

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



**PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA
STROJŮ**

Tribometrie, tribotechniky strojních součástí

doc. Ing. Helebrant František, CSc.

Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D.

Ing. Blata Jan, Ph.D.

Ostrava 2013

© doc. Ing. Helebrant František, CSc., Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D., Ing. Blata Jan, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3028-5



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

1	TRIBOMETRIE, TRIBOTECHNIKA STROJNÍCH SOUČÁSTÍ	3
1.1	Úvod	4
1.2	Základní pojmy	5
2	METODY ZKOUŠENÍ TŘENÍ A OPOTŘEBENÍ.....	6
2.1	Hodnocení třecích procesů	6
2.2	Hodnocení procesu opotřebení měřením velikosti opotřebení	6
2.3	Zkoušky opotřebení	7
2.3.1	Přístroje na zkoušky odolnosti proti adhezivnímu opotřebení.....	7
2.3.2	Přístroje na zkoušku odolnosti proti abrazivnímu opotřebení.....	8
2.3.3	Přístroje na zkoušku odolnosti proti erozivnímu opotřebení.....	8
2.3.4	Přístroje na zkoušku odolnosti proti kavitačnímu opotřebení.....	9
2.3.5	Přístroje na zkoušku odolnosti proti únavovému opotřebení.....	9
2.4	Zkoumání třecích povrchů a opotřebení	9
2.5	Zkoumání produktů opotřebení	10
3	TRIBOTECHNIKA ZÁKLADNÍCH STROJNÍCH ČÁSTÍ	11
3.1	Šroub, šroubové spojení	11
3.2	Pružiny	11
3.3	Těsnění	12
3.4	Brzdy	13
3.5	Spojky.....	14
3.6	Ozubení.....	15
3.7	Ocelová lana	16
3.8	Řetězy	17
3.9	Hřídele.....	18
3.9.1	Uložení hřídele	18
3.9.2	Ohebné hřídele.....	18
3.9.3	Přenos kroutícího (točivého) momentu.....	19
4	PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM	20
5	DOPLŇUJÍCÍ ZDROJE – KNIHY, INTERNET,	21
6	POUŽITÁ LITERATURA	22



1 TRIBOMETRIE, TRIBOTECHNIKA STROJNÍCH SOUČÁSTÍ



STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Tribometrie a její rozdělení.

Metody zkoušení tření a opotřebení.

Tribotechnika základních strojních částí.



MOTIVACE:

Již od nepanšti existuje snaha člověka kvantifikovat množství různých látek a následně také dalších veličin, se kterými se ve svém životě setkává. To přineslo v poslední době prudký rozvoj měření, měřících metod, měřících zařízení nebo dokonce celých soustav. Vznikl tak nový vědní obor - metrologie, který se všem výše uvedeným oblastem věnuje a dále definuje možnosti jejich použití.

Znalost metod tribometrie, tedy metod zkoušení tření, opotřebení, zkoušení maziv a podobně je základem pro pochopení aplikace tribotechnických metod u základních strojních součástí, se kterými se v průmyslové praxi setkáváme.



1.1 ÚVOD

Tribometrie - obecně se jedná o široký soubor, zahrnující nejen měření tření a opotřebení, ale také zkoušení maziv, hodnocení tribotechnických prvků strojů včetně sledování jejich provozního chování. Očekávaným výsledkem je vyřešení problému spolehlivosti tribologického uzlu.

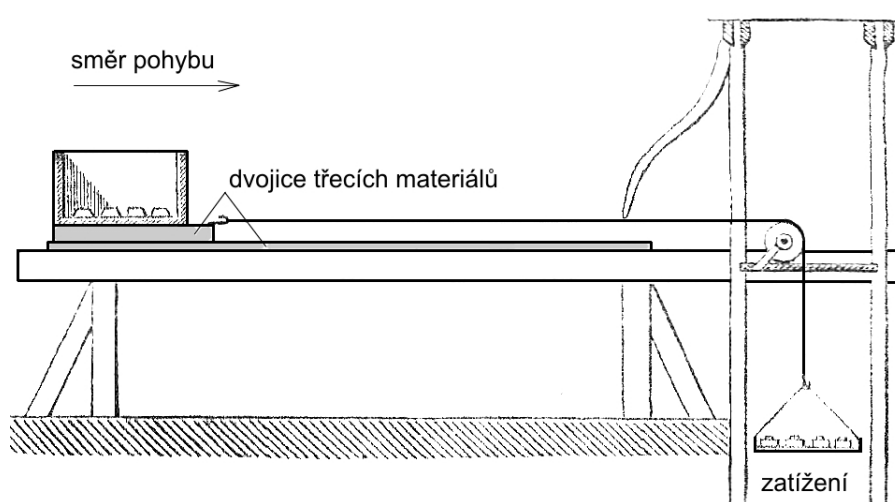
Základní rozdělení tribologických zkoušek

Tribologické zkoušky (tribometrii) lze rozdělit do tří základních skupin:

- modelové zkoušky na laboratorních zařízeních, které pracují v předem přesně definovaných podmínkách, které odpovídají specifickým podmínkám tribologického procesu,
- zkoušky na simulačních zařízeních, kdy se snažíme vytvořit takové podmínky, které se budou nejčastěji vyskytovat v reálném provozu,
- provozní zkoušky, které dají nejlepší výsledky, ale jsou časově a finančně nejnáročnější.

Základní požadavky na konstrukci zkušebních a simulačních zařízení

- jednoduchá příprava zkoušky,
- jednoduchost provedení vlastní zkoušky,
- nízké finanční náklady zkušební metody,
- snaha o co nejrychlejší projev tribologického procesu,
- vysoká přesnost a reprodukovatelnost výsledků.



Obr. 1 Náčrt Coulombova tribometru

O tom, jestli bude naplánovaná tribologická zkouška úspěšná, zpravidla rozhoduje správné pochopení všech údajů a aspektů řešeného tribologického systému.



1.2 ZÁKLADNÍ POJMY

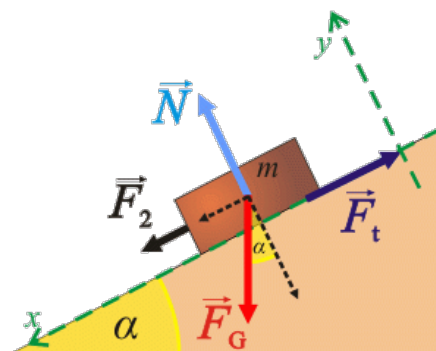
- **TRIBOMETRIE** - soubor různorodých metod a technických řešení využívaných ke zkoumání tribologických procesů, včetně hodnocení maziv a tribotechnických prvků strojů,
- **TRIBOTECHNIKA** - vědní obor zabývající se aplikací tribologických zásad do konstrukce strojů a zařízení, zabývá se tedy komplexně praktickým řešením otázek týkajících se tření, opotřebení a mazání,
- **TŘENÍ** - je definováno odpor proti relativnímu pohybu, který vzniká mezi dvěma k sobě přitlačovanými tělesy při jejich vzájemném relativním pohybu,
- **OPOTŘEBENÍ** - je důsledkem tribologického procesu probíhajícího v tribologickém systému a jeho výsledkem je trvalý úbytek materiálu z povrchů pevných těles při jejich vzájemném dotyku a relativním pohybu těchto těles nebo při pohybu okolního média.



2 METODY ZKOUŠENÍ TŘENÍ A OPOTŘEBENÍ

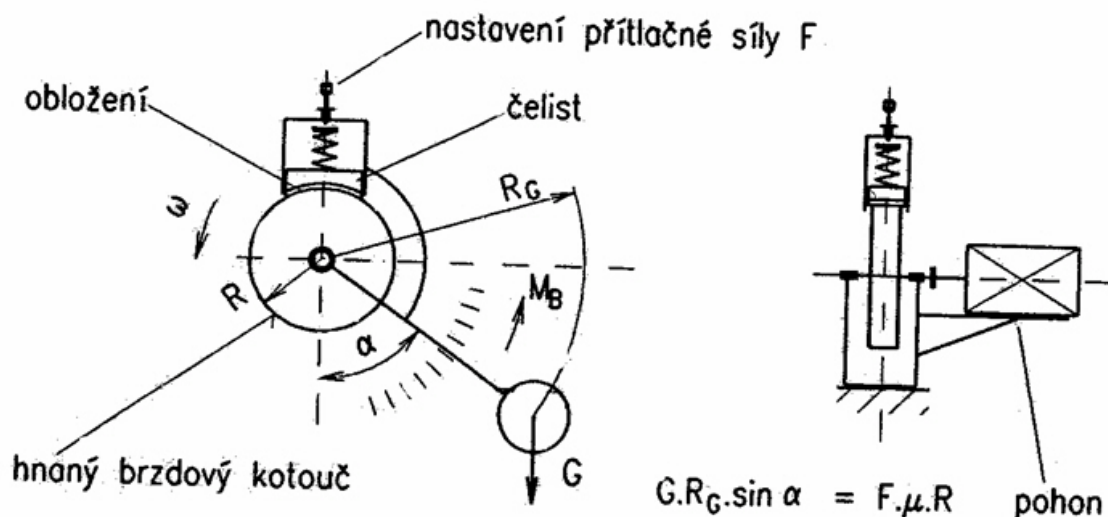
2.1 HODNOCENÍ TŘECÍCH PROCESŮ

cílem měření je číselné vyjádření velikosti třecí síly, třecího momentu, resp. určení součinitele tření.



<http://fyzikalniulohy.cz>

Obr. 2 Stanovení součinitele tření na nakloněné rovině



Obr. 3 Stolice pro měření součinitele tření materiálů brzdných obložení

2.2 HODNOCENÍ PROCESU OPOTŘEBENÍ MĚŘENÍM VELIKOSTI OPOTŘEBENÍ

- určení velikosti opotřebení změnou hmotnosti,
- určení velikosti opotřebení změnou lineárních rozměrů,
- určení velikosti opotřebení změnou objemu,
- určení velikosti opotřebení - profilováním (topografie povrchu),
- určení velikosti opotřebení využitím různých snímačů,
- určení velikosti opotřebení využitím radioizotopů.



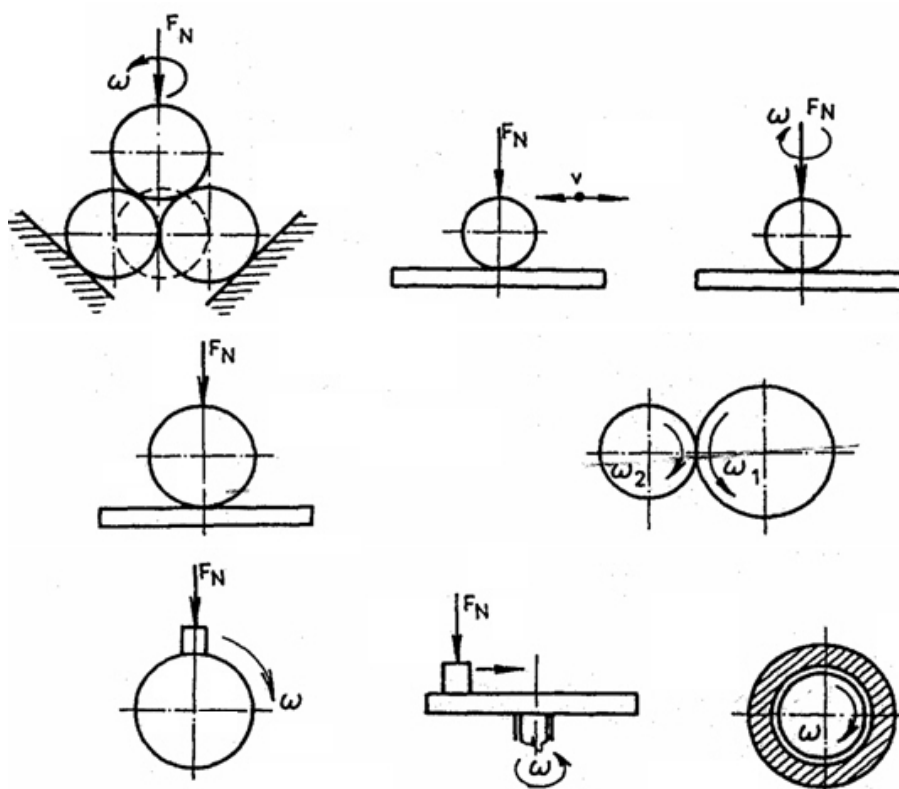
2.3 ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ

- jedná se o zkušební jednoúčelové přístroje,
- jejich principiální řešení je dáno převládajícím mechanismem opotřebení, tzn. nerespektováním vlivu dalšího velkého počtu proměnných.

2.3.1 Přístroje na zkoušky odolnosti proti adhezivnímu opotřebení

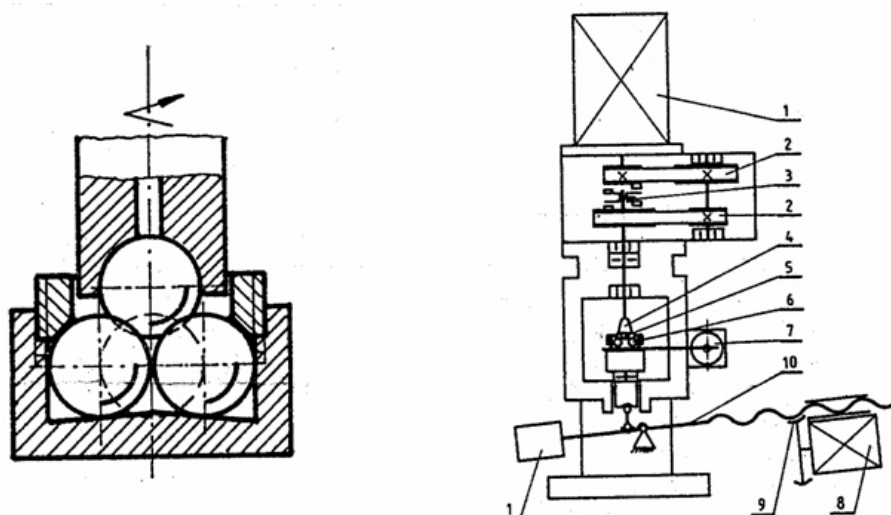
Rozhodujícím kritériem je:

- geometrie třecího uzlu,
- druh dotyku jednotlivých prvků (bodový, přímkový, plošný).



Obr. 4 Příklady třecích uzlů (styk bodový, přímkový, plošný)

- **Čtyřkuličkový třecí přístroj** - přístroj je určen k ohodnocení mazacích vlastností kapalných a plastických maziv na základě indexu opotřebení (oděru) a zatížení.

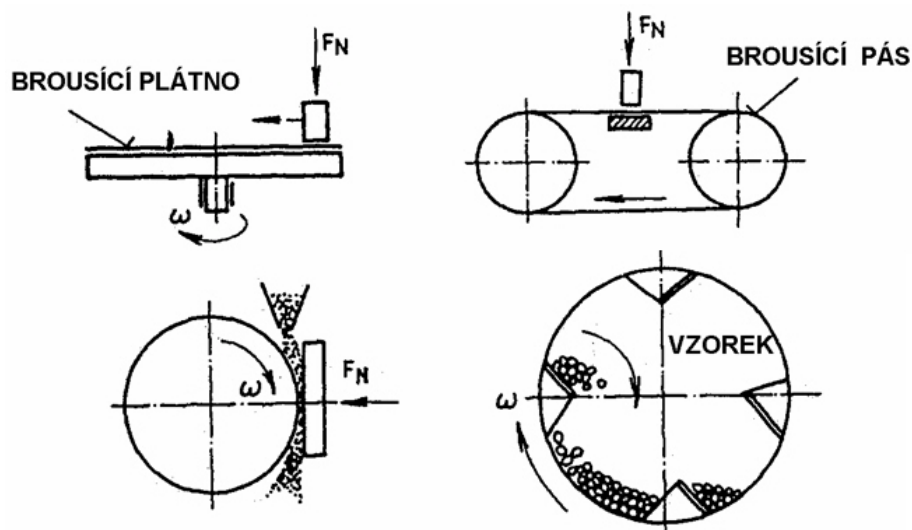


Obr. 5 Čtyřkuličkový třecí přístroj (model a kinematické schéma)

2.3.2 Přístroje na zkoušku odolnosti proti abrazivnímu opotřebení

Rozlišujeme použití:

- vázaných částic,
- volných částic.



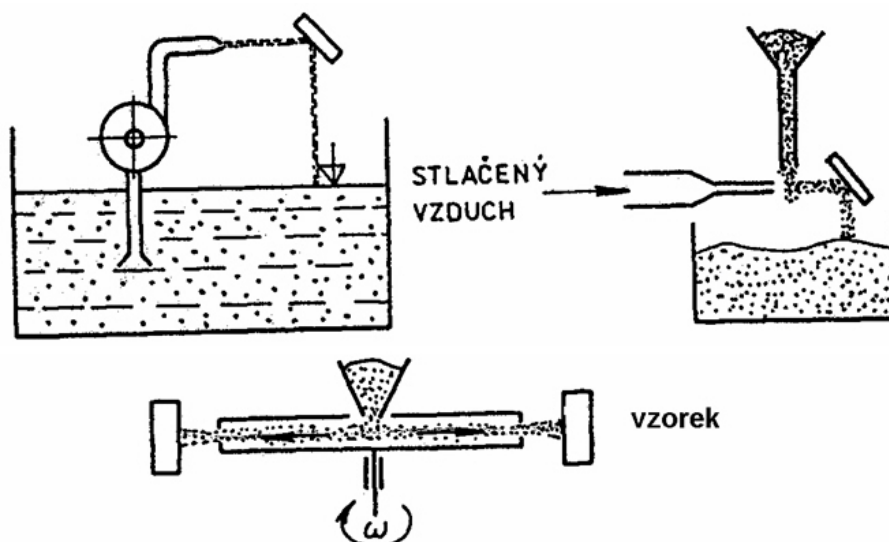
Obr. 6 Schéma přístrojů na zkoušky proti abrazivnímu opotřebení

2.3.3 Přístroje na zkoušku odolnosti proti erozivnímu opotřebení

Rozlišujeme podle způsobu nesení erozivních částic:

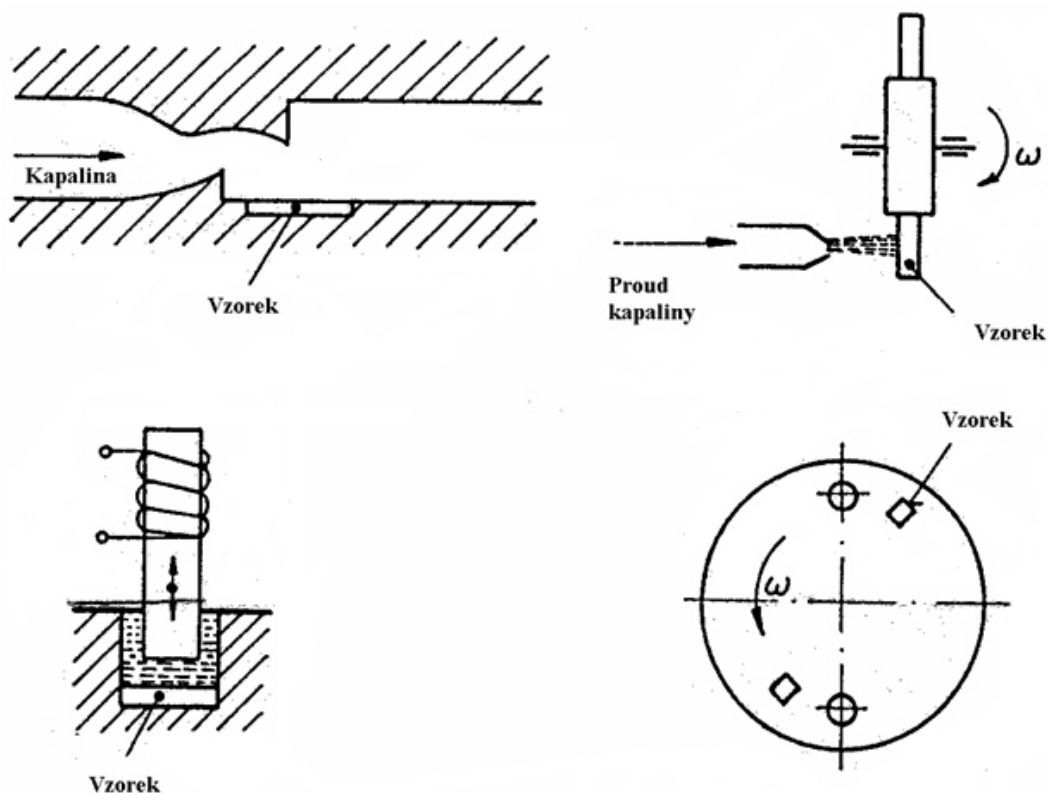
- proudem kapaliny,
- stlačeným vzduchem
- odstředivou silou.





Obr. 7 Schéma přístrojů na zkoušky proti erozivnímu opotřebení

2.3.4 Přístroje na zkoušku odolnosti proti kavitačnímu opotřebení



Obr. 8 Schéma přístrojů na zkoušky proti kavitačnímu opotřebení

2.3.5 Přístroje na zkoušku odolnosti proti únavovému opotřebení

2.4 ZKOUMÁNÍ TŘECÍCH POVRCHŮ A OPOTŘEBENÍ

- metody měření napětí v povrchové vrstvě,
- metody měření zpevnění povrchové vrstvy,
- metody zkoumání strukturních změn povrchové vrstvy,



- metody zkoumání složení povrchových vrstev.

2.5 ZKOUMÁNÍ PRODUKTŮ OPOTŘEBENÍ

- zkoumání např. morfologie (rozložení), velikosti a množství oděru v mazivu.



3 TRIBOTECHNIKA ZÁKLADNÍCH STROJNÍCH ČÁSTÍ

Během provozu strojních systémů je nutné hledat odpovědi na celou řadu otázek. Kapitola věnovaná tribotechnice se pokusí formulovat problematiku z pohledu základních strojních částí a dát jednoduché odpovědi na následující otázky z pohledu technických systémů:

- kde vzniká tření a jaké,
- jaký druh a jaká je velikost opotřebení,
- jaké mazivo použít a jak přistoupit k řešení předchozích otázek.

3.1 ŠROUB, ŠROUBOVÉ SPOJENÍ

Řešíme následující oblasti:

- součinitel závitového tření, součinitel tření hlavy šroubu,
- sevření šroubu, zadření šroubu,
- ochranu proti korozi, ochranu proti tribokorozi,
- těsnící funkci maziva,
- vliv teploty na mazání,
- obecně lze tedy říci, že mazivo brání kontaktu kov na kov na bocích závitu (nebo ho zmírňuje), ovlivňuje koeficient tření, atd.

Nedílnou součástí výkladu proto musí být výpočet utahovacího momentu šroubového spojení, který je součtem utahovacího momentu závitového (M_G) a hlavového (M_K).

$$M_G = F_V \cdot (0,159 \cdot P + 0,578 \cdot d_2 \cdot \mu_G)$$

$$M_K = 0,5 \cdot F_V \cdot d_{km} \cdot \mu_K$$

kde:	F_V	- síla předpětí [N]
	P	- stoupání závitu [m]
	d_2	- střední průměr závitu [m]
	μ_G	- závitový součinitel tření
	d_{km}	- střední hlavový průměr [m]
	μ_K	- hlavový součinitel tření

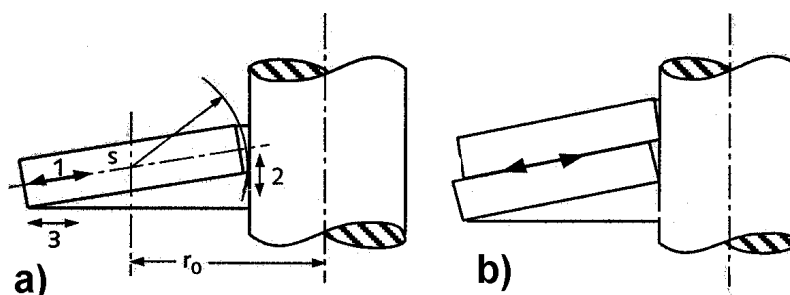
3.2 PRUŽINY

Pro ukázkou řešení problematiky pružin z pohledu tribotechniky byla vybrána talířová pružina, kde je možno řešit otázku různých druhů tření:

- vnitřní tření - odpovídá pružné deformaci a nemá vliv na řešení triboproblému,
- tření na vodícím elementu - odpovídá kluzu na délce dané pružením,



- tření paralelních vrstev pružiny - je všeobecně přítomno, neboť je dáno uspořádáním většiny pružin,
- tření na zakončovací části - je tření zakončovací části vedení pružiny, má radiální směr a jeho určení vyžaduje přesnou znalost pružících cyklů a pod.



Obr. 9 Místa tření na talířové pružině

Pozitivní účinky nasazení maziva (plastické):

- chrání před zlomením (prasknutím) pružiny,
- minimalizuje ztráty vzniklé třením,
- chrání před korozí a tribokorozí,
- zvyšuje teplotní rozsah nasazené pružiny.

3.3 TĚSNĚNÍ

Podle konstrukce stroje a provozního nasazení rozlišujeme:

- utěsnění ploch (nádoby, spoje potrubí a pod.),
- těsnění rotujících částí,
- těsnění hydraulických a vzduchových obvodů a pod.

Těsnění rotujících částí (těsnění valivého ložiska):

- bezdotykové (spárové nebo labyrintové) - účinnost závisí na těsnícím účinku úzké spáry,
- kontaktní (třecí a další) - účinnost závisí na rovnoměrnosti tlaku v těsnící stykové ploše.

Třecí těsnění:

- musí být navrženo tak, aby unikalo velmi malé množství maziva k mazání těsnící dotykové plochy,
- třecí těsnění se běžně nazývá Gufero (pružný kroužek).



Úkoly těsnění:

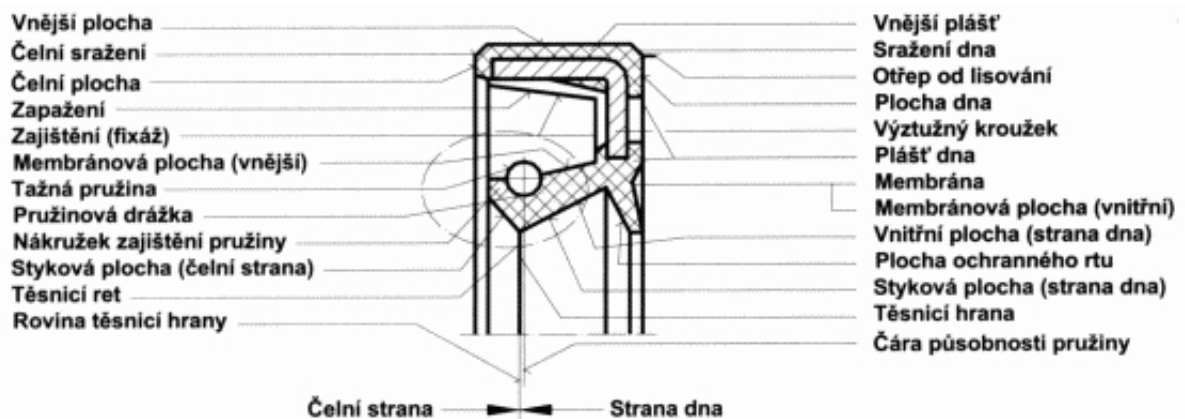
- musí chránit ložisko i mazivo proti vnějšímu prostředí, aby nečistoty a vlhkost nemohly vniknout do ložiska a tak zapříčinit poškození,
- musí bránit úniku maziva z ložiska,
- umístění třecí plochy (tzn. uložení gufera) rozhoduje o prioritě funkce.

Z hlediska provozu a spolehlivosti strojních zařízení je potřeba si uvědomit následující:

- **účinnost těsnění vždy ovlivňuje životnost valivého ložiska,**
- **nikdy nesmíme provozovat ložisko s poškozeným nebo neúčinným těsněním.**

Gufera:

- pro hřídele o průměru až cca 4 700 mm,
- výkon a spolehlivost závisí v největší míře na materiálu těsnícího břítu:
 - nitrilkaučuk - snáší i krátkodobý běh nasucho - provozní teplota -50 až +100°C a krátkodobě až +120°C - při vyšších teplotách tvrdne,
 - silikonová pryž - vysoká tepelná odolnost - pro teploty od -70 až +160°C – má schopnost absorbovat maziva, tedy snižovat tření a opotřebení,
 - fluorokaučuková pryž (VITON) - má vysokou tepelnou a chemickou odolnost - vhodná pro teploty až do + 200°C - odolná vůči olejům a hydraulickým kapalinám, palivům a mazivům, dokonce minerálním kyselinám a alifatickým aromatickým uhlovodíkům.



Obr. 10 Gufero - základní pojmy dle DIN 3761

3.4 BRZDY

Je možné říci, že materiály používané při výrobě brzdových systémů, zejména brzdového obložení a destiček, patří do malé skupiny konstrukčních materiálů, od kterých mimo jiných vlastností požadujeme také vysoký koeficient tření.



Brzdový materiál by měl splňovat tyto požadavky:

- vysoký koeficient tření,
- stálost za různých podmínek,
- odolnost proti opotřebení,
- pevnost,
- vysokou tepelnou vodivost,
- odolnost a stálost při korozi,
- snižovat hluk a vibrace.

V praxi hovoříme o tzv. protismykových (frikčních) materiálech - vyrábí se tzv. spékáním (např. MoS_2 - Grafit - Sb (SbS_4) - mazání je dáno již výrobou brzdových materiálů.

Funkci brzd bezpodmínečně ovlivňuje celý brzdový systém. A protože se ve velké většině případů jedná o hydraulické (kapalinové) brzdy (hydrostatický systém), budou výsledné chování brzdového systému ovlivňovat také vlastnosti brzdové (hydraulické) kapaliny.

Základními požadovanými vlastnostmi hydraulických kapalin jsou:

- široké rozpětí pracovních teplot (-50 do 200°C i více),
- nízká viskozita (dobrá tekutost) při nízkých teplotách,
- bod varu dostatečně vysoký,
- dobrá stlačitelnost, resp. nestlačitelnost,
- nepůsobit na těsnicí materiály,
- nesmí vytvářet usazeniny,
- oxidační stálost a korozivzdornost,
- dobrá mazací schopnost a únosnost mazacího filmu,
- nízká pěnivost a schopnost konzervace povrchů.

3.5 SPOJKY

Volba materiálu třecích dvojic u třecích spojek závisí na:

- skutečnosti, zda je spojka mazaná nebo pracuje za sucha,
- otáčkách spojky,
- frekvenci spínání,
- odvádění tepla,



- momentu setrvačnosti apod.

V praxi se například volí třecí dvojice:

- ocel - ocel, ocel - osinek, ocel - kovokeramické obložení, mosaz - osinek.

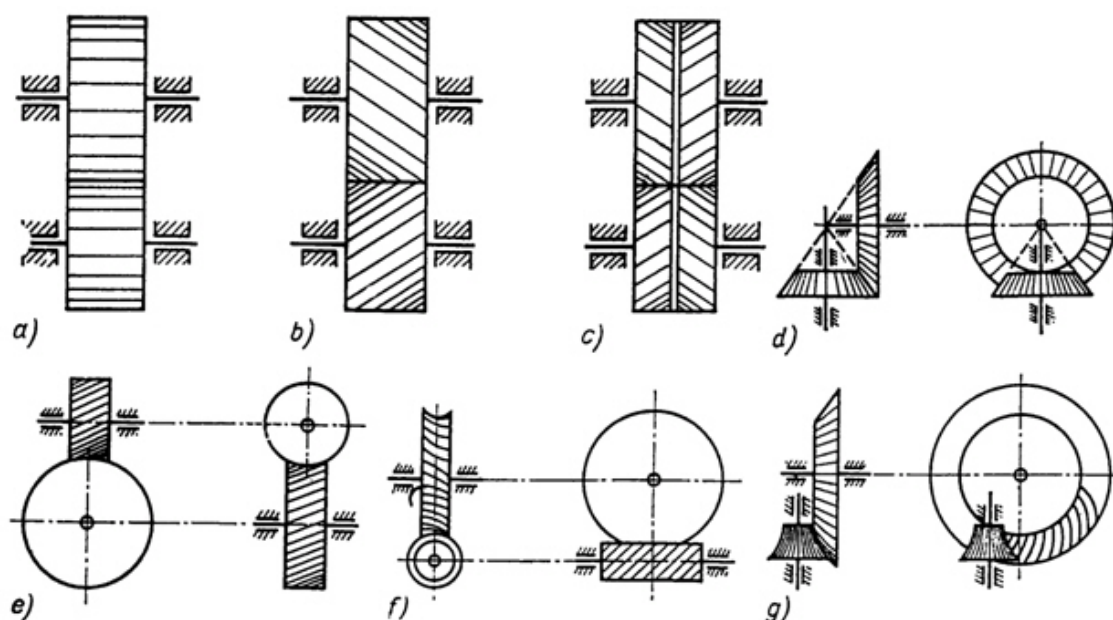
Z pohledu tribotechniky a tribovýkladu požadujeme zejména:

- konstantní koeficient tření, nízké opotřebení, ochranu proti tribokorozi.

3.6 OZUBENÍ

Ozubení dělíme podle kinematických poměrů při záběru:

- valivá soukolí (čelní, kuželová atd.),
- šroubová soukolí (šneková, hypoidní atd.)



Obr. 11 Základní typy ozubení

Vedle správné konstrukce ozubení zastává významnou roli v době provozu také mazání, a to hlavně v oblastech:

- opotřebení povrchů boků,
- bezpečnosti proti zadírání,
- tlumení hluku,
- mechanických ztrátách atd.

Celkově se tedy dá říci, že **mazání vlastně rozhoduje o životnosti ozubeného soukolí.**

O druhu maziva použitého rozhoduje:

- rychlost, tlak, teplota, způsob mazání a vliv prostředí,



- druh převodu, materiál zubů a obvodová rychlost.

Dělení převodů podle obvodové rychlosti dle DIN 51 509:

- do 2 m.s^{-1} - otevřené velké nenáročné převody - ruční mazání,
- do 4 m.s^{-1} - plastické mazivo a brodění, resp. rozstřikové,
- do 15 m.s^{-1} - mazání olejem a brodění, resp. rozstřikové mazání,
- nad 15 m.s^{-1} - mazání olejem, oběhové se vstřikem do mazaných míst, resp. záběru nebo olejová mlha - cílem je vytvoření dostatečné mazací vrstvy - pozor - velmi silná mazací vrstva vede ke kavitačnímu opotřebení spárovou kavitací.

Důležité vlastnosti převodových maziv:

- schopnost vytvořit dostatečně únosný mazací film,
- přilnavost maziva k povrchu zubů,
- mazivost zmenšující koeficient tření,
- dobrá viskozitně teplotní charakteristika,
- oxidační stálost za tepla,
- deemulgační schopnost,
- vysoká pevnost ve smyku,
- malá pěnivost,
- mazivo nesmí leptat těsnící materiály.

3.7 OCELOVÁ LANA

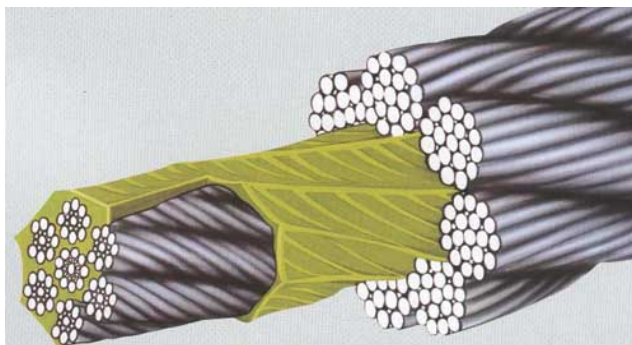
Použitá plastická maziva (mazadla) mají u lan následující základní význam:

- zabránit korozi ocelových drátů,
- zmenšit vnitřní tření lana při práci, tření mezi lanem a lanovnicí a podobně.

Mazadla jsou v podstatě dvojího druhu:

- na mazání (napouštění) vložky lana,
- na mazání drátků a lan vnějších, tzn. na domazávání za provozu.





Obr. 12 Ukázka provedení ocelového lana

Z pohledu druhu použitých mazadel musí platit následující:

Oba druhy mazadel se musí dobře snášet.

Hlavní vlastnosti mazadel ocelových lan:

- dostatečná pevnost mazacího filmu,
- mazadlo se nesmí dát odstranit vodou ani jinými kapalinami, které způsobují korozi,
- mazadlo musí mít ochranný účinek i na textilní vložku,
- mazací film musí být stálý i za vyšších teplot a zejména odolný proti povětrnostním vlivům,
- mazací film se nesmí odlupovat nebo praskat, a to ani při nízkých teplotách,
- mazadlo nesmí obsahovat žádné agresivní látky,
- vnitřní mazadlo nesmí být rozpouštědlem vnějšího,
- do 65°C nesmí vnitřní mazivo téci.

Domazávání za provozu je pouze vnější, domazávají se také pozinkovaná lana.

Nejužívanějšími mazivy pro mazání lan jsou v současné době mazadla **Elaskon** a **Madolan**.

3.8 ŘETĚZY

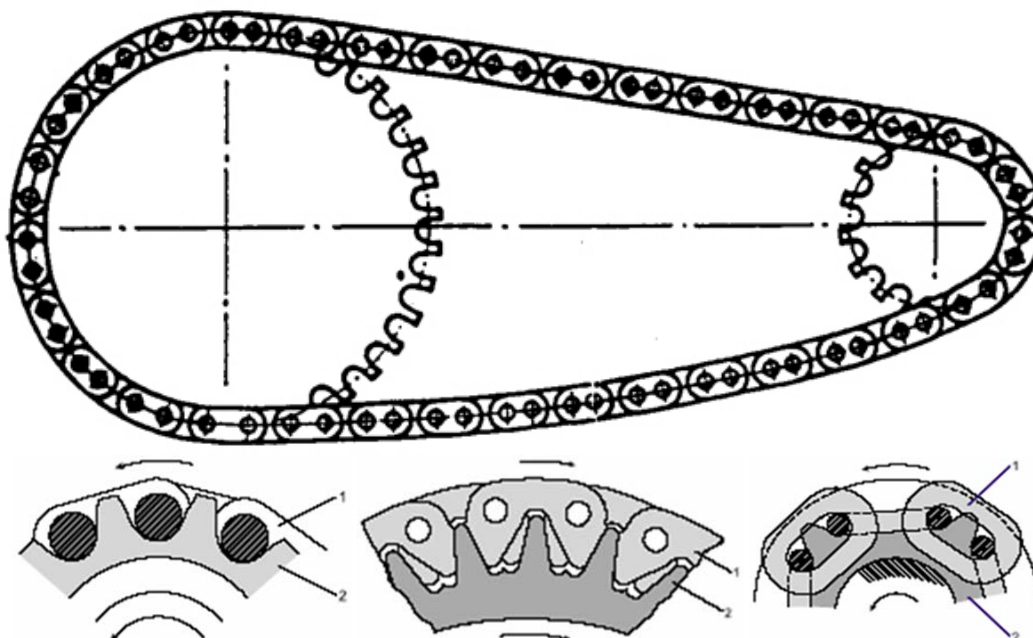
Důvody mazání řetězů:

- mezi destičkami na čepech a pouzdrech dochází ke smykovému tření,
- malé kluzné rychlosti,
- dosti značné zatížení měrným tlakem,
- nedokonalé možnosti přístupu maziva,
- opotřebení vede ke změně roztečí, protahování řetězu, tzn. snižování účinnosti mazání.



Používaná maziva:

- oleje vyšší viskozity a přilnavosti s aditivy na extrémní (vysoké) tlaky - o viskozitě oleje rozhoduje rychlost řetězu a teplota prostředí,
- mazací tuky - pro pomaluběžné řetězy.



Obr. 13 Ukázky provedení řetězových převodů

3.9 HŘÍDELE

Problematika použití hřídelů v praxi je velice široká, řídí se mnoha zásadami a navíc má podle konkrétních případů svá specifika. Zpravidla řešíme otázky k problematice:

3.9.1 Uložení hřídele

Řešíme otázky:

- kluzných a valivých ložisek,
- ochrany proti korozi a tribokorozi,
- možnosti montáže a demontáže (valivá ložiska),
- minimalizace opotřebení (kluzná ložiska - drsnost povrchu a lícování) apod.

3.9.2 Ohebné hřídele

Možnosti použití:

- pro otáčky až $50\,000\text{ min}^{-1}$,
- kroutící momenty až $10\,000\text{ N.m}$,
- výkony až 20 kW ,



- délky až 4 000 mm (normální provedení) a 15 000 mm (ohebné hřídele pro dálkové řízení, resp. náhony),

Aplikace maziva:

- plastické a tuhé mazivo (teflon, grafit),
- jako prostředek údržby před opotřebením,
- k zabránění styku třecí dvojice (ohebný hřídel - bowden),
- z důvodu ochrany proti korozi.

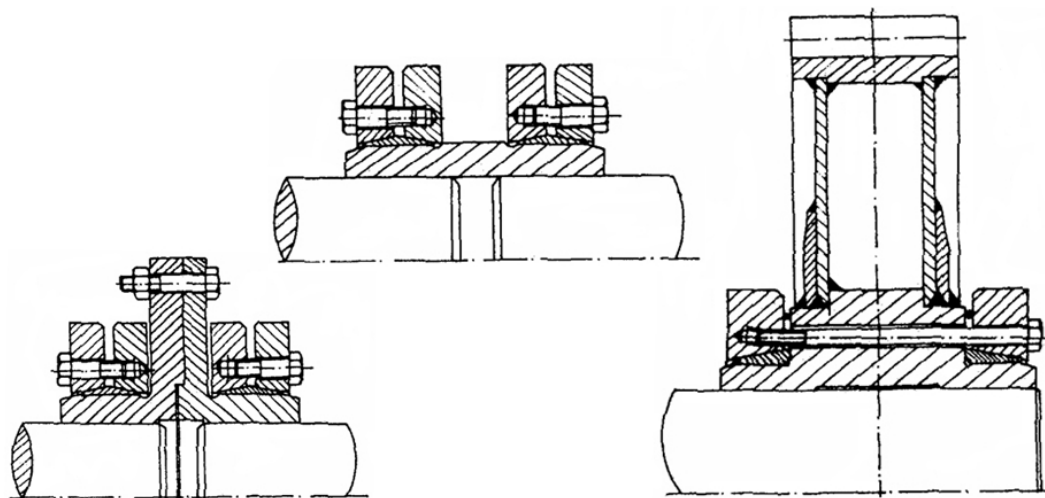
Upozornění: **Podmínkou správné funkce je správné dimenzování, tedy správné určení průměru ohebného hřídele.**

3.9.3 Přenos kroutícího (točivého) momentu

Řešíme otázku vytvoření spojení:

- pomocí péra,
- pomocí drážkového hřídele,
- pomocí tzv. svěrného spojení (ringfedry):
 - tření přenáší kroutící moment,
 - tření je v tomto případě jevem nutným (max. koef. tření),
 - třecí kontakt třecí dvojice je otázkou:
 - drsnosti povrchu a materiálu dvojice,
 - vytvoření odpovídající jejího zatížení (vytvoření třecí síly),
 - vzhledem k rozebiratelnosti řešíme otázku ochrany proti korozi a tribokorozi.

Upozornění: **Koeficient tření mezi hřídelí a nábojem musí být min. od $\mu = 0,12$.**



Obr. 14 Ukázky provedení svěrných spojení



4 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Tribometrie - metody zkoušení tribologických prvků a jejich vlastností, simulace tribologických procesů, metody zkoušení tření a určení tribologických parametrů.
- Tribotechnika základních strojních částí - šroubové spojení, pružiny, těsnění, spojky, brzdy, ložiska kluzná a valivá, ozubení, ocelová lana, hřídele, atd.



5 DOPLŇUJÍCÍ ZDROJE – KNIHY, INTERNET, ...

- [1] Coulombs tribometer. Reibung. 2000-2010 [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: <http://de.academic.ru/pictures/meyers/large/160722a.jpg>
- [2] Bedna na nakloněné rovině. Sbírka řešených úloh z fyziky. 2011 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://fyzikalniulohy.cz/uloha.php?uloha=97>
- [3] Klasická a speciální ocelová lana. Pavlínek s.r.o., Ostrava. 1999-2013. [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://stavebnictvi.bydleni.cz/firma/Pavlinek-s-r-o-Ostrava/surl/index.htm>



6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Stodola, Jiří, Pešlová, Františka a Krmela, Jan. *Opotřebení strojních součástí: monografie*. 1. vydání. Brno: Univerzita obrany, 2008. 195 s. ISBN 978-80-7231-552-9
- [2] Stodola, Jiří, ed. a Šťastný, Jiří, ed. *Opotřebení, spolehlivost, diagnostika 2009: monografie*. 1. vydání. Brno: Tribun EU, 2009. 230 s. ISBN 978-80-7399-847-9
- [3] Helebrant, František, Ziegler, Jiří a Marasová, Daniela. *Technická diagnostika a spolehlivost. I., Tribodiagnostika*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. 155 s. ISBN 80-7078-883-6
- [4] Šafr, Emil. *Tribotechnika*. Praha: Redakce báňské a strojírenské literatury, SNTL - Nakladatelství technické literatury. Knižní výroba, Brno, 1984. 300 s. 04-244-84
- [5] Šafr, Emil. *Technika mazání*. 2. doplněné vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1970. 381 s. Řada teoretické lit.
- [6] Spalek, Jacek. *Problemy inżynierii smarowania maszyn w górnictwie: monografia*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Zakład Graficzny Politechniki Śląskiej w Gliwicach, 2003. 109 s. ISBN 83-7335-225-2
- [7] Szczerek, Marian. *Metodologiczne problemy systematyzacji eksperymentalnych badań tribologicznych*. Radom: Institut Technologii Eksploatacji. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Institutu Technologii Eksploatacji, 1997. 245 s. ISBN 83-87039-42-X
- [8] Szczerek, Marian a Wiśniewski, Marek. *Tribologia i Tribotechnika*. Radom: Polskie Towarzystwo Tribologiczne, Institut Technologii Eksploatacji, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Mechaników Polskich. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Institutu Technologii Eksploatacji, 2000. 727 s. ISBN 83-7204-199-7

