tloušťky povlaku po pasivaci	47
Tab. 21	Tloušťka kluzného laku	49
Tab. 22	Grafit – koeficienty tření	53
Tab. 23	Plastické mazivo LV 2-3 – koeficienty tření	53
Tab. 24	Olej – koeficienty tření	54
Tab. 25	Teflon – koeficienty tření	55
Tab. 26	Plastické mazivo Molyka – koeficienty tření	56
Tab. 27	Měď – koeficienty tření	57
Tab. 28	Kluzný lak – koeficienty tření	58
Tab. 29	Olej – koeficienty tření	59
Tab. 30	Kluzný lak – koeficienty tření	59
Tab. 31	Plastické mazivo Molyka – koeficienty tření	60
Tab. 32	Bez maziva – koeficienty tření	61
Tab. 33	Olej – koeficienty tření	61
Tab. 34	Plastické mazivo Molyka – koeficienty tření	62
Tab. 35	Olej – koeficienty tření	63
Tab. 36	Plastické mazivo Molyka – koeficienty tření	64

Seznam příloh

Příloha 1 Kluzný lak GLEIT GL 220.....	77
Příloha 2 Kluzný lak GLEIT GL 220.....	78
Příloha 3 Plastické mazivo Molyka G	79
Příloha 4 Plastické mazivo LV 2-3.....	80
Příloha 5 Olej 5W-40	81
Příloha 6 Měděná pasta	82
Příloha 7 Grafitové mazivo	83

Přílohy

Informace o výrobku

GLEIT -μ[®] GL 220
MoS ₂ -kluzný lak systém



Popis výrobku

Ve stavu dodání

GLEIT-μ GL 220 je šedočerný kluzný lak, který je postaven na bázi anorganického pojiva a postupně sladěné kombinaci tuhých maziv s vysokým podílem MoS₂. Jako ředidlo je zde použit speciální benzín.

Po nanesení

GLEIT-μ GL 220 a odpaření ředidla se na povrchu vytvoří suchý, dobře držící, extrémně tlakově odolný šedočerný kluzný film.

Okruhy použití

Suché mazání:

tam, kde je požadována čistota od olejů a tuků, a kde z důvodu dalšího provozního namáhání je potřebný optimální záběh nebo tam, kde je zapotřebí suchého, vysoce tlakově zatížitelného kluzného filmu (montáž).

Beztržkové tváření kovů:

těžce tvářitelné materiály jsou při použití **GLEIT-μ GL 220** dobře zpracovatelné. Zamezí se tím studeným svárům a je možný vysoký stupeň přetvoření.

Příklady použití

- záběhové procesy na čepech ložisek
- závity z ušlechtilých ocelí
- podložky
- lisování za studena, rozšiřování, redukování
- při vysokých plošných tlacích a nízkých kluzných rychlostech

Vlastnosti

- suchý, šedočerný kluzný film
- extrémně odolný vůči tlaku
- konstantní, velmi nízké a opakovatelné hodnoty tření
- optimalizuje průběh záběhových procesů
- minimalizuje nebezpečí vniku trhavého pohybu (stick-slip)
- široký okruh teplotního použití od -180°C do 450°C
- umožňuje u strojních součástí počítatelné hodnoty tření
- umožňuje skladování montážně namazaných dílů
- nabízíme cenově výhodné a profesionálně provedené potažení
- je k dispozici i ve spreji



Výrobce:
Wessely Ges.m.b.H.
Grak-SträÙe 1, A-2100 Korneuburg
Tel.: 0043/2262/758390 Fax: 0043/2262/7583913
e-mail: wessely@wessely.co.at
<http://www.wessely.co.at>

Váš partner pro speciální maziva

Nacházel, s.r.o. • Průmyslová 11/1472 • 102 19 Praha 10 - Hostivař • tel.: 222 351 140 • fax: 222 351 149
e-mail: maziva@nachazel.cz • <http://www.nachazel.cz>

Příloha 1 Kluzný lak GLEIT GL 220

Informace o výrobku GLEIT- μ GL 220

30.11.2014

Použití

GLEIT- μ GL 220 se používá ve stavu dodání. Nanášení je možné provádět (na očištěné a odmaštěné součásti) stříkáním (kvalitativně nejlepší), ponořením (výhodné pro malé díly), v bubnu a nebo štětcem (pokud není možné použít předešlých způsobů). Při zpracování velkého množství doporučujeme vybavit zásobník míchacím zařízením. Pro docilení tvorby jednolitého filmu a současně rychlejšího schnutí doporučujeme potahované díly předehřát na 60°C až 80°C a nebo po potažení vysušit horkým vzduchem (60°C až 120°C). Doporučená tloušťka vrstvy pro GLEIT- μ GL 220 je mezi 10 – 20 μ m. Pro Vaše konkrétní podmínky nasazení Vám v našem závodě provedeme bezplatně vzorové potažení.

Poznámky pro použití

- GLEIT- μ GL 220 před i při použití důkladně pečlivě a pravidelně míchat. Sprej dobře protřepat
- GLEIT- μ GL 220 nanášet pouze na čisté povrchy (bez olejů a tuků). Ve většině případů je dostačující potažení pouze jedné plochy
- Po skončení práce zařízení dobře vyčistit, máčecí lázně uzavřít
- Schopnost GLEIT- μ GL 220 lpět na povrchu můžete ještě výrazně zvýšit mechanickou nebo chemickou předúpravou potahovaných dílů (pískováním, fosfátováním nebo atramentováním)
- pro ředění a čištění je dodáváno GLEIT- μ RZ 710
- Perfektní a cenově výhodné potažení Vám rádi provedeme v našem závodě

Technické údaje

vlastnosti	zkušební metoda	hodnota/stav	jednotka
vzhled při dodání	vizuálně	šedočerný	
vzhled po nanesení	vizuálně	šedočerný	
tuhé mazivo		MoS ₂ + grafit	
pojivo		anorganické	
viskozita	DIN 53211 (tryska 4 mm)	ca. 22	sec.
hustota	DIN 51757	ca. 1,0	g/cm ³
bod vzplanutí	DIN EN 57	>21	°C
teplotní okruh nasazení		-180 až +450	°C
čas schnutí/vytržení	při 20°C	30/60	min
doporučená tl. vrstvy		10 – 20	μ m
koefficient tření μ	šroubový test	ca 0,06	
ředidlo		GLEIT- μ RZ 710	
skladovatelnost		12 měsíců u uzavřeném originálním balení	
dodávané balení	karton 12 kusů	400 ml sprej 5 kg plechový kbelík 10 kg plechový kbelík 50 kg plechový kbelík	GL22029 GL22011 GL22036 GL22014
poznámky pro nebezpečí		vyžádejte si bezpečnostní list	

Údaje obsažené v tomto výtisku jsou založeny na našich dlouholetých zkušenostech a znalostech. Udané hodnoty představují střední hodnoty a mohou se pohybovat v obvyklých výrobních tolerancích. Vyhrazujeme si změny vzniklé dalším technickým vývojem. Z důvodu mnoha možných vlivů při zpracování a použití je nutné brát tyto údaje pouze jako doporučení. Právně závazné zajištění daných vlastností nebo vhodnost pro konkrétní způsob nasazení, není možné odvozovat z těchto údajů. Před vlastním nasazením doporučujeme provedení zkoušek.

Nachazel, s.r.o. Průmyslová 11, 102 19 Praha 10 – Hostivař, tel.: +420 222 351 140, fax: +420 222 351 149
e-mail: maziva@nachazel.cz, www.nachazel.cz

Příloha 2 Kluzný lak GLEIT GL 220



Technické informace

MOGUL MOLYKA G
 NLGI 2-3

**VÍCEÚČELOVÉ PRŮMYSLOVÉ
 PLASTICKÉ MAZIVO S OBSAHEM
 SIRNÍKU MOLYBDENIČITÉHO A
 GRAFITU**
Popis:

MOGUL MOLYKA G je plastické mazivo, vyrobené z pečlivě vybraných ropných základových olejů vysoké kvality, zpevněných lithným mýdlem. Je zušlechťeno přísadami proti oxidaci a proti rezivění. Navíc obsahuje směs vysoce jakostního MoS₂ a grafitu, která výrazně zlepšuje jeho vysokotlaké a nouzové vlastnosti. Má krátkovláknitou strukturu, je poloměkké až střední konzistence, černé barvy.

Užití:

Je určeno zejména k mazání vysoce zatížených pomaloběžných valivých ložisek (otáčkový faktor do cca 250 000 – 300 000), pracujících při vysokém dynamickém namáhání; je vhodné i k mazání namáhaných kluzných uložení (např. čepy a pouzdra mobilních strojů, listová pera, kardany apod.), ozubených převodů a jiných mazaných míst. Je schopné dlouhodobé funkce v širokém rozsahu teplot. Časté je jeho využití při mazání zatížených valivých ložisek jak domazávaných, tak i ložisek provozovaných bez

domazávání (dlouhodobá až životnostní náplň). Dobrá odolnost proti vodě předurčuje tento výrobek i k použití v uloženíh pracujících v kontaktu s vodou.

Klasifikace, specifikace:

ISO 6743/9 CCEB 2/3
 DIN 51 502 KF2/3K-30

Charakteristické vlastnosti:

- zaručuje nízké opotřebení a vysokou provozní spolehlivost mazaných uložení
- je vhodné k mazání silně namáhaných pomaloběžných valivých a kluzných uložení, ozubených převodů aj.
- má velmi dobré nouzové vlastnosti
- je dlouhodobě použitelné v širokém rozsahu provozních podmínek (teploty, otáčky aj.)
- dobře odolává vodě
- výborně chrání mazaná uložení proti korozi

Charakteristické parametry

Parametr	Jednotka	Hodnota	Norma
Teplotní rozsah použitelnosti	°C	-30 až 120	
Zpevňovač		Li mýdlo	
Penetrace při 25 °C	10 ⁻¹ mm	240 - 280	ČSN ISO 2137
Bod skápnutí	°C	180	ČSN ISO 2176
Kinematická viskozita základového oleje při 40 °C - informativně	mm ² /s	50	ČSN EN ISO 3104

*Hodnoty v tabulce jsou hodnotami typickými pro současnou produkci. Závazné parametry a další informace o výrobku jsou obsaženy v TN 23-269 PARAMO, a.s. a v bezpečnostním listu.
 Podle Nařízení (ES) č. 1272/2008 (CLP) není výrobek klasifikován jako nebezpečný.*

PARAMO, a.s., Přerovská 560, 530 06 Pardubice
 tel.: 466 810 111, fax: 466 810 328
 http: www.paramo.cz, e-mail: paramo@paramo.cz


Technické informace
MOGUL LV 2-3
 NLGI 2-3

PRŮMYSLOVÉ PLASTICKÉ MAZIVO
Popis:

MOGUL LV 2-3 je plastické mazivo, vyrobené z pečlivě vybraných ropných základových olejů vysoké kvality, zpevněných lithným mýdlem. Je zušlechťeno přísadami proti oxidaci a proti rezivění. Má krátkovláknitou strukturu, je poloměkké až střední konzistence, žluté až světle hnědé barvy.

předurčuje tento výrobek i k mazání uložení, pracujících v možném kontaktu s vodou (ložiska praček, vodních čerpadel apod.).

Klasifikace, specifikace:

ISO 6743/9 CCEA 2/3
 DIN 51 502 K2/3K-30

Užití:

Je určeno zejména k mazání valivých ložisek pracujících v běžných provozních podmínkách, je vhodné i k mazání kluzných uložení, případně malých ozubených převodů s malým nebo středním zatížením a jiných mazaných míst. Je schopné dlouhodobé funkce při středních obvodových rychlostech (otáčkový faktor $n \times d_s$ až cca 250 000 – 300 000) v širokém rozsahu tep- lot. Používá se jako univerzální mazivo pro strojírenství či jiné provozy; uplatnění nachází i v běžných aplikacích v domácnosti, při použití v motorových vozidlech aj. Velmi časté je využití při mazání valivých ložisek, provozovaných bez domazávání s tzv. životnostní náplní maziva (např. ložiska menších či středních elektromotorů, dynam, alternátorů, motorů vysavačů, domácích přístrojů aj.). Dobrá odolnost proti vodě

Charakteristické vlastnosti:

- zaručuje nízké opotřebení a vysokou provozní spolehlivost mazaných uložení
- je vhodné k mazání valivých a kluzných uložení, malých ozubených převodů aj.
- je dlouhodobě použitelné v širokém rozsahu provozních podmínek (teploty, otáčky aj.)
- dobře odolává vodě
- výborně chrání mazaná uložení proti korozi
- je to univerzální plastické mazivo pro strojírenské a jiné provozy – přispívá k racionalizaci sortimentu maziv
- je vhodné i pro aplikace v domácnosti (malé rotační stroje, elektrické spotřebiče s mazanými kontakty apod.)

Charakteristické parametry

Parametr	Jednotka	Hodnota	Norma
Teplotní rozsah použitelnosti	°C	-30 až 120	
Zpevňovaadlo		Li mýdlo	
Penetrace při 25 °C	10 ⁻¹ mm	240 - 280	ČSN ISO 2137
Bod skápnutí	°C	185	ČSN ISO 2176
Kinematická viskozita základového oleje při 40 °C - informativně	mm ² /s	50	ČSN EN ISO 3104

Hodnoty v tabulce jsou hodnotami typickými pro současnou produkci. Závazné parametry a další informace o výrobku jsou obsaženy v TN 23-263 PARAMO, a.s. a v bezpečnostním listu.

Podle Nařízení (ES) č. 1272/2008 (CLP) není výrobek klasifikován jako nebezpečný.

PARAMO, a.s., Přerovská 560, 530 06 Pardubice
 tel.: 466 810 111, fax: 466 810 328
 http: www.paramo.cz, e-mail: paramo@paramo.cz



Technický list

Shell Helix *Ultra* 5W-40

Maximalizuje výkon po celou dobu výměnného intervalu

Shell Helix Ultra se špičkovou technologií aktivního čištění Shell brání hromadění nečistot a tvorbě úsad, zlepšuje reakční vlastnosti a zvyšuje výkon, a tak motoru poskytuje lepší ochranu než běžné motorové oleje po celou dobu výměnného intervalu.

DESIGNED TO MEET CHALLENGES

Výkon, vlastnosti a výhody

- **Špičková technologie aktivního čištění Shell**
Až pětikrát účinnější při odstraňování úsad ze znečištěných motorů než minerální olej.
- **Dlouhodobá odolnost vůči oxidaci**
Až o 30 % lepší ochrana než jiné testované plně syntetické oleje předních značek.
- **Nízká viskozita, rychlý průtok oleje a nízké tření**
Vykazuje lepší účinnost paliva a jednodušší studený start.
- **Vysoká stabilita ve smyku**
Viskozitní vlastnosti jsi zachovává po celou dobu výměnného intervalu.
- **Speciální syntetické základové oleje**
Snižuje odparnost oleje a tím také jeho spotřebu a nutnost doplňování.
- **Minimalizuje vibrace a hlučnost motoru**
Hladší a tišší jízda.

Aplikace

- Olej je vhodný pro benzínové motory se vstřikováním paliva vybavené katalyzátorem a s odvětráním klikové skříně.
Vhodný pro provoz v extrémních podmínkách.

Specifikace, schválení a doporučení

- API: SN/CF
 - ACEA: A3/B3, A3/B4
 - VW: 502.00/505.00
 - MB schválení: 229.5
 - BMW: LL-01
 - Porsche: A40
 - Ferrari
 - Fiat: 9.55535.Z2 (splňuje požadavky)
 - Renault: RN 0700/0710
 - PSA: B71 2296
- Pro úplný seznam specifikací a schválení, kontaktujte prosím lokální technický servis Shell nebo navštivte webové stránky konkrétního výrobce.



Den Braven Sealants

Technický list 13.44 TECTANE Měděná pasta ve spreji

Výrobek Speciální přípravek – extra účinný mazací prostředek s vysokou tepelnou odolností. Speciálně vyvinutý pro použití ve strojírenském, automobilovém a motocyklovém průmyslu. Pro všechny druhy tepelně namáhaných segmentů. Nepostradatelný ve strojírenství, autoopravnách a domácích dílnách.

Vlastnosti

- Vysoká přilnavost;
- Odstraňuje skřípání, vrzání a dření;
- Snižuje riziko tepelného zadření ložisek;
- Usnadňuje montáž a demontáž strojního zařízení;
- Vysoký rozsah tepelné odolnosti od -30°C do +1100°C.

Použití

- Mazací prostředek kloubových závěsů, čepů, ložisek, zapalovacích svíček;
- Ochranný prostředek všech tepelně zatěžených mechanických dílů strojů a zařízení;
- Mazací prostředek pro demontáže kotoučových a bubnových brzd, svorníků motorů, výfuků, tepelných výměníků a dalších tepelně namáhaných zařízení.

Balení Aerosolový sprej 400 ml
Barva Měděná pigmentace

Technické údaje

Základ	-	směs rozpouštědel a mazadel s měděným plnivem
Konzistence	-	aerosol
Přilnavost	-	kovy, plasty, silony
Tepelná odolnost při přepravě	°C	+5 (nesmí zmraznout)
Aplikační teplota	°C	+5 / +25
Tepelný rozsah použití	°C	-30 / +1100
Stékavost	mm	neuvádí se
Vzdálenost při nanášení	mm	200
Agresivita k podkladu	-	neagresivní
Skladovatelnost	měsíce	36 (při teplotách od +5°C do +25°C, chránit před mrazem!)

Omezení Není vhodný pro zařízení v přímém styku s potravinami. Dózu nevystavujte přímému slunci a teplotám nad 50°C.

Pokyny Dózu důkladně protřepat cca 3 min. - nutno slyšet pohyb kuličky. Podklad musí být čistý, suchý, bez rzi, mastnoty a volných částic. Aplikovat ze vzdálenosti cca 200 mm.

Čištění Ruce: voda a mýdlo, reparační krém na ruce.

Bezpečnost Viz «Bezpečnostní list 13.44»

Aktualizace Aktualizováno dne: 03.01.2011 Vyhотовeno dne: 13.04.2005

Výrobek je v záruční době konformní se specifikací. Uvedené informace jsou založeny na objektivním testování a naší zkušenosti. V žádném případě neručíme nad rámec uvedených informací. Uvedené informace jsou výsledkem našich testů a zkušeností, jsou však všeobecné povahy a neobsahují záruky. Každý uživatel je povinen se přesvědčit o vhodnosti použití vlastními zkouškami.

Údaje o zápisu do OR: Zapsáno KS Ostrava, oddíl B, vložka 2951

Den Braven Czech and Slovak a.s.

Adresa: 793 91 Úvalno 353, tel.: 554 648 200, fax: 554 648 205, Česká republika

Bankovní spojení: KB Krnov, č. ú. 19 - 0848810297 / 0100

info@denbraven.cz

IČO: 26872072, DIČ: CZ26872072

www.denbraven.cz

Příloha 6 Měděná pasta

TECHNICKÝ LIST GRAFITOVÝ SPREJ

KIM-TEC Grafitový sprej je mazivo s dobrou přilnavostí a odolností vůči vysokým teplotám, s vysokým podílem grafitu.

KIM-TEC Grafitový sprej účinně zabraňuje vrzání a pískání, zabraňuje připečení šroubových spojení a zabraňuje korozi.

Oblasti použití

KIM-TEC Grafitový sprej je montážní mazací prostředek s dlouhodobým účinkem s použitím na výrazně zatížené části jako např.:

automobilový průmysl: hřídele, pouzdra, řídicí části, zámky a kloubových závěsů.
všeobecný stroj.výroba: šroubení, kluzné spojení, skloubení atd..
potrubná výroba: trubky a trubkové připojení a mnohé jiné.

Vlastnosti produktu

- dobrá přilnavost a tím dlouhodobý mazací efekt.
- vysoký podíl grafitového prášku.
- vhodné pro teplotní rozmezí od -35 ° C do +450 ° C .
- chrání před připečení
- zabraňuje vzniku rzi.
- odolný proti vysokému tlaku
- stálý vůči slané vodě.
- stálý proti různým sloučenin par

Informace o zpracování

Ošetření podkladu:

Podklad by měl být suchý a bez prachu, staré zbytky maziva by měly být odstraněny.

Použití:

Nádobu silně protřepat (minimálně 2 min od slyšitelného pohybu kuliček na mísení). Ze vzdálenosti ca. 20 - 25 cm cíleně nastříkat. Přebytečný materiál odstranit hadrem.

Technické údaje

Technické údaje	Požadovaná hodnota
Barva	šedá
Teplotní rozsah	-55°C do +450°C
Báze	grafitový prášek s různými aditivy
stabilita při skladování	Ca. 2 roky při správném skladování