

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
fakulta strojní

**TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA  
A SPOLEHLIVOST  
I.  
TRIBODIAGNOSTIKA**

Doc.Ing. František Helebrant, CSc.

Doc.Ing. Jiří Ziegler, CSc.

Doc.Ing. Daniela Marasová, CSc.

Ostrava 2000

Předkládané skriptum je určeno především studentům bakalářského studia oboru „Technická diagnostika, udržování a opravy“, ale samozřejmě všem dalším studentům, kteří ve svém studijním plánu mají předměty zabývající se v obecném slova smyslu problematikou technické bezdemontážní diagnostiky a údržby.

V rámci ucelenosti a pedagogické koncepčnosti jsou do skriptu zařazeny nutné kapitoly tribologie a tribotechniky, z kterých tribodiagnostika jako taková vychází, takže lze předkládané skriptum doporučit i ke studiu těchto předmětů.

Nesmírný dík autorů patří panu Vladislavu Markovi, který poskytl celou řadu věcných připomínek, většinu podkladů provozních měření, takže jej lze považovat za rovnoprávného spoluautora.

Autoři

## OBSAH

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>5</b>
1.1. Základní definice a terminologie .....	5
1.2. Historický vývoj .....	8
1.3. Technický, technologický a ekonomický význam .....	9
<b>2. TRIBOLOGIE</b> .....	<b>9</b>
2.1. Všeobecná teorie .....	9
2.1.1. Tribologický systém .....	10
2.1.2. Tribologické procesy .....	14
2.2. Kontaktní procesy .....	15
2.3. Tření .....	15
2.3.1. Kluzné tření .....	20
2.3.2. Valivé tření .....	21
2.4. Opotřebení .....	22
2.4.1. Mechanizmy a druhy opotřebení .....	23
2.5. Maziva .....	26
2.5.1. Vlastnosti maziv .....	28
2.5.2. Klasifikace maziv .....	34
2.5.3. Ekologicky odbouratelná maziva .....	36
2.5.4. Příspěvky do maziv .....	36
2.6. Tribometrie .....	37

<b>3. TRIBOTECHNIKA .....</b>	<b>44</b>
3.1. Základní tribotechnický výklad vybraných strojních částí .....	44
3.1.1. Šroub, pružina, hřídel .....	45
3.1.2. Ložiska a těsnění .....	47
3.1.3. Ozubení .....	62
3.1.4. Řetězy, ocelová lana, brzdy a spojky .....	66
3.2. Mazací soustavy a zařízení .....	70
3.2.1. Krátkodobé mazací soustavy a zařízení .....	72
3.2.2. Dlouhodobé mazací soustavy a zařízení .....	73
<b>4. TRIBODIAGNOSTIKA .....</b>	<b>97</b>
4.1. Základní pojmy a úvod do problematiky .....	98
4.2. Rozdělení metod tribodiagnostiky .....	99
4.3. Odběr vzorků pro analýzu .....	100
4.4. Tribodiagnostická degradace maziva .....	101
4.4.1. Tribodiagnostika degradace mazacího oleje .....	102
4.4.1.1. Hodnocení fyzikálně chemických parametrů mazacího oleje .....	102
4.4.1.1.1. Kinematická viskozita .....	102
4.4.1.1.2. Bod vzplanutí .....	103
4.4.1.1.3. Obsah vody .....	105
4.4.1.1.4. Číslo alkality a kyselosti .....	106
4.4.1.1.5. Conradsonův karbonizační zbytek .....	107
4.4.1.1.6. Kapková zkouška .....	108
4.4.1.1.7. Celkové znečištění .....	111
4.4.1.2. Spektrální analýza mazacích olejů .....	114
4.4.1.3. Změna kvality mazacího oleje .....	115
4.4.2. Tribodiagnostika degradace plastického maziva .....	116

4.4.2.1. Hodnocení plastických maziv .....	117
4.5. Tribodiagnostika opotřeбенí strojních systémů .....	119
4.5.1. Rozdělení metod .....	119
4.5.2. Atomová spektrofotometrie .....	119
4.5.2.1. Atomová emisní spektrofotometrie .....	120
4.5.2.2. Atomová absorpční spektrofotometrie .....	120
4.5.3. Částicová analýza - ferografie .....	121
4.5.3.1. Podstata ferografie .....	121
4.5.3.2. Feroskopické vyhodnocení .....	123
4.5.3.3. Ferodenzimetrické vyhodnocení .....	125
4.5.4. Další metody .....	126
4.5.4.1. Polarografie .....	126
4.5.4.2. Voltametrie .....	127
4.5.4.3. Metoda RAMO .....	127
4.6. Příklady provozních měření .....	127
4.6.1. Diagnostika hydraulických obvodů .....	127
4.6.1.1. Parametrické metody .....	128
4.6.1.2. Termodynamické metody .....	128
4.6.1.3. Vibroakustické metody .....	129
4.6.1.4. Tribodiagnostické metody .....	129
4.6.2. Vybrané příklady provozních měření .....	130
4.6.2.1. Diagnostika motorových olejů .....	131
4.6.2.2. Diagnostika průmyslových a speciálních olejů .....	141
4.7. Multiparametrická diagnostika a tribodiagnostika .....	151
<b>5. VÝZNAM TRIBODIAGNOSTIKY V KOMPLEXNÍM HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU STROJŮ A ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>153</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>154</b>

## 1. ÚVOD

Jednoznačně lze říci, že na prahu 60 až 70 let se ve světovém měřítku dostává do popředí otázka šetření všemi druhy energií a to především v souladu s řešením problematiky ochrany životního prostředí.

V roce 1966 zpracovala komise pod vedením P.H. Josta (Jost, H.P. Committee on Lubrication. Tribolog Report, London 1966) zprávu, která se zabývala otázkami tření, opotřebení, mazání a tím souvisejícími energetickými úsporami. Lze říci, že tímto rokem je datován vznik nové vědy – TRIBOLOGIE, která v již zmíněné Jostově zprávě byla definována jako „Věda a technika vzájemného působení povrchů tuhých těles při jejich relativním pohybu a s praxí tím spojenou“.

Je naprostou samozřejmostí, že s danou problematikou úzce souvisí otázka zvyšování provozní spolehlivosti strojů a zařízení, takže je vlastně dům popud k řešení otázek vycházejících z tribologie, která jako taková získává charakter základní technické disciplíny, která využívá poznatky klasických technických a přírodních věd, což vede k chápání její podstaty a vývoje jako multidisciplinární vědy.

### 1.1. Základní definice a terminologie

Vlastní kmenový základ tribologie vychází z řeckého tribos (tření), čímž jsou vyjádřeny zásluhy řeckých myslitelů, kteří položili základy moderním vědám.

Mezinárodní tribologická rada (International Tribology Council- ITC) zavedla následující definici „Tribologie je věda a technologie (teorie a praxe) zabývající se vzájemným působením povrchů při jejich relativním pohybu a s nimi souvisejícími subjekty a praktikami“.

Další známá definice (Dzimko, M: Základy tribotechniky, trenie, opotrebenia a mazanie. In: Tribotechnika, Žilina 1985, s. 20) „Tribologie je nauka o vědeckém výzkumu a technickém použití zákonitostí a poznatků pro vědní obory tření, opotřebení a mazání. Jedná se o vědu, která se zabývá určováním všech možných reálných přírodních a umělých tribotechnických systémů“.

Podle [1] „Tribotechnika je oblast techniky, která usiluje o technické a ekonomické ovládnutí procesů tření a opotřebení třecích uzlů vědecky zdůvodněnými opatřeními při jejich konstrukci, dimenzování, výrobě, provozu a údržbě. Nezastupitelnou součástí je především technika mazání a technika ochrany proti opotřebení“.

Podle [4] „Tribotechnika je věda o vzájemném působení při pohybu, obsahující veškeré komplexní otázky tření, opotřebení a mazání strojů.“

Jak je patrné, existuje celá řada definic, ale je možno jednoznačně říci, že vždy se setkáváme s následujícími základními pojmy a základním pohledem.

**TRIBOLOGIE** – věda zabývající se chováním dotýkajících se povrchů při pokusu o vzájemný pohyb.

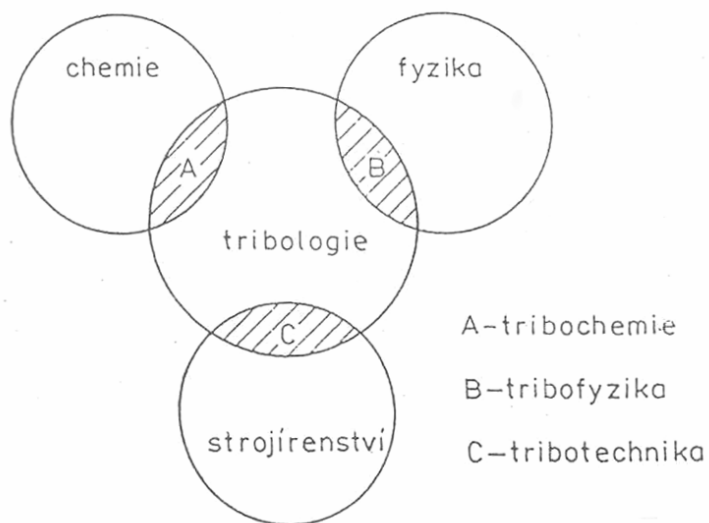
**TRIBOTECHNIKA** – vědní obor zabývající se aplikací tribologických zásad do konstrukce strojů a zařízení.

Vlastní souvislost tribologie se základními vědními obory, bývá nejčastěji vyjadřována známým obr. č. 1 a obsah obr. č. 2. Z obrázků je patrné, že následně mluvíme:

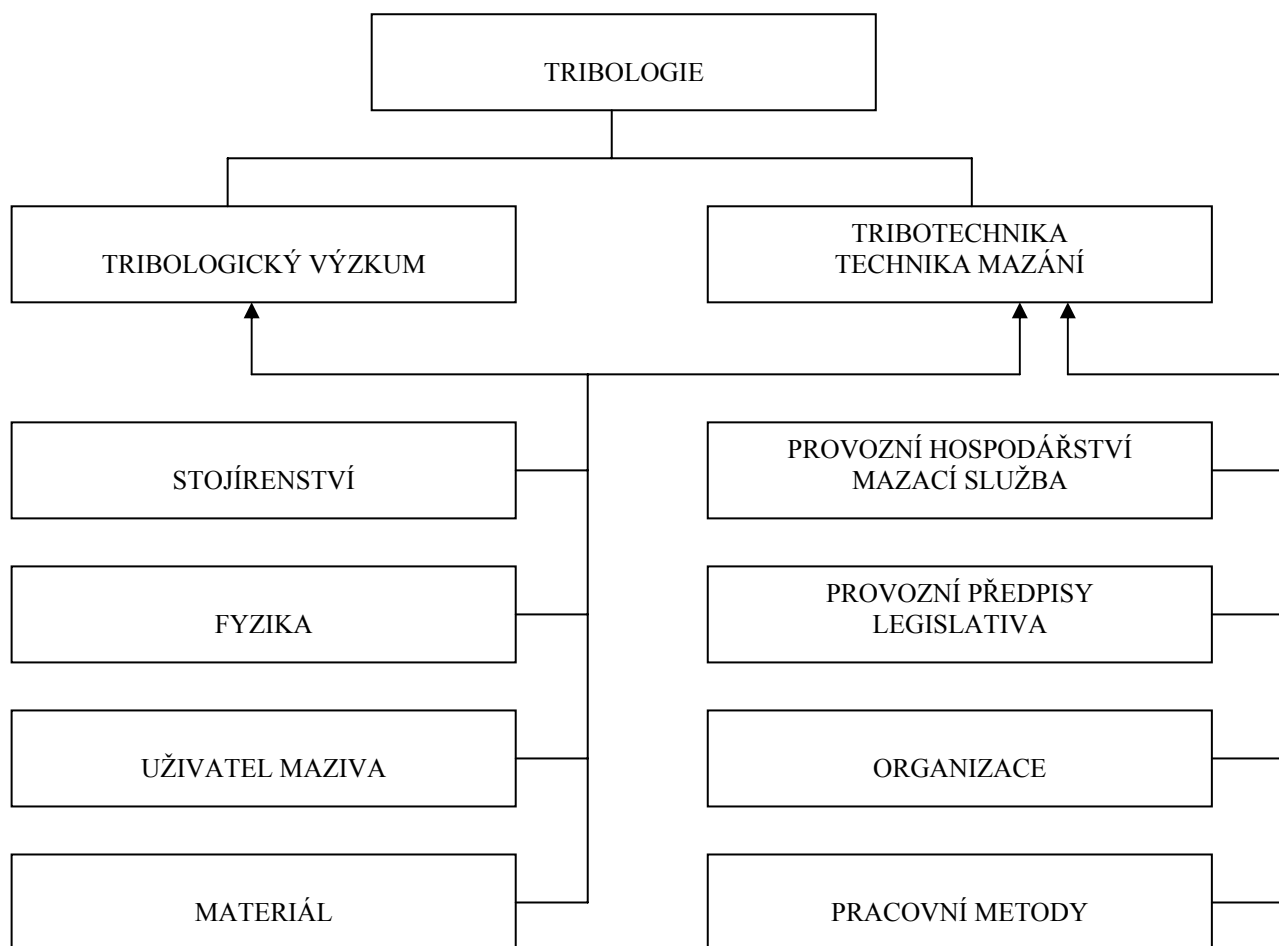
**TRIBOFYZIKA** – posuzuje fyzikální aspekty vzájemného působení kontaktujících se povrchů při jejich vzájemném pohybu.

**TRIBOCHEMIE** - popisuje chemické působení kontaktujících se povrchů s chemicky aktivním médiem.

**TRIBOMECHNIKA** - popisuje mechaniku vzájemného působení kontaktujících se povrchů při tření.



**OBR. 1** Souvislost tribologie se základními vědními obory



**OBR. 2** Obsah tribologie [5]

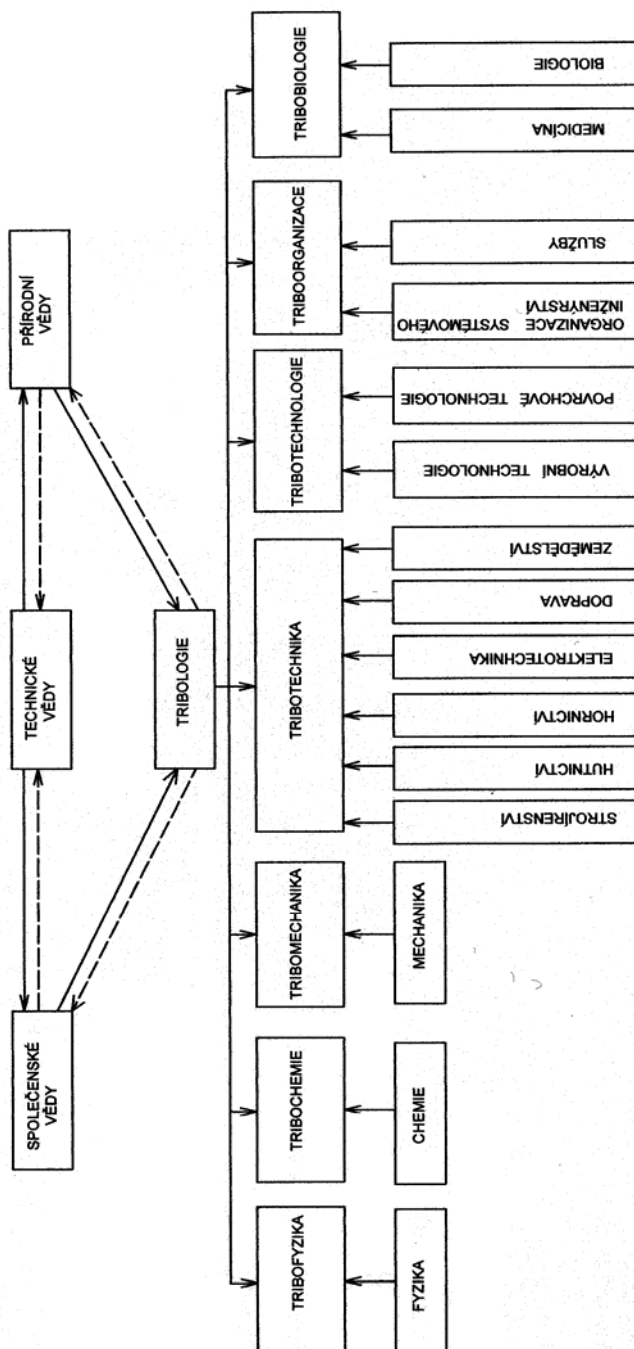
**TRIBOORGANIZACE** – použití a využití výsledků tribotechniky a tribologie pro organizaci a řízení produkční sféry výrobních společností apod.

**TRIBOTECHNOLOGIE** – řešení výrobních technologií z tribologického hlediska

**TRIBOBIOLOGIE** – biologické aspekty vzájemného působení přirozených tribologických systémů (např. klouby).

Uvedené určitě plně potvrzuje obr. č. 3 [1], který v podstatě shrnuje a rozvádí uvedené.

Relativně samostatnou kapitolou je **TRIBODIAGNOSTIKA** (kap.4), která využívá informací získaných z maziva k objektivnímu určení technického stavu sledovaného objektu.



**OBR. 3** Zařazení pojmu tribologie [1]



## 1.2. Historický vývoj

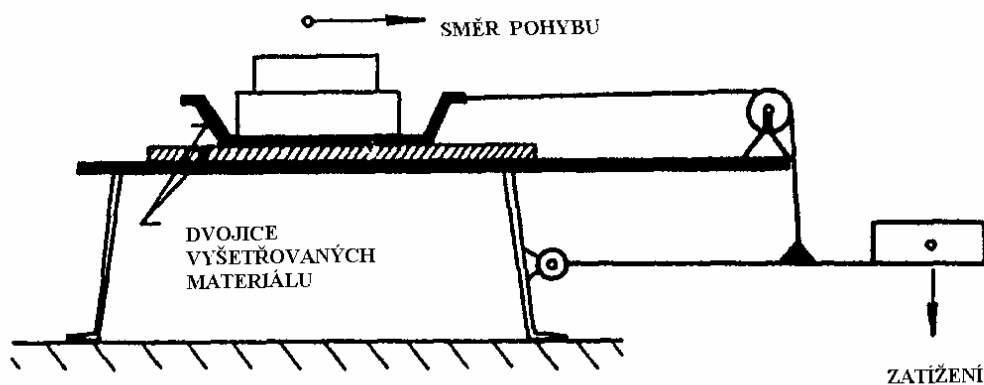
I když problémy související s třením, opotřebením a mazáním jsou stejně staré jako lidstvo samo, tak nelze uvést, že jsou již plně poznány. Je nutné si uvědomit, že prapůvod je vlastně už v pravěku, kdy se člověk naučil rozdělovat oheň třením, později v Mezopotámii vynalezne kolo a vlečení nahradí valením, že začal používat kapalinu ke snížení tření atd.

Z technického hlediska je nutná zmínka o Archymédesovi (asi 250let před n.l.) použil kovová mazaná ložiska, použití živočišného tuku se prý dokonce datuje 1400 let před n.l.. Různé teorie a pojmy související s třením jsou spojovány a datovány už např. do r. 1500 - Leonardo da Vinci (attrito) 1699 – Amontons (Frottement), 1710 – Leibnitz a Sturm (frictio), 1748 – Steinwehr (Reibung).

Už Leonardo da Vinci (1452 – 1519) dospěl k následujícím poznatkům:

- velikost třecí síly je úměrná kolmému zatížení a nezávisí na velikosti ploch třecích těles,
- součinitel tření je pro všechny kovy stejný a dosahuje hodnoty 0,25.

O 200 roků později francouz Amontons formuluje stejné poznatky, čímž zakládá geometricko – mechanickou teorii tření a v roce 1699 definuje první zákon tření  $\mu = F_T / F_N$ , který později přechází do literatury pod názvem Coulombův zákon (obr.4 ukazuje dobový náčrt tribometru)



**OBR. 4** Náčrt dobového Coulombova tribometru

V roce 1729 Dasagulier publikuje práci objasňující tření na podstatě molekulárních vazeb ( pokračovali Hardy, Tomlinson, Göttner, Prandte a další). Energetická analýza tření je prezentována pracemi – Kuzněcova, Daviesa, Trossa a dalších. První klasifikací druhů opotřebení vypracoval Brinell v r. 1921 (podle kinematických kritérií) a Burwell v roce 1957 podle druhu a mechanismu působení.

Do historie musíme zahrnout i pokusy Towera (1833) s radiálními ložisky, odvození tloušťky mazacího filmu Petrovem (1883), základy hydrodynamické teorie mazání Reynoldse (1884) práce Stribecka (1902), práce posledních 30-ti let na tzv. elastohydrodynamické teorii mazání (Grubin, Cheng, Hamrock aj.)

### **1.3. Technický, technologický a ekonomický význam**

Je odhadováno, že ztráty způsobené nesprávnou aplikací tribologických zásad jsou prý okolo 30% vyrobené energie, že 80-90% strojů je vyřazováno v důsledku škod z opotřebení tenkých povrchových vrstev, že podíl ložisek na ztrátách je 38 – 50% atd.

K základním příčinám pak patří:

- nevhodná volba třecích dvojic
- nevhodná metoda, respektive způsob mazání
- nevhodné mazivo
- nesprávné tribotechnické a konstrukční normy
- zanedbání vlivu okolí apod.

Pak je určitě zřejmé, že správné aplikace tribologických zásad musí v zásadě přinést:

- vyšší spolehlivost a životnost
  - vyšší využití a možnost vyššího nasazení technických provozních parametrů
- a to se naprosto oprostujeme od pozitivních vlivů, resp. přínosů, především v ekologické oblasti a dalších nejmenovaných oblastech.

## **2. TRIBOLOGIE**

I když by mělo být zřejmé, tak přesto uvádíme, tribologie jako věda má svůj cíl ve shromažďování, třídění, uplatňování a dalším rozvíjení znalostí o vlastnostech a chování třecích, tzn. tribologických uzlů.

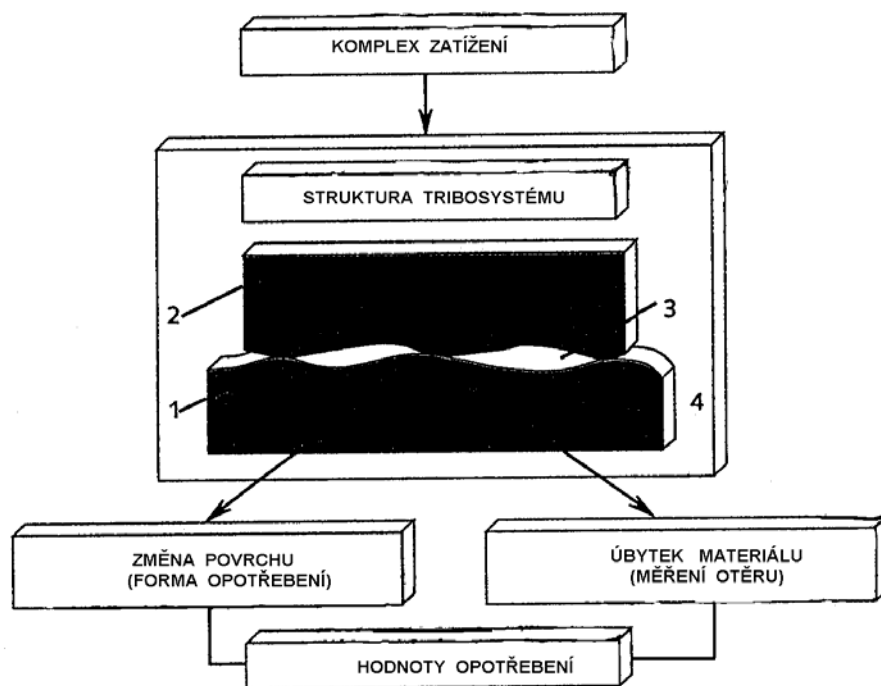
### **2.1. Všeobecné teorie**

Jak uvádí práce (Fleischer, G. – Gröger, H. – Thun, J.: Verschleiss und Zuverlässigkeit. Berlín 1980), tak existují dvě základní zájmové oblasti uplatnění tribologie :

- Přírozené tribologické systémy – klouby člověka a zvířat, pohybový aparát, kořeny rostlin apod.
- Umělé tribologické systémy – části technických systémů vytvořených člověkem

### 2.1.1. Tribologický systém

Je umělý nebo přirozený materiální systém základní úrovně, ve kterém probíhá tření jako proces v důsledku vzájemného působení minimálně dvou struktur systémových prvků. Tribologický systém představuje jeden třecí uzel, který ve své základní struktuře obsahuje čtyři prvky – obr. 5.



**OBR. 5** Tribologický systém podle DIN 51 320 [5]

1 – základní třecí těleso, 2 – třecí těleso, 3 – mezilátka, 4 - okolí

Základní třecí těleso (1), třecí těleso (2), mezilátka (3) jsou aktivní prvky, které působí přímo na funkci systému a okolí (4) je pasivní prvek, který se zúčastňuje nepřímě na transformační funkci. Jestliže jeden z aktivních prvků chybí, mluvíme o redukovaném tribologickém systému – tab.č.1.

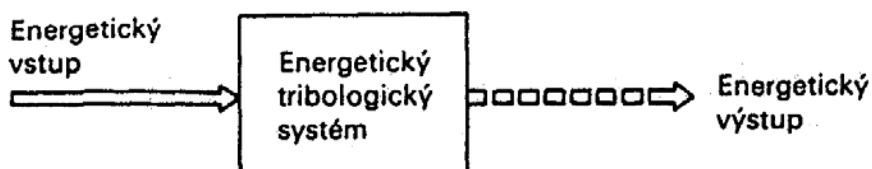
**TABULKA Č. 1**

#### REDUKOVANÝ TRIBOLOGICKÝ SYSTÉM

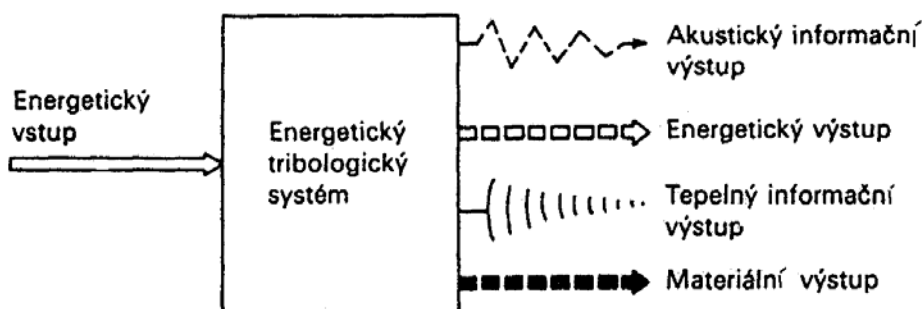
Systém	Těleso-těleso	Těleso-kapalina	Těleso- plyn	Těleso-sypký substrát
Reálný systém	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Třecí spojka</li> <li>• Pneumatika-vozovka</li> <li>• Kontakty el. spínačů</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lod'</li> <li>• Potrubí</li> <li>• Ponorka (zvláštní)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plynovod</li> <li>• Hořák</li> <li>• Letadlo (zvláštní)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pluh při orbě</li> <li>• Pracovní nástroj zemních strojů</li> <li>• Ložná plocha vagónu</li> </ul>

Ve zvláštních případech okolí (4) splývá s jedním aktivním prvkem (1,2,3) – viz. tab.č.1 letadlo – vzduch, ponorka – voda.

Pro každý tribologický systém je zásadní nezvratnost změny mechanické energie na energii tepelnou, což je důkazem, že tribologický systém je ve své podstatě energetickým systémem (obr .6), resp. energetickým systémem s různými výstupy (obr.7.).



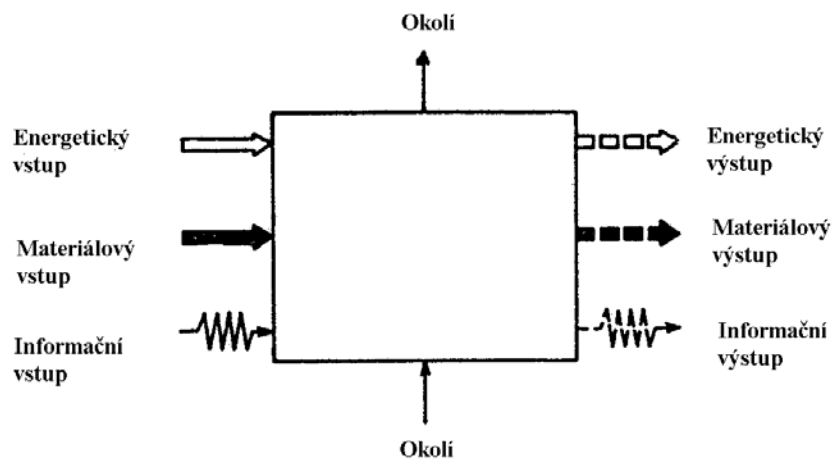
**OBR. 6** Čistý energetický systém



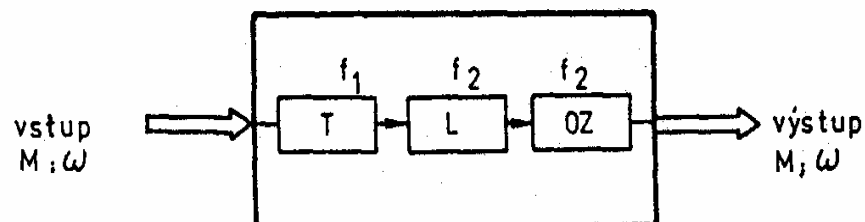
**OBR. 7** Energetický systém s různými výstupy

Vlastní funkce reálného tribologického systému se zkoumá a vyšetřuje na tribologickém modelu, tj. takovém modelu, který vykazuje z tribologického hlediska podobnost s reálným nebo ideálním třecím uzlem a tím nám umožní jeho popsání, tzn. mluvíme o modelování a jsme v kap. 2.5. Tribometrie.

Tribotechnický systém je pak systém vyšší úrovně, který sestává z více (minimálně dvou) tribologických systémů a svoji strukturou je schopný realizovat zadanou technickou funkci – obr. 8. a obr. 9.



**OBR. 8** Základní schéma tribotechnického systému

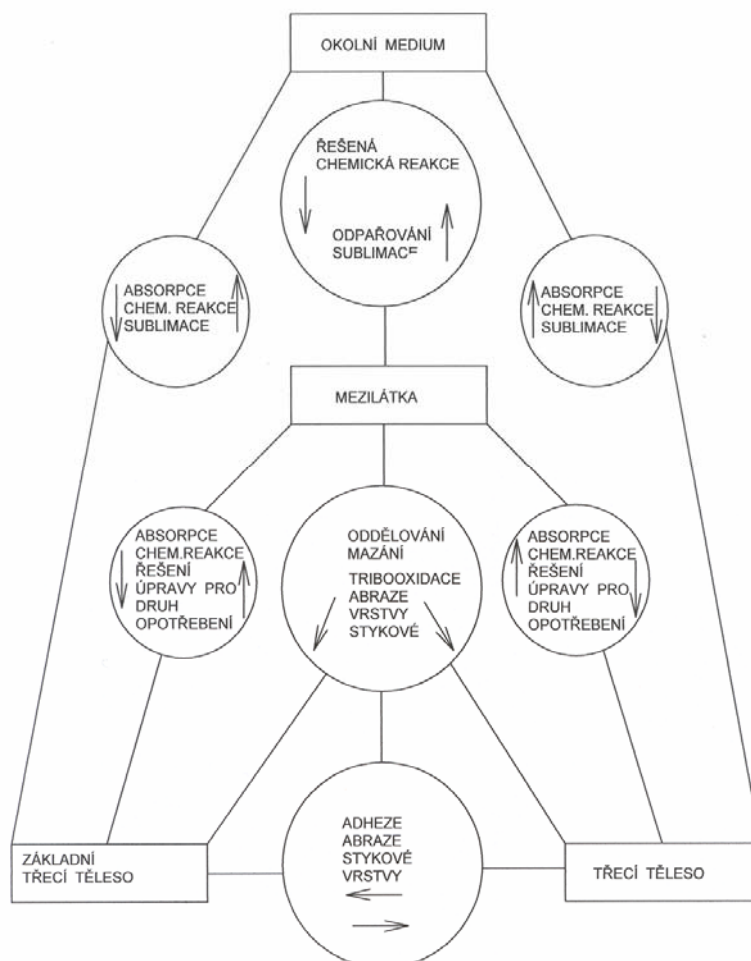


**OBR. 9** Tribotechnický systém – jednostupňová převodovka  
 $\omega$  - úhlová rychlost, M - kroučící moment, T - těsnění, L – ložiska,  
 OZ - záběr ozubení,  $f_1, f_2, f_3$  - technické funkce

Uvedené nám určitě pomůžou plně doobjasnit příklady prvků tribologického systému (obr.10), vzájemné působení prvků tribosystému (obr.11), vzájemné působení prvků tribosystému převzaté z práce – Habig.K.H.:Grundlagen der Verschleisses von Werkstoffen und Richtlinien zur Bearbeitung von Verschleissfällen, Expert Verlag Grafenau 1982, s. 15-32.

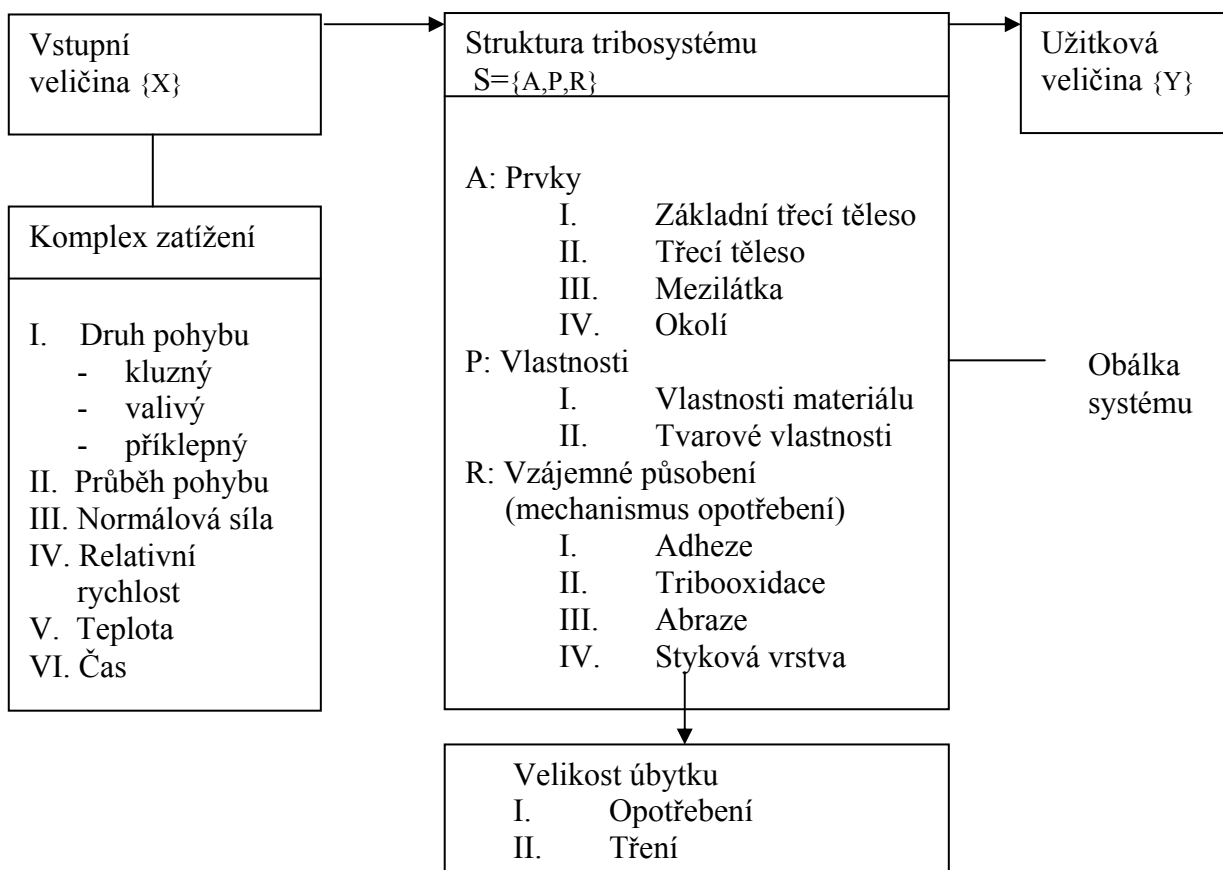
Tribosystém	Základní třecí těleso	Třecí těleso	Mezilátka	Okolí
Kluzné ložisko	Ložisková pánev	Hřídel	Mazací látka	Vzduch
Převodovka	Ozubené kolo	Ozubené kolo	Převodový olej	Vzduch
Lícování	Čep	Pouzdro	-	Vzduch
Lodní pohon	Lodní šroub	Voda	-	-
Kotoučová brzda	Brzdová zdrž	Brzdový kotouč	-	Vzduch
Čelistový drtič	Čelisti drtiče	Drcený materiál	-	Vzduch
Hydrodoprava	Trubka	Voda	Dopravovaný materiál	-

**OBR. 10** Příklady prvků různých tribologických systémů



**OBR. 11** Vzájemné působení prvků tribologického systému

## FUNKCE TRIBOSYSTÉMU $\{X\} \rightarrow \{Y\}$



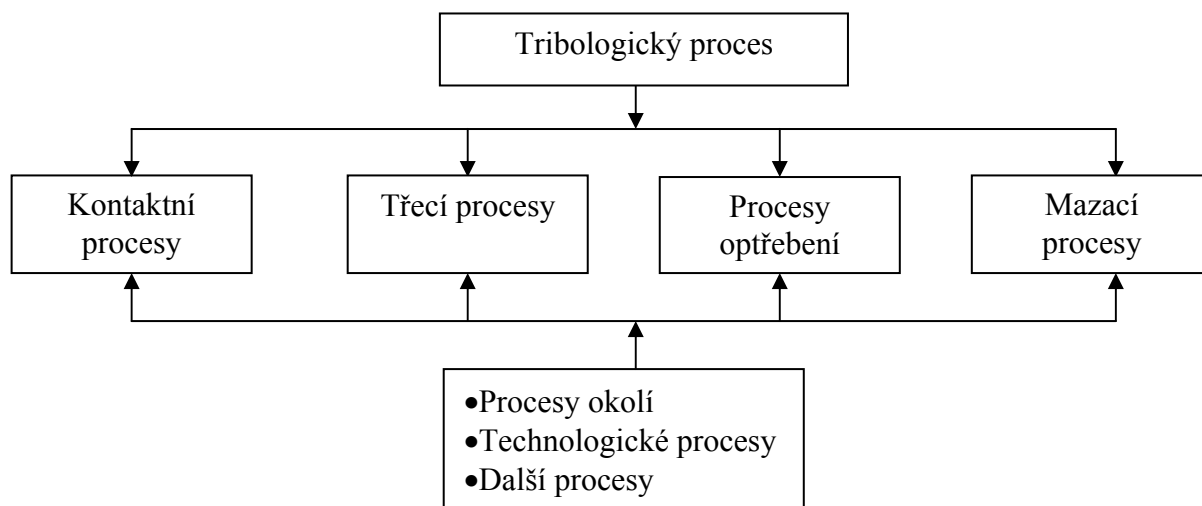
**OBR. 12** Analýza tribologického systému

### 2.1.2. Tribologické procesy

Vlastní tribologický proces je charakterizován interakcí třecích těles, mezilátky a okolí, které probíhá v prostoru a čase. Jednotlivé vazby a zařazení najdeme na obr. 13, z čehož by mělo být patrné, že řešíme následující základní otázky:

- jaké jsou mechanismy přeměny užitečných veličin a jaké jsou skutečné fyzikální procesy přeměny energie (práce),
- jaké jsou procesy vedoucí ke ztrátám (energetické ztráty třením, materiálové ztráty, vznik a mechanismus opotřebení),
- jaké jsou možnosti pozitivního působení na mechanismus vzniku ztrát a jejich minimalizace.

Vlastní odpověď jak po stránce kvantitativní, tak kvalitativního popisu musí rozlišovat – analýzu vstupních veličin, analýzu interakce prvků systému a analýzu výstupních veličin.



**OBR. 13** Zařazení tribologických procesů do vzájemných vazeb

## 2.2 Kontaktní procesy

Kontakt (dotyk) mezi aktivními členy tribologického systému je jevem primárním k plnění požadované funkce. Vzhledem ke značné variabilnosti musíme zvážit:

- počet těles,
- fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti těles,
- charakteristický, převládající druh deformace,
- velikost normálových a tangenciálních napětí,
- druh a rychlost vzájemného pohybu,

což je vlastně obsahem teorie pružnosti, takže bez dalšího výkladu uvádíme, že rozeznáváme:

- pružný (elastický) kontakt
- plastický kontakt

V místě kontaktu se mění mechanické energie přiváděné do systému, tzn. dochází ke vzniku ztrát, které způsobují různé deformační vlastnosti dotýkajících se těles, vznik tangenciálního napětí, lokální skluzu, hystereze apod.

## 2.3. Tření

Tření je přírodním jevem, který má charakter procesu a je vázáno na vzájemný relativní pohyb dvou dotýkajících se prvků tribologického systému.

Nejznámější definice uvádí „Tření je odpor proti relativnímu pohybu vznikající mezi dvěma k sobě přitlačovanými tělesy v oblasti dotyku jejich povrchů v tangenciálním směru.“

Tato definice vystihuje podstatu tzv. vnějšího tření, ale nepostihuje podstatu vnitřního tření.

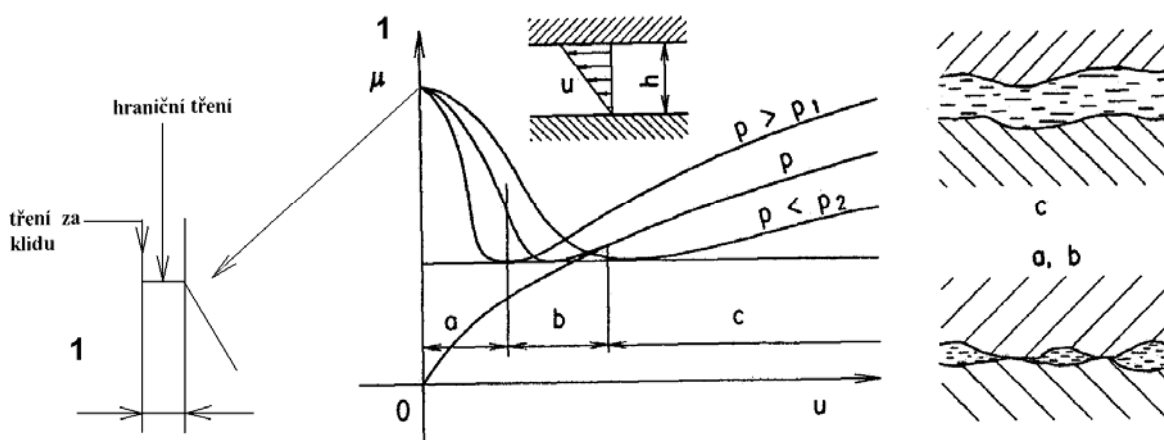
- **Vnější tření** – je charakterizováno stykem dvou třecích ploch
- **Vnitřní tření** – probíhá v materiálových vrstvách téhož třecího tělesa.



Takže se lze setkat i s definicí „Tření je ztráta mechanické energie v průběhu, na začátku nebo ukončení relativního pohybu navzájem se dotýkajících materiálových oblastí.“

**Podle stavu (skupenství) je známé následující rozdělení:**

- **Tření pevných těles** – tzn. dotykové materiály jsou v pevném skupenství . Příčina tření pevných těles vyplývá z interakce povrchů (vzájemně se dotýkajících a majících charakteristické vlastnosti adhezních vrstev vytvářených záměrně nebo přirozeně na základním materiálu při mechanickém a molekulárním působení tzn.:
  - vzájemné zachytávání se mikronerovností (drsnosti)
  - pružné deformace mikronerovnosti
  - plastické deformace mikronerovnosti
  - adhezi mezi mikronerovnostmi povrchů.
  
- **Kapalinové tření** - vrstva materiálu v níž probíhá tření má vlastnosti kapaliny. Smykové napětí vznikající při relativním pohybu je odvislé od viskozity mezilátky a představuje odpor proti pohybu. Mluvíme o existenci hydrodynamické nebo hydrostatické vrstvy, ve které vlastně probíhá třecí proces vyjadřovaný velikostí součinitele tření. Jeho průběh charakterizuje tzv. Stribeckova křivka (obr.14), která má odlišné průběhy pro různé tlaky a různou viskozitu (viz. kap. .2.5.).



**OBR. 14** Charakteristický průběh Stribeckovy křivky ( $p$ ) a změny ( $p_1$ ), ( $p_2$ ) pro tlaky  $p_1 < p < p_2$  ; a - oblast tření pevných látek (suché tření), b - oblast smíšeného tření, c - oblast kapalinového tření (hydrodynamické)

**Oblast tření pevných látek** (suché tření) - v adhezních vrstvách pevného skupenství (předchozí text).

**Oblast smíšeného tření** – nerovnosti povrchu (drsnost) se místy (v bodech) navzájem dotýkají (tzn. tření pevných látek) a místy jsou oddělena vrstvou mazací látky (mezilátky) tzn. v tomto případě kapalinové tření.

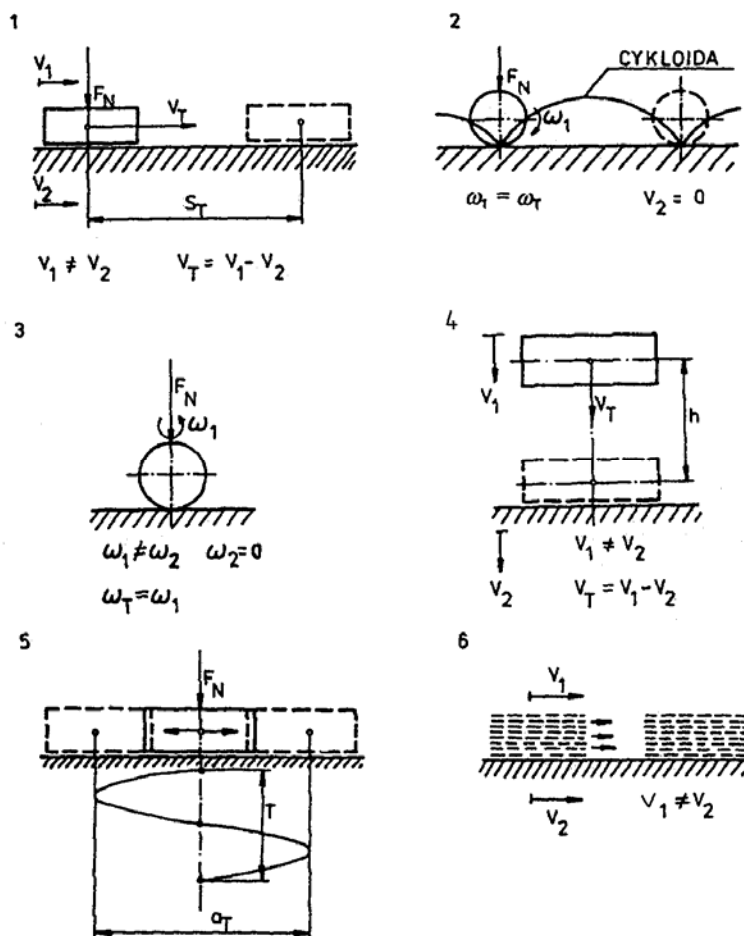
**Oblast kapalinového tření** – celý třecí proces probíhá ve vrstvě mezilátky (kapaliny).

**Mezní tření** - limitní případ smíšeného , resp. kapalinového tření.

- **Tření za klidu** (hraniční tření) – je nazýváno tření v bodě 1 na obr. 14, tzn s největším součinitelem tření.
- **Plynové tření** - je obdobou kapalinového tření, s tím že vrstva mezilátky má vlastnosti plynu, tzn. tento stav se popisuje zákonitostmi platnými pro kapalinové tření. Mluvíme o aerodynamické nebo aerostatické tlakové oblasti.
- **Plazmové tření** – vrstva v níž probíhá třecí proces má vlastnosti plamy, tzn. druh vysoko ionizovaného plynu. Jsou sice známé tribofluidní a triboplazmatické stavy vnitřního tření, ale je možno říci, že tento druh tření není doposud kvantifikován.

**Další známé rozdělení tření je z hlediska pohybu:**

- **Pohybové** (kinetické)
  - **Klidové** (statické nebo adhezní)
  - **Nárazové** (vibrační),
- což z pohledu relativního pohybu dvou těles při působení normálové zatěžující síly k uvažované základně je na obr. 15, i když pro reálné strojní tribotechnické systémy je uvažováno většinou pouze s kluzným a valivým třením, nebo jejich kombinací, případně (podle Fleischera) lze přidat ještě rotační tření.



**OBR. 15** Druhy relativních pohybů třecích prvků  
 1- kluzný pohyb, 2 - valivý pohyb, 3 - rotační pohyb, 4- nárazový pohyb, 5 - oscilační pohyb, 6 – tečení

Pro doplnění již uvedeného uvádíme v tab. č.2 velikosti součinitele tření pro různé třecí stavy.

## TABULKA Č. 2

### VELIKOST SOUČINITELE TŘENÍ

TŘECÍ STAV	MEZILÁTKA	KOEFICIENT TŘENÍ
Tření pevných těles	-	0,01-0,25
Smíšené tření	Částečně 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

### SOUČINITELE SMYKOVÉHO TŘENÍ PRO DANÉ KOMBINACE TŘECÍCH DVOJIC

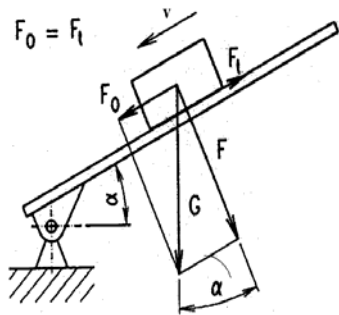
Materiály stykových ploch	Za klidu	Za pohybu
	$\mu_0$	$\mu$
ocel/ocel – suché	0,15	0,1
ocel/bronz – suché	0,18	0,16
ocel/bronz – dobře mazáno	0,1	0,01
ocel/led	0,027	0,014
guma / asfalt - sucho	0,85	0,3
guma / asfalt – mokro	0,2-0,5	0,15
guma / dlažba (malé kostky, sucho)	0,7	
guma / dlažba (velké kostky, sucho)	0,6	
guma / beton – suché	0,7-0,8	
guma / náledí	0,1-0,2	
brzd. buben (litina)/ oblož. ferodo		0,25-0,35
řemenice (ocel)/ řemen (kůže, pryž)		0,2-0,9
spojka lamela / oblož. textil / olej		0,1

#### Z funkčního hlediska v technice rozeznáváme :

- **tření jev potřebný** – plní technickou funkci v daném zařízení – brzdy, třecí spojky, kolo – kolejnice, pneumatika – vozovka apod.
- **tření jev nepotřebný** – snižuje účinnost technického zařízení – ozubené převody, ložiska, válec – píst apod., ale vždy musí platit, dosáhnout požadovanou úroveň tření při minimálním opotřebením.

#### Z pohledu kvantifikace (číselného vyjádření) rozeznáváme tyto formy :

- **třecí síla** – vyskytuje se v oblasti dotyku při běžném translačním pohybu (obr. 16)
- **třecí moment** – vyskytuje se v oblasti dotýkajících se těles při valení (obr. 17)



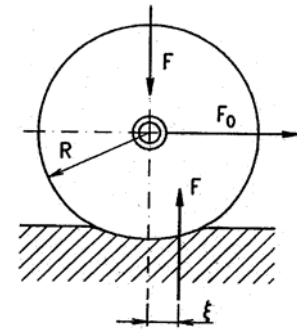
$$v = \text{konst.}$$

$$F_t = G \cdot \sin \alpha = F \cdot \text{tg } \varphi$$

$$F = G \cdot \cos \alpha$$

$$\text{tg } \alpha = \text{tg } \varphi = \mu$$

$$\alpha = \varphi$$



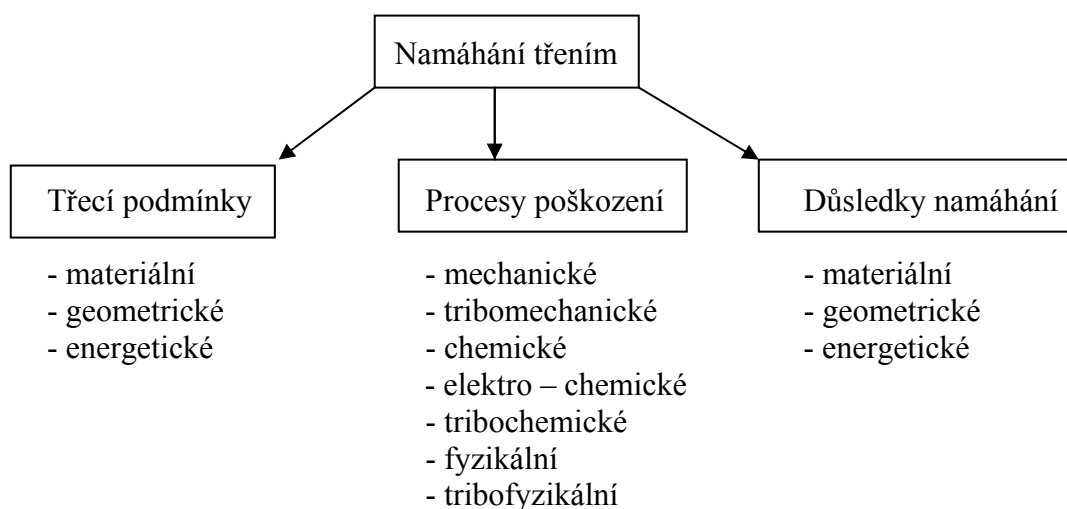
**OBR. 16** Třecí síla  $F_T = \mu \cdot F$

**OBR.17** Třecí moment  $M_T = F \cdot \xi$

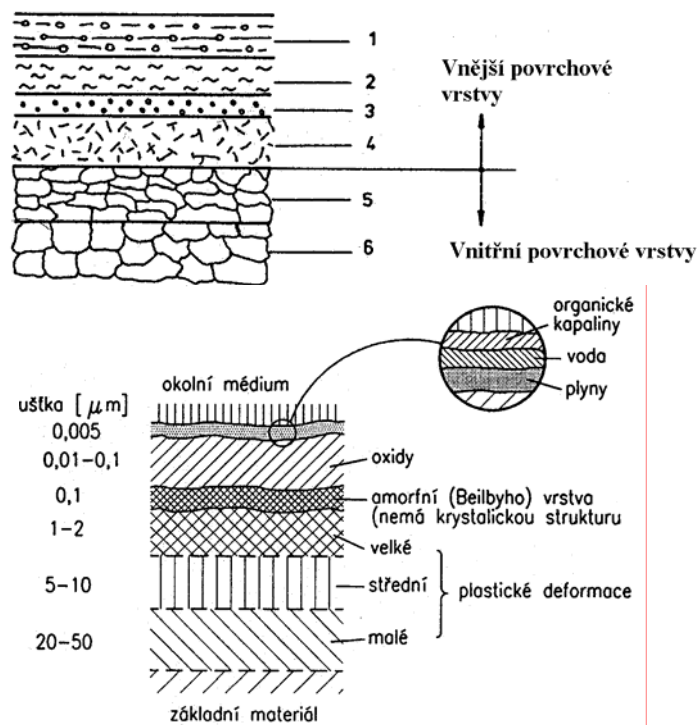
Vlastní kvantitativní vyjádření tření je nejčastěji hodnotou součinitele tření ( $\mu$ ,  $\xi$ ). Mělo by být zřejmé že tribologické procesy tření a další probíhají ve vrstvách, které vlastně vytváří povrch dotýkajících se těles, který musí mít k plnění požadované geometrické, fyzikální, chemické a další vlastnosti.

Mluvíme-li o geometrických vlastnostech, mluvíme vlastně o drsnosti povrchu, resp. geometrii povrchu a jsme ve vyjádření drsnosti povrchu známými hodnotami max. výška nerovností ( $R_m$ ), výškou nerovnosti profilu ( $R_z$ ), střední aritmetickou odchylkou ( $R_e$ ) atd., tedy co známe z předmětu základy strojnictví. Při vlastním analytickém určení veličin kontaktní geometrie využíváme znalostí z nauky o materiálu a modelování tvaru povrchu stochastickými veličinami, nebo metodami matematické statistiky a pravděpodobnosti. Účelem těchto skript není detailní popsání, takže poukážeme na běžně dostupnou lit. [1], [24].

Účinky namáhání třením je možno shrnout, tak jak je uvedeno na obr. 18 a určitě bude zřejmé, oprostíme-li se od procesů probíhajících v mazací vrstvě, tak procesy tření a opotřebení probíhají v povrchových a podpovrchových vrstvách, přičemž označení je na obr. 19.



**OBR. 18** Rozdělení účinků namáhání třením



**OBR. 19** Schematické znázornění složení povrchových a podpovrchových vrstev  
 1 – vrstva maziva, 2 – vrstva vysrážených vodních par, 3 – vrstva absorbovaných plynů, 4 – vrstva oxidů, 5 – vrstva vzniklá opracováním, 6 – původní základní materiál

Při samotném procesu tření vznikají tlaky, které dosahují  $1/10 \div 2/10$  teoretické pevnosti materiálu a nezávisí na velikosti zatížení. Současné působení tlaku a teploty podstatně mění vlastnosti povrchových vrstev, které Kragelský dělí do třech skupin :

- změny v geometrii povrchu pevných těles – drsnost povrchu, výška mikronerovností, zvlnění povrchu apod.
- změny struktury pevných těles – vznik karbidů, difuze prvků, rekrytalizace apod.
- změny v reakčních vrstvách vznikajících na povrchu třecích těles – fyzikální a chemická absorpce z okolí.

### 2.3.1. Kluzné tření

Kluzné tření se vyhodnocuje pomocí součinitele tření jako bezrozměrné veličiny, což je poměr třecí tangenciální síly k normálové zatěžovací síle :

$$\mu = \frac{F_T}{F_N}$$

a při energetickém přístupu jako poměr energie potřebné na vyrovnání třecích ztrát k celkové energii přivedené do systému :

K vlastnímu teoretickému řešení podle následně uvedených teorií a autorů je možno blížeji nalézt v [1]

### □ Adhezní teorie tření

Autorství této teorie patří Bowdenovi a Taborovi. Přenos síly podle této teorie zabezpečuje adhezní spojení, které vznikne aktivizovanými molekulárními účinky a vlivem extrémně vysokých lokálních reálných tlaků na vrcholcích kontaktujících se mikronerovností. Součinitel tření zde určuje poměr smykové pevnosti vytvářených mikrosvarů a průměrného tlaku způsobujícího plastickou deformaci materiálu.

### □ Molekulárně mechanické teorie tření

Autorem je Kragelský a platí jako předchozí teorie pro vnější tření pevných těles za následujících předpokladů :

- dotyk dvou těles je diskrétní - dotyk drsnosti povrchu se realizuje v malých dotykových oblastech
- použití Hertzovy teorie kontaktu
- síly se přenáší vznikajícími a zanikajícími třecími spojeními (adhezní můstky) – singulární body
- při opotřebení platí jednotné fyzikální mechanismy
- proces je stacionární s lineárním rozložením sil

Potom je zde definován celkový součinitel tření jako součet adhezních a deformačních součinitelů.

### □ Energetické teorie tření

Autorem této teorie je Fleischer, který jako základ bere dvojitou podstatu tření, tzn. tření sestává z mechanické a molekulární složky tření.

Energie má tedy dvě složky :

- deformační složku
- adhezní složku, která se vyhodnocuje postupem uvedeným v [1] s cílem určit celkovou vynaloženou třecí energii.

## 2.3.2. Valivé tření

Vzniká při valení (rotující pohyb) třecího tělesa po rovině nebo jiném všeobecně zakřiveném tělese se současným posunem rovnoběžně s rovinou nebo ve směru zakřivení. Třecí síla při valivém tření je výrazně nižší než při tření kluzném a představuje 1/10 ÷ 1/20 hodnoty. I zde rozeznáváme adhezní a deformační složku.

Působením adhezní síly vznikají adhezní spojení (můstky), které sice nijak výrazně neovlivňují velikost třecí síly, ale rozhodují o opotřebení. Deformační složka tření je dána mikroskopickými prokluzy, pružnou deformační hysterezí, plastickou deformací atd.

Příčina valivého tření je v mikroskopických prokluzech ve směru nebo proti směru odvalování, takže odpor proti valení vlastně způsobuje plastická a pružná deformace materiálu tělesa pod valícím tělesem.

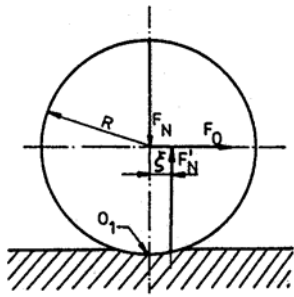
Podle Bowdena a Tabora pro odpor proti valení platí vztah :

$$F_T = F_{T1} + F_{T2} + F_{T3}$$

kde  $F_{T1}$  – ztráty pružnou hysterezi při odvalování  
 $F_{T2}$  – prokluzu v důsledku valení  
 $F_{T3}$  – vnitřní tření v mazací látce

Součinitel valivého tření za předpokladu ideálně tuhého válce, nepohyblivé tuhé roviny, valení bez prokluzu, přímkovém kontaktu – obr. 20, se vypočte z momentové rovnováhy k bodu  $O_1$

$$F_O \cdot R = F'_N \cdot \xi$$



Vlivem hystereze materiálu je dotykové napětí v přední části dotykové plochy větší jak v odlehčené části, tzn. výslednice dotykových napětí se posouvá oproti kolmé ose o vzdálenost  $\xi$ , což je součinitel valivého tření, a na rozdíl od klzného má rozměr délky. Tzv. Kragelského bezrozměrný součinitel valivého odporu  $f$  má tvar :

**OBR. 20** Válení válce na rovině

$$f = \frac{M\Delta\varphi}{F_N \cdot R \cdot \Delta\varphi} = \frac{\xi}{R}$$

## 2.4. Opotřebení

Opotřebení je projevem tribologického procesu probíhajícího v tribologickém systému a znamená trvalý úbytek materiálu z povrchů při jejich vzájemném pohybu nebo při pohybu média. V místě styku tedy dochází k procesům, které byly stručně popsány v předchozím textu.

Pro určení a definování opotřebení je nutno vycházet už z definovaných třecích stavů, tzn. schematické znázornění faktorů majících vliv na proces tření a opotřebení pevných těles je na obr. 21, který je svým způsobem modifikací obr. 8 a obr. 12



**OBR. 21** Schématické znázornění obecných faktorů vlivu na proces tření a opotřebení pevných těles

Makroskopické chápání opotřebení je dáno globálním pozorováním, tzn. integrované zachycení veškerých změn v materiálových a tvarových dvojicích, což souhrnně nazýváme opotřebení. Mikroskopická chápání opotřebení potom vychází ze sledování a pozorování základních procesů, tzn. lokálně plastických deformací, dislokací, struktury apod. tzn. zkoumání elementárních procesů.

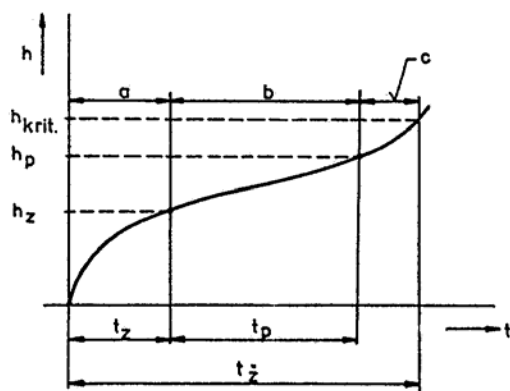
Projev opotřebení je tedy potom dán :

- Formou změn velikosti a tvaru povrchových materiálových oblastí pevných těles (deformace, zpevnění, měknutí, oddělování, tavení, sublimace, ionizace, spájení, přenášení, nanášení apod.)
- Formou materiálových změn povrchových materiálových oblastí pevných těles (absorbce, difuze, legování, trioxidace, tribokoroze apod.).

Vlastní definice je pak dána následně „Opotřebení je v důsledku tření dáno stálou změnou tvaru, změnou velikosti nebo změnou vlastností vrstev materiálů tvořících povrch pevných těles, které vznikla mimo technologicky požadované tvarování nebo mimo požadovanou změnu vlastností materiálu“, i když častěji se setkáme s následující podobou „Opotřebení je nežádoucí změna povrchů nebo rozměrů pevných těles způsobená buď vzájemným působením funkčních povrchů nebo funkčního povrchu a media, které opotřebení vyvolá při jejich vzájemném relativním pohybu“.

#### 2.4.1. Mechanizmy a druhy opotřebení

Vlastní opotřebení má určitý časový průběh – obr. 22, z kterého je patrné, že rychlost opotřebení je různá pro fáze technického života daného objektu.



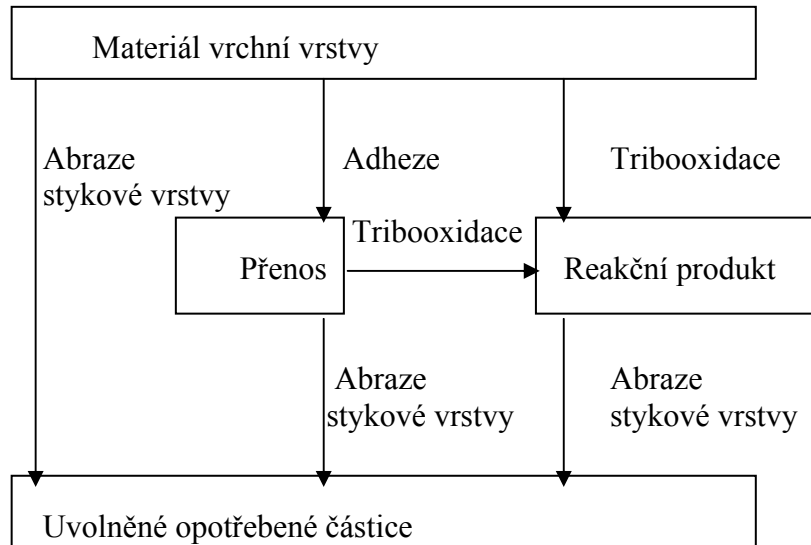
**OBR. 22** Časový průběh opotřebení

a – záběh, b – provozní nasazení, c – doběh (havárie),

h – hodnota opotřebení,  $h_{krit}$  – kritická hodnota opotřebení,  $h_z$  – záběhová hodnota opotřebení

Habik, K.H. ve své práci Grundlagen des Verschleißes unter besonderer Berücksichtigung der Verschleißmechanismen (Reibung und Verschleiß von Werkstoffen, Bauteilen und Konstruktion, Expert Verlag, Grafenau 1982, s. 53 – 74) uvádí, že mechanismus opotřebení na strojních elementech probíhá, tak jak je uvedeno na obr. 23.

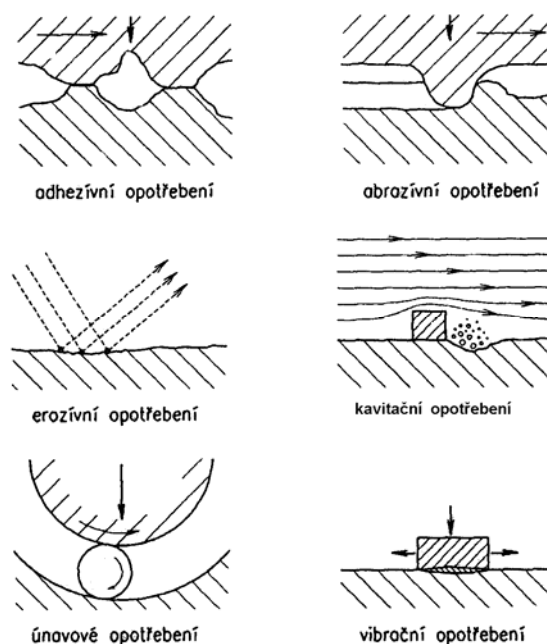




**OBR. 23** Superpozice mechanismu opotřebení

Vynecháme-li rozdělení opotřebení podle hledisek jako u tření (pohybové, kinetické atd.), tak existuje rozdělení na následující základní druhy opotřebení – obr. 24.

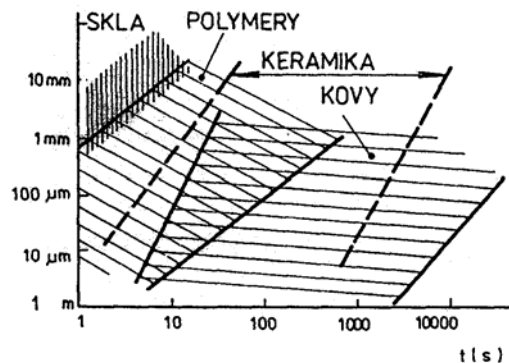
□ **Adhezivní opotřebení** – při relativním pohybu funkčních povrchů dochází k jejich dotyku, k porušení povrchových vrstev, k čistému kovovému styku a vzniku mikrosvářů s následným jejich porušováním, což vede k přenosu materiálu z jednoho povrchu na druhý, k uvolňování a vytrhávání částic materiálu. Tento proces ovlivňuje přítomnost maziva mezi funkčními povrchy. Intenzivní forma adhezivních účinků je nazývána zadírání. Typickým projevem poškození je jemný adhezivní oděr.



**OBR. 24** Základní druhy opotřebení

□ **Abrazivní opotřebení** – je způsobeno rozrýváním a řezáním měkkého povrchu jednoho tělesa drsným a tvrdším povrchem druhého tělesa. Tentýž účinek nastává působením volných částic ať už oddělených z povrchů nebo vniknutých z okolí (nečistoty). Typickým poškozením jsou rýhy.

□ **Erozivní opotřebení** – povrch je poškozován pevnými částicemi nesenými proudem kapaliny nebo plynů. Porušení materiálu je nerovnoměrné, často výrazně zvlněné tzn. ovlivněné charakterem částic a rychlostí pohybu. Určitě zajímavý pohled je na obr. 25, který vyjadřuje odolnost různých materiálů proti dešťovým kapkám.



**OBR. 25** Poměrná odolnost proti erozi dešťovými kapkami [1]

- **Korozivní opotřebení** – výskyt při práci třecí dvojice v aktivním prostředí při vniknutí kyslíku z okolí, při stárnutí maziva (voda, kyselina apod.)
- **Únavové opotřebení** – při opakujícím časově proměnném namáhání povrchové vrstvy se iniciuje tvorba zárodků povrchových a podpovrchových trhlin, které se šíří, spojují až začnou uvolňovat částice materiálu z povrchu – vznik důlků, proto také někdy označení dolíčkovité opotřebení.
- **Kavitační opotřebení** – oddělování částic a poškození povrchu v oblasti zanikání kavitačních bublin v kapalině. Zánik bublin způsobuje hydrodynamické rázy, tzn. namáhání povrchem součásti a tím spojené vytrhávání částic z povrchu.
- **Vibrační opotřebení** – tribologická dvojice má vibrační nebo vratný pohyb s velmi malou amplitudou kmitání. Vlastní opotřebení svým způsobem probíhá dvoustupňovitě :
  - tření při kterém je porušována adhezní povrchová vrstva
  - produkty adhezivního opotřebení oxidují a působí abrazivně

V praxi se samozřejmě setkáváme s kombinacemi opotřebení, nebo postupnou kombinací.

Obecně tedy existují dva základní druhy opotřebení – mechanické a chemické a k základním procesům porušení třecích povrchů patří :

- mikrořezání – tvrdými abrazivními částicemi
- plastické vytěsňování – vtlačování objemu do stran pod sebe, před sebou, tzn. vznik stopy resp. rýhy (carapina)

- delaminace – materiál je při plastické deformaci vytěšňován do stran až do vyčerpání své plastické schopnosti (oddělení od povrchu v šupinkovém tvaru)
- vytrhávání – způsobené vysokým zbytkovým napětím v povrchové vrstvě
- hloubkové porušení – výrazné vytrhávání vzniklé lokálním spojením (svarové spoje).

Takže nyní už je možno závěrem této kapitoly rozvinout obecné faktory vlivu na opotřebení (obr. 21) do podoby, jak je charakterizoval ve své práci Kragelský (Kragelskij, I.V. – Alisina, V.V. : Trenije, iznašivanije i smazka. Spravočnik, Kniga 1, Moskva Mašinstrojenje 1978, 94 s.) :

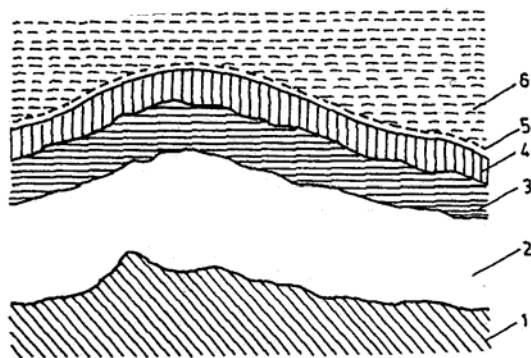
- normálové (specifické) zatížení pro malou plochu kontaktu bez respektování vlnitosti povrchu
- modul pružnosti v tahu (E) neboť pro materiál se stejnou pevností se zvyšováním modulu pružnosti zvyšuje intenzita opotřebení
- pevnostní charakteristiky materiálu ( $\sigma_0$ ,  $t_y$ ), jejich zvyšování snižuje opotřebení
- třecí vlastnosti dvojice (koeficient tření -  $\mu$ ) – intenzita opotřebení je závislá na koeficientu tření
- drsnost a zvlnění povrchu
- molekulární působení při kontaktu, čím menší odpor ve smyku, tím je menší intenzita opotřebení → nutnost přísunu maziva do třecího kontaktu
- teplota – ohřev určuje mechanické vlastnosti,

takže otázka volby materiálu tribologického uzlu je zásadní, rozhodující pro spolehlivost uzlu a tím celého zařízení a ekonomiku jako takovou.

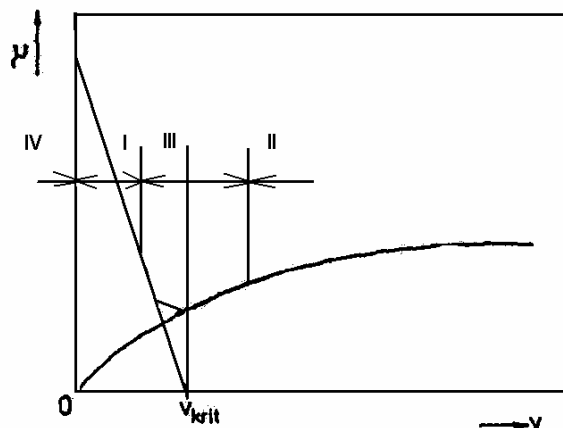
## 2.5. Maziva

I když je už určitě zřejmé tak musíme v úvodu této kapitoly uvést „Úlohou maziv je zabránit bezprostřednímu styku povrchů ve vzájemném pohybu a tak zmenšit tření mezi nimi a také zmenšit opotřebení, a za tímto účelem je mazivo záměrně vpravováno mezi funkční plochy, tribologického systému (tribologického uzlu)“, takže můžeme navázat na obr. 19 obrázkem č. 26, který nám k jednotlivými vrstvami přiřazuje ke zvýšení obraznosti čísla, resp. tl. vrstev.

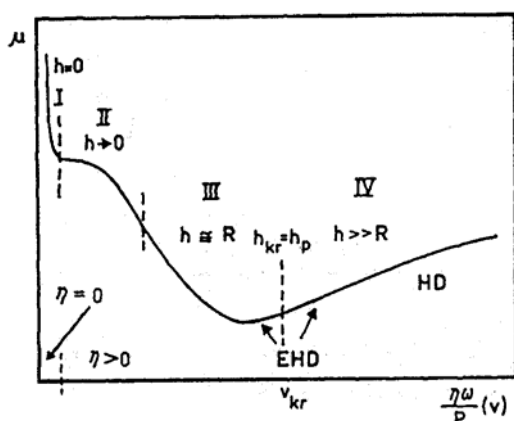
Rovněž musíme navázat na obr. 14 (Stribeckova křivka) obrázky č. 27 a obr. č. 28, které nám ukazují oblasti mazání a oblasti druhu tření v upraveném Stribeckově digramu.



**OBR. 26** Schematické rozdělení vrstev na kovovém povrchu mechanicky namáhaného třecího materiálu v přítomnosti maziva : 1 – neporušený kov, 2 – přechodová vrstva (5-500  $\mu$ ), 3 – vrstva s porušenými krystalovými mřížkami (1-30  $\mu$ m), 4 – reakční vrstva (0,01-20  $\mu$ m), 5 – adsorbovaná (chemisorbovaná) vrstva (0,0003-0,0005  $\mu$ m), 6 – mazivo.



OBR. 27 Oblasti mazání v Stribeckově diagramu



OBR. 28 Upravený Stribeckův diagram

I – oblast suchého tření, II – oblast mez-  
ného tření, III – oblast smíšeného a částečného EHD-režimu, IV – oblast hydrodynamického a elastohydrodynamického tření (mazání),  $h$  – tloušťka mazací vrstvy,  $R$  – drsnost povrchu,  $h_{kr}$  – tloušťka filmu při kritické rychlosti  $v_{kr}$  přechodu ze smíšeného do kapalinového tření.

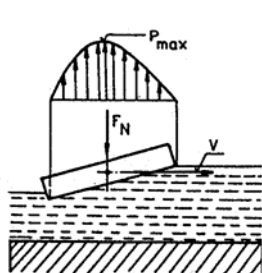
Takže v oblasti mazání (obr. 27) rozlišujeme :

- I – mazání s přerušovanou vrstvou kapalného maziva při smíšeném tření
- II – mazání s vytvořenou celistvou vrstvou kapalného maziva při kapalinovém tření
- III – mazání s vrstvou kapalného maziva jehož vlastnosti se v důsledku místního vysokého zatížení výrazně liší od původních
- IV – mazání tuhými mazivy,  
tzn. mezilátka v tribologickém systému je nazývána mazivem tehdy, když je (jak už bylo uvedeno v úvodu této kapitoly) záměrně přiváděna mezi základní třecí těleso a třecí těleso. Mazivo je aktivním plnohodnotným prvkem tribologického systému, jehož vlastnosti vytvářejí strukturu systému a ovlivňují velikost mechanických a energetických ztrát, tzn. zvyšují životnost, takže cílem je oddělit třecí tělesa vrstvou maziva v které vlastně probíhá třecí proces. V závislosti na stavu v jakém se maziva nachází rozlišujeme maziva (klasifikace maziv – viz. kap 2.5.2) :

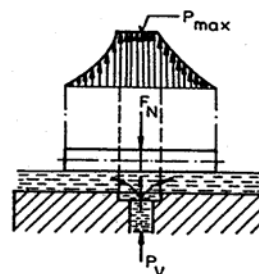
- **Maziva tuhá (pevná)** – mazivo vykazuje vlastnosti pevné látky. Použití pro vysoké tlaky a teploty
- **Kapalná maziva** - mazivo je v kapalném skupenství, tzn. schopnost tečení (reologie – nauka o tečení)
- **Plastická maziva** – (mazací tuky – neplatné starší označení) koloidní soustavy, zpravidla gely máslovitého charakteru
- **Plynná maziva** - maziva v plynném skupenství.

Z konstrukčního hlediska navrhování tribologického uzlu je kapalinové mazání považováno za nejvhodnější a optimální a je ho dosahováno v zásadě těmito způsoby (obr. 28).

- **Hydrodynamická mazání** – tlak v mazací vrstvě se vytváří samočinně mezi dvěma relativně se pohybujícími povrchy – obr. 29, tzn. je závislé na proudění v klínové mezeře, která vzniká za následujících základních předpokladů :
  - mazivo je přilnuté k povrchu těles tvořících kluznou dvojici
  - existuje relativní pohyb mezi vnějším zatížením a prouděním maziva
  - mazací mezera se zužuje, vytváří klín ve směru relativního pohybu



**OBR. 29** Principiální průběh vytváření a rozložení hydrodynamického tlaku v kapalině



**OBR. 30** Principiální průběh vytváření a rozložení hydrostatického tlaku v kapalině

- **Hydrostatické mazání** – tlak v mazací vrstvě se vytváří mimo kluzné plochy pomocí tlaku hydrogenerátoru – obr. 30. Na vytvoření nosné hydrostatické vrstvy musí být tlak přiváděného maziva 2 – 4 x vyšší než je hodnota středního tlaku vycházejícího z geometrie uložení a zatížení.
- **Elastohydrodynamické mazání** – zohledňuje pružné deformace třecích členů v závislosti na zatížení, tak změnu vlastností maziva v důsledku lokálního vysokého zatížení (Hertzovy kontakty)

### 2.5.1. Vlastnosti maziv

K plnění žádaných funkcí musí mít mazivo vhodné vlastnosti, které si musí podržet co nejdéle a je nutné si uvědomit, že vliv kyslíku, teploty a tlaku, vlhkost, světlo, záření, elektrické pole, účinek kyselin apod., co nejnižší biologická aktivnost, malá odparnost, obtížná samozápalnost atd. nejsou zanedbatelné, nýbrž nutné vlastnosti.

#### Obecné vlastnosti maziv

##### 1. Funkční vlastnosti maziv

- Hustota** (měrná hmotnost) – je hmotnost objemové jednotky látky při dané teplotě (u plynů ještě tlak)

$$\rho'_i = \frac{m}{V} \quad [\text{kg.m}^{-3}]$$

- **Relativní hustota** – poměr hustoty dané látky k hustotě srovnávané látky při teplotách  $t_1$  a  $t_2$

$$d_{t_2}^{t_1} = \frac{\rho_{1t_1}}{\rho_{2t_2}}$$

- **Gravity** – používá se v americké literatuře k vyjádření hustoty, udává se ve stupních API a platí přepočtový vztah

$${}^{\circ}API = \frac{141,5}{d_{15,6vody}^{15,6oleje}} - 131,5$$

Hustota kapalných maziv se mění s teplotou a tlakem.

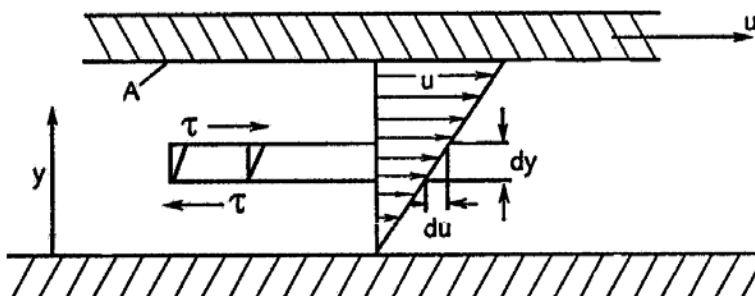
- b) Reologické vlastnosti** - ještě jednou uvedeme, že reologie se zabývá tokovými vlastnostmi látek (nauka o tečení) v oblasti mezi tuhým a kapalným seskupenstvím. Podle vztahu mezi smykovým napětím ( $\tau$ ) a smykovým spádem ( $D$ ) dělíme na – tekutiny newtonské, tekutiny pseudoplastické, látky ideálně plastické (binghamovské), látky kvaziplastické (komplexní binghanovské, cassanovy), látky dilatantní a látky dilatantní s mezí tekutosti. Z našeho pohledu jsme u Newtonských tekutin a proto veškerý další text se týká pouze jich nebo jsme v obecné rovině maziv.

- **Dynamická viskozita** (vlastně koeficient vnitřního tření). Podle Newtona platí pro pohyb tekutiny s laminárním tokem, že smykové napětí ( $\tau$ ) v rovině ( $x,y$ ) – paralelní s laminárním tokem je přímo úměrné gradientu rychlosti  $du/dy$ , čili smykovému spádu ( $D$ ) – obr. 31.

$$\tau = \eta \frac{du}{dy} = \eta \cdot D \quad [\text{Pa}]$$

$\eta$  - dynamická viskozita [Pa.s] = [kg.s<sup>-1</sup>.m]

Platí tehdy vlastně obdoba Hookova zákona pro smyk.



**OBR. 31** Rychlostní profil ke zjištění reologických vlastností

V celé řadě starší literatury se setkáváme se staršími jednotkami - Evropa [°E] stupeň Englera, v USA Sayboldovy sekundy [SSU], ve Velké Británii Redwoodovy sekundy [RI] a nejznámější je Poise [P = dyn.s.cm<sup>-1</sup> v soustavě CGS]

$$1\text{P} = 10^{-1} \text{Pa.s}$$

$$1\text{cP} = 1\text{mPa.s}$$

- **Kinematická viskozita** – definuje poměr dynamické viskozity a hustoty při dané teplotě

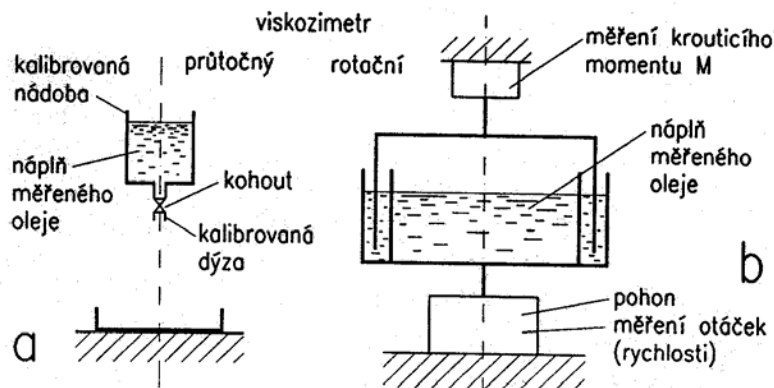
$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [\text{m}^2.\text{s}^{-1}]$$

Starší jednotka v soustavě CGS je Stokes [St] a platí :

$$1\text{St} = 10^{-4}\text{m}^2.\text{s}^{-1}$$

$$1\text{cSt} = 1\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$$

Používání kinematické viskozity se rozšířilo vzhledem ke snadnému stanovení ve viskozimetrech – princip používaných viskozimetrů je na obr. 32.



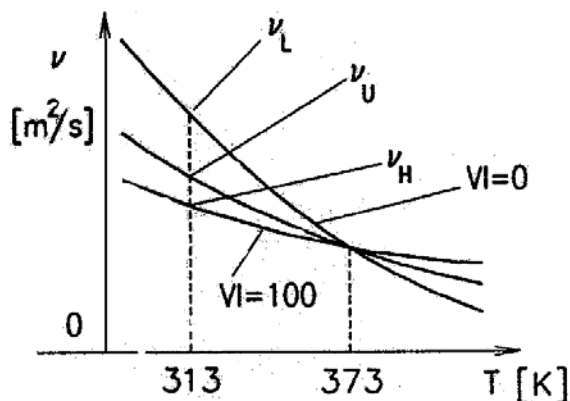
**OBR. 32** Průtočný a rotační viskozimetr

Ještě se lze setkat s pojmy jako relativní viskozita, měrná (specifická) viskozita a redukovaná viskozita.

- **Změna viskozity s teplotou** – dynamická viskozita u plynů vzrůstá a kinematická se mění ve smyslu vztahu s hustotou. U kapalin dynamická i kinematická s teplotou klesá. Vliv teploty na viskozitu mazacích olejů bývá udáván viskozitním indexem VI, což je poměrné číslo, které vyjadřuje vliv teploty na změnu viskozity oleje v porovnání se dvěma standardními oleji, které mají při teplotě 210°F= 98,9°C stejnou viskozitu jako hodnocený olej. Viskozitní index je v souladu s obr. 33 dán výrazem :

$$VI = \frac{v_L - v_U}{v_L - v_H} \cdot 100$$

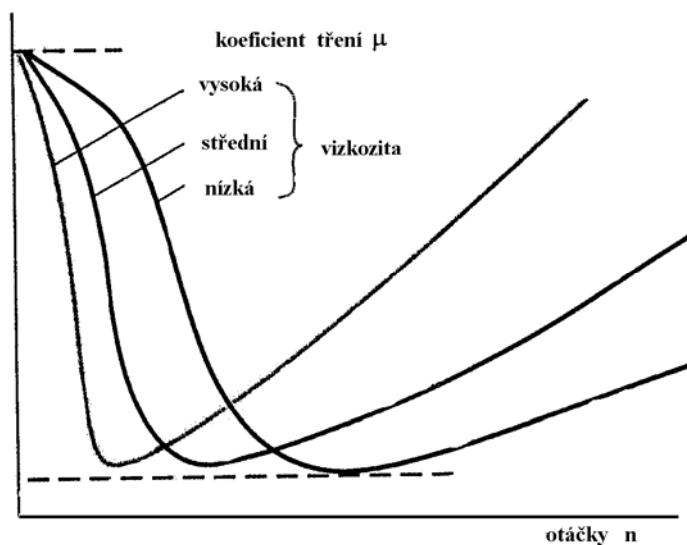
Olej s větším VI má plošší křivku, tzn. vykazuje menší změny při změnách teploty.



**OBR. 33** Viskozitní index (VI)

- **Změna viskozity s tlakem** – u reálných plynů dynamická s tlakem stoupá. U kapalných a plastických maziv s tlakem vzrůstá s výjimkou vody.

Strebeckův diagram pro různou viskozitu se mění, tak jak je uvedeno na obr. 34.



**OBR. 34** Průběh Stribeckova diagramu pro různou viskozitu mazací látky

- c) **Stlačitelnost kapalných maziv** – tato vlastnost získala na významu zejména s rozvojem hydraulických systémů, tzn. použití kapaliny s co nejmenší stlačitelností k docílení co největší účinnosti servosystémů. Těžkostlačitelné mazivo se nedá také vytlačit z povrchu ložiskových ploch, tzn. zamezení styku kov na kov. Obecně jsou požadovány kapaliny s velkým modulem objemové pružnosti (s malou stlačitelností), výjimku tvoří kapaliny pro tlumiče.

- d) **Tepečná vodivost a měrné teplo** – schopnost vedení tepla je vyjadřována měrnou tepelnou vodivostí, která je u kapalných maziv velmi malá a zvětšuje se s klesající



hustotou a zmenšuje se vzrůstající teplotou. Totéž lze konstatovat u plynů. Tuhá maziva jí mají mnohonásobně vyšší.

Na závěr těchto tzv. funkčních vlastností uvádíme tab. 3, která ukazuje některé tyto vlastnosti u vybraných kapalin.

### TABULKA Č. 3

VLASTNOSTI NĚKTERÝCH KAPALIN PŘI TEPLITĚ 20<sup>0</sup>C A TLAKU 10<sup>5</sup> PA (1bar)

Kapalina	Vzorec	hustota $\rho$ [kg . m <sup>-3</sup> ]	viskozita $10^3 \cdot \eta$ [Pa . s]	teplotní vodivost [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	specifická tepelná kapacita C <sub>20</sub> [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
aceton	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	791	0,329	0,18	2 160
anilin	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	1 022	4,43	0,172	2 060
benzen	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	879	0,647	0,154	1 740
etanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	789	1,2	0,182	2 470
glycerin	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1 206	18,2	0,285	2 430
chlorbenzen	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl		0,8		
chloroform	CHCl <sub>3</sub>	1 482	0,58	0,129	970
tetrachlormetan	CCl <sub>4</sub>	1 595	0,97	0,108	850
kys. octová	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	1 049	1,22	0,193	2 030
kys. sírová	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 834	21,6	0,314	1 380
metanol	CH <sub>4</sub> O	792	0,539	0,212	2 470
nitrobenzen	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>		2,01		
sírouhlík	CS <sub>2</sub>	1 263	0,368	0,16	1 020
toulen	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	866	0,59	0,151	1 680
voda	H <sub>2</sub> O	998	1,009	0,598	4 180
rtuť	Hg	13 546	1,55		140

## 2. Elektrické vlastnosti

- **Elektrická vodivost** – čisté, neaditované uhlovodíkové oleje jsou špatnými vodiči elektřiny, tzn. Vodivost stoupá s obsahem látek, které jsou schopny disociovat elektrolytické ionty.
- **Permitivita** – dielektrická propustnost látky

### 3. Podmínky vymežující teplotní použití maziv

I když v této kapitole ad.1. byly uvedeny změny funkčních vlastností maziv s teplotou, tak musíme uvést, že existují teplotní hranice, kdy maziva ztrácejí své původní funkční vlastnosti do té míry, že nemohou plnit na ně kladené úkoly a jsou příčinou nastalých obtíží. Tyto hranice jsou dávány do souvislosti s fázovými (skupenskými) změnami maziv.

#### □ **Bod zákalu a bod tuhnutí kapalných maziv**

Při ochlazování dochází ke změně kapalné fáze v tuhou ve dvou stádiích → bod zákalu – začínají se vylučovat z oleje krystaly tuhé fáze a dalším ochlazováním dochází → bod tuhnutí. Někdy u některých látek se také mluví o bodu krystalizace a bodu zeskelnatění.

#### □ **Bod varu, tlak par, odparnost, bod vzplanutí a hoření, mez výbušnosti, samozápalnost u kapalných maziv**

Bod varu a tlak par jsou spojeny s destilační hranicí, tzn. výrobou oleje – rafinací a chemickou filtrací, odparnost má svůj význam z pohledu velikosti ztrát oleje, hořlavost třídí kapaliny z hlediska nebezpečí vzniku požáru (třídy hořlavosti). Takže svým způsobem neznámou je bod vzplanutí a hoření – je teplota při níž v otevřené nebo uzavřené nádobě se nahromadí tolik par, že při přiblížení plamene se vznítí (bod vzplanutí) a při ještě vyšší teplotě trvale hoří (bod hoření).

#### □ **Bod skápnutí a mez pevnosti plastických maziv**

Teplota při níž se za podmínek zkoušky v normovaném přístroji oddělí z plastického maziva první kapka je bod skápnutí – v technické praxi je považován za problematickou horní teplotní mez pracovní schopnosti plastických maziv. Mez, při které začíná plastické mazivo ztekucovat je nazývána mez pevnosti, což je vlastně pokles této hodnoty na nulu, takže při určitém smykovém spádu se dosáhne hodnoty – meze tekutosti.

#### □ **Chování plastických maziv za nízkých teplot**

Na tokové vlastnosti za nízkých teplot má vliv celá řada faktorů působících protichůdně tzn. zjištění je možné pouze empiricky a jsou velmi značné rozdíly mezi laboratorními výsledky a provozní praxí.

### 4. Životnostní vlastnosti

#### □ **Odolnost proti oxidaci**

Tzv. stárnutí kapalných a plastických maziv zaviněné reakcemi jejich složek vlivem působení vzdušného kyslíku je běžným jevem. Rozsah a rychlost těchto změn je dána chemickým složením a především teplotou, proto se někdy mluví o termooxidačních reakcích, resp. termooxidační stálosti maziv za tepla.

## □ Účinek energií

Druh energie určuje zda mluvíme o pyrolýze, fotolýze, radiolýze apod., takže se rozlišuje :

- důsledek vlivu tepelné energie
- důsledek účinku světla
- důsledek účinku záření
- důsledek účinku elektrických výbojů

## 5. Povrchové vlastnosti

- **Pěnění olejů** - je nežádoucí jev, který se projevuje zmenšením pevnosti mazací vrstvy, zvětšením náchylnosti ke stárnutí, poklesem viskozity apod.
- **Maznost** – pevnost a přilnavost mezní vrstvy maziva, resp. schopnost snižovat tření a opotřebení
- **Rozprašování olejů** – zmenšením povrchového napětí se zmenšují částice což usnadní přístup na třecí místa, tzn. musí být optimum, aby částice nebyly unášeny do okolí. Důležité pro mazání tzv. olejovou mlhou.
- **Tvorba emulzí** – je nutné tam, kde mimo mazání se vyžaduje i chladicí schopnost (třískové obrábění kovů, válcování apod.)
- **Rozpouštěcí schopnost kapalných maziv** – rozpouštění nečistot ne ochranných vrstev, např. nátěr.
- **Čistící a rozptylovací schopnost olejů** – zajišťuje čistotu třecích ploch od usazenin a zadíracích nečistot (detergence) a jejich rozptýlení (disperze)
- **Ochranná schopnost maziv** – ochrana mazaných ploch před účinky koroze

## 6. Fyziologické vlastnosti maziv

Eliminace škodlivého účinku maziv na lidský, zvířecí a rostlinný organismus např. u člověka kožní onemocnění, dráždivý účinek na dýchací a jiné orgány, karcinogennost atd.

### 2.5.2 Klasifikace maziv

Je dána druhem maziva, takže rozeznáváme :

- **Plynná maziva** – která se uplatňují v tzv. plynových ložiskách v aerodynamickém nebo aerostatickém režimu při vysokých obvodových rychlostech (10 000 – 600 000 ot.min<sup>-1</sup>) a teplotách 300°C a více. Předností je malá viskozita, která se s teplotou zvyšuje, nízký součinitel tření, nepatrné třecí teplo, všudypřítomnost maziva, neexistuje kavitace apod. Nedostatkem je menší schopnost snášet zatížení, sklon k nestabilitě a turbulenci, sklon k vysokému frekvenčnímu chvění, sklon k bezprostřednímu styku povrchů, tzn. je nevyhnutelná přesná montáž, těsnost mechanismů, hladké třecí plochy. Z plynů se uplatňuje vzduch (do 650°C), CO<sub>2</sub> (do 650°C), helium a dusík (800°C a více), H<sub>2</sub>, metan, vodní pára, někdy se přidávají reaktivní látky (CF<sub>3</sub>Cl, CF<sub>3</sub>Br, CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub> aj.)

- **Kapalná maziva** – uplatňují se v hydrodynamickém, hydrostatickém, elasto-hydrodynamickém, hraničním a smíšeném tření, jsou převažujícím typem maziv, přísady jim dávají nové vlastnosti a prodlužují pracovní schopnost. Rozeznáváme :
  - **Ropné oleje** – získávají se z ropy destilací, rafinací, ale i odparafinováním. Jsou převážně uhlovodíkové a základní rozdělení je na rafináty s vysokým, se středním a s nízkým VI.
  - **Syntetické oleje** – zabezpečují lépe některé tribotechnické problémy (nízké a vysoké teploty)
  - **Anorganická kapalná maziva a taveniny** – vlastně vodné roztoky používané při zpracování kovů, kyselinu sírovou (mazání chlorových kompresorů), taveniny sodných skel (pro tváření kovů) apod.  
Z pohledu provozního nasazení se v nezákladnější podobě dělí oleje na motorové a průmyslové ale lze říci, že oleje se vyrábějí z pohledu použití na:
    - oleje pro spalovací motory vozidel
    - letecké motorové oleje
    - kompresorové oleje
    - oleje válcové
    - turbinové oleje
    - oleje ložiskové (strojní)
    - převodové oleje
    - hydraulické oleje (kapaliny) tzn. pro hydrostatické a hydrodynamické převody, ale také brzdové kapaliny
    - maziva pro obrábění a tváření kovů
    - oleje pro zvláštní účely (transformátorový, formový, pro kalení, tlumičový apod.)
- **Plastická maziva** – známá také pod starším označením mazací tuky, zpravidla gely, makroskopicky máslovité (vláknité, zrnité) a složené ze dvou fází – spojitou (disperzní) vytváří mazací olej, dispergovanou fází pak zpevňovadlo.
  - olejová složka – běžnou jsou ropné oleje, syntetické dodávají své přednosti
  - zpevňovadlo – vliv na vlastnosti je rozhodující :
    - mýdlová zpevňovadla – jednoduchá (Li, Na, Ca atd.) kombinovaná (Na-K, Na-Li, Ca-Ba atd) a komplexní
    - nemýdlová zpevňovadla – anorganické (bentonity, silikogely apod.), organické (polymery, uhlovodíky apod.), kombinace.
 Přidávají se pouze tzv. plnidla, která zlepšují mazivostní a protioděrové vlastnosti. Z pohledu provozního nasazení rozdělujeme plastická maziva :
  - pro valivá ložiska
    - pro kluzná ložiska
    - pro kluzná ložiska
    - pro ozubená soukolí
    - pro kluzná vedení
    - pro mobilní zařízení (automobily)

**POZNÁMKA :**

- Označení VAZELINA – používá se pouze pro farmaceutické a kosmetické účely
- Označení MAZADLA – název maziva pro prvé (intenzivní) mazání ocelových lan a provozní domazávání lan (nanášení za tepla nebo naředěné)

- **Tuhá (pevná) maziva** – rozšíření bylo dáno potřebou mazat za extrémních tlaků, teplot, záření a dalších vlivů, pro které nemá žádné kapalné mazivo dostatečnou stálost. Vlastní tuhá maziva se dělí na tyto skupiny :
  - Anorganické – s vrstevnatou (laminární) strukturou (sulfidy, selenidy, Mo, W, Ti, Nb, grafit, fluorid apod.) a jinou strukturou (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, BiS<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PbO, CaF<sub>2</sub>, LiF apod.)
  - Organické – polymerné, polyaromatické, tuky, vosky a jejich deriváty
  - Měkké kovy – Pb, Sn, In, Cd, Ag, Au a jejich slitiny
  - Kluzné látky – při teplotě vyšší jak 500°C se na třecí prvky stříkají a pak vypalují nebo se do jejich pórů zanáší tuhé mazivo (grafit, MoS<sub>2</sub>, sulfidy apod.)

### 2.5.3 Ekologicky odbouratelná maziva

Poškozování životního prostředí a vliv maziv na životní prostředí nelze popřít, především v souvislosti s kontaminací půdy, kontaminací vody, všude tam, kde olej může proniknout do potravinového řetězce apod., proto vznikla tzv. biologicky odbouratelná maziva, tzn. odbourání přírodními mikroorganismy, takže mluvíme o ekologických mazivech.

Jedná se především o oleje na bázi rostlinných olejů, především řepkového. Pod pojmem biologická odbouratelnost (čas a rychlost), v širším smyslu je nutno chápat výrobky, které již během využití nebo během zpracování či likvidace výrazně ovlivňují přírodní rovnováhu ve vodě, vzduchu a zemi co nejméně.

Zkouška biologické odbouratelnosti je dána tím, že oleje a z nich odvozené produkty se za 21 dnů při podmínkách zkoušky rozloží z více než 90 % (skutečnost často i více než 97%). Naproti tomu ropné produkty se rozloží za stejných podmínek z 10 ÷ 30% nebo 10 ÷ 13 x pomaleji. Místa nasazení jsou dána ohrožením přírody – zemní stroje, vrty, ale i tzv. ztrátové mazání (řetězy pil, ruční nářadí, vodní turbíny apod.)

### 2.5.4 Přísady do maziv

Zajištění požadovaných vlastností se většinou nedosahuje výrobou čistých maziv, nýbrž je nutné přidání přísad (aditiv). Takže pak mluvíme :

- Antioxidanty – potlačování oxidačních dějů
- Detergenty a disperzanty – čistidla ploch od usazenin a rozptýlení nečistot
- Protikoroziční přísady – inhibitory koroze a rezavění
- Modifikátory viskozity a viskozitně teplotní křivky
- Depresanty – snižovače teploty tuhnutí
- Protipěnovostní přísady
- Emulgátory
- Modifikátory tření – mazivostní a protioděrové přísady
- Biocidy – potlačování vzniku mikroorganismů a tím znehodnocení maziva a poškození zdraví.

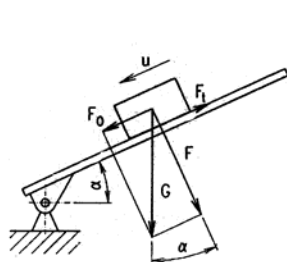
## 2.6 Tribometrie

Do oblasti tribometrie patří měření tření a opotřebení, zkoušení maziv, hodnocení tribotechnických prvků strojů, sledování provozního chování strojů s vyústěním řešení problému spolehlivosti tribologického uzlu. Vlastní tribologické zkoušky lze rozdělit do tří základních skupin :

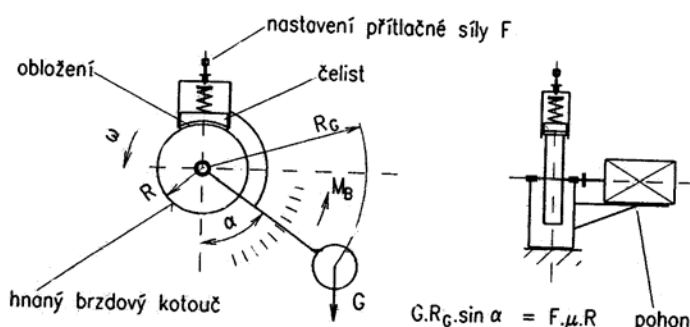
- modelové zkoušky
- zkoušky na simulačních zařízeních
- provozní zkoušky

### Metody zkoušení tření a opotřebení

1. **Hodnocení třecích procesů** – cílem je číselné vyjádření velikosti třecí síly, třecího momentu, resp. určení součinitele tření – obr. 35, obr. 36



**OBR. 35** Stanovení součinitele tření na nakloněné rovině



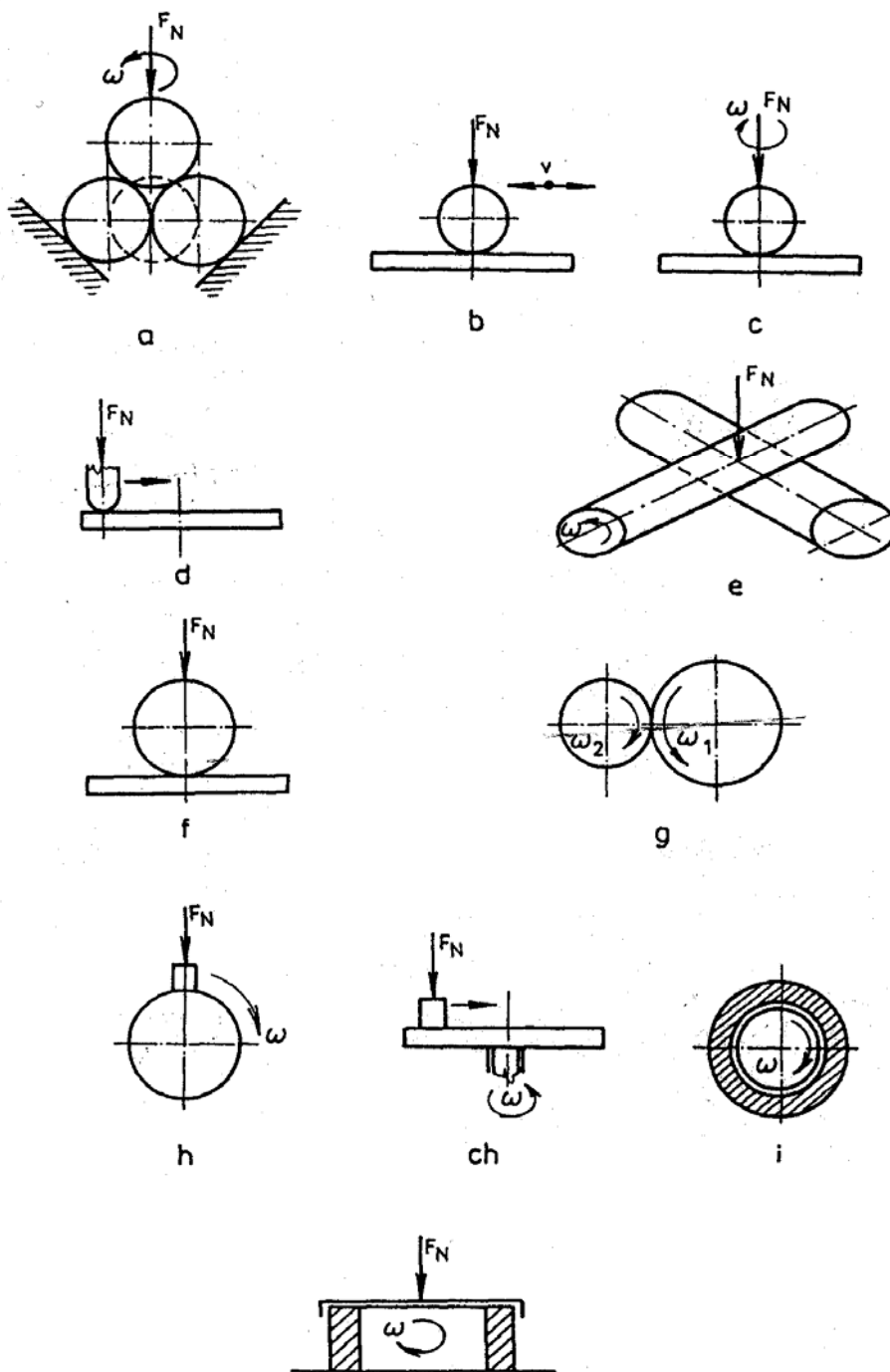
**OBR. 36** Stolice pro měření součinitele tření materiálů brzdných obložení

2. **Hodnocení procesu opotřebení měřením velikosti opotřebení**

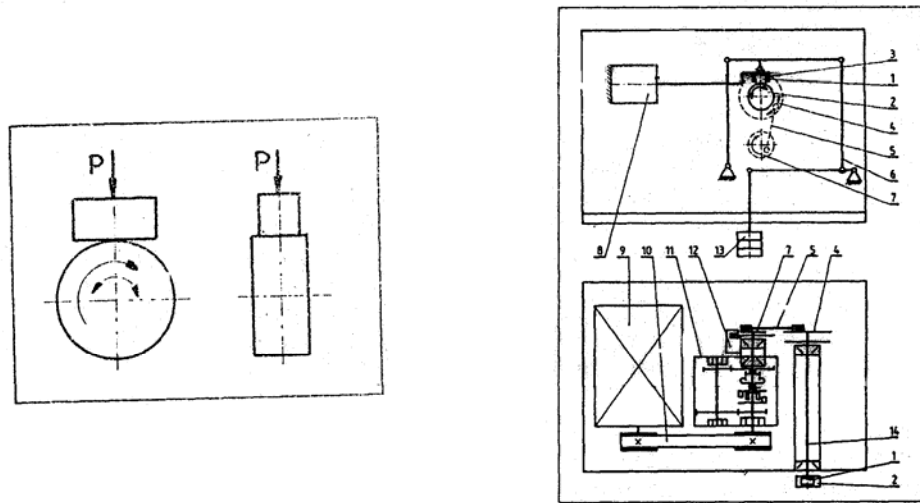
- určení velikosti opotřebení změnou hmotnosti
- určení velikosti opotřebení změnou lineárních rozměrů
- určení velikosti opotřebení změnou objemu
- určení velikosti opotřebení – profilováním (topografie povrchu)
- určení velikosti opotřebení využitím různých snímačů
- určení velikosti opotřebení využitím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

3. **Zkoušky opotřebení** – jedná se o zkušební jednoúčelové přístroje jejichž principiální řešení je dáno převládajícím mechanismem opotřebení tzn. nerespektování vlivu dalšího velkého počtu proměnných.

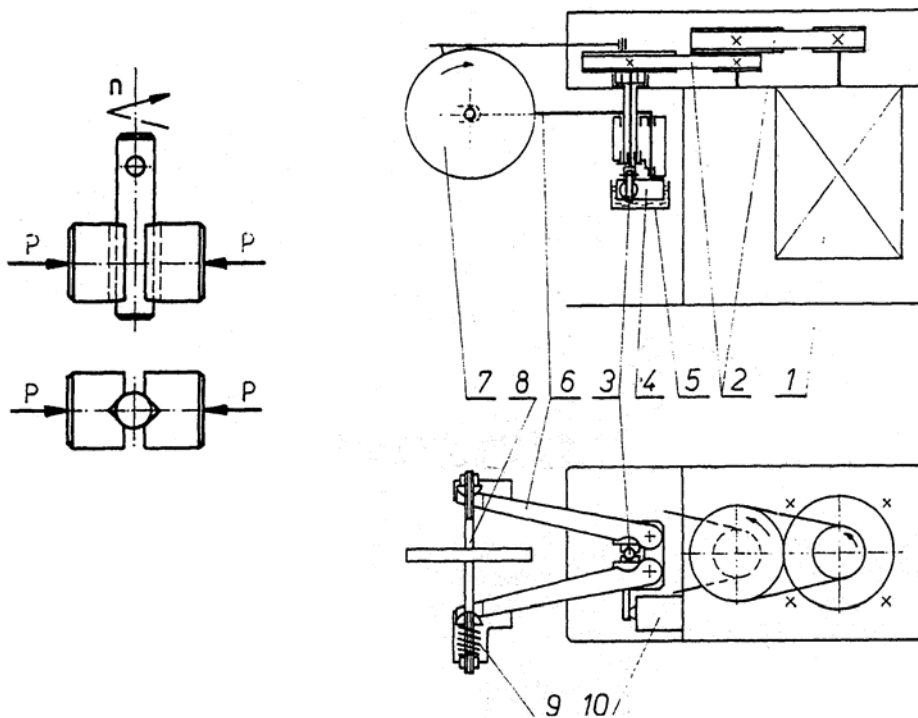
- **Přístroje na zkoušky odolnosti proti adhezivnímu opotřebení** – rozhodujícím kritériem je geometrie třecího uzlu, druh dotyku jednotlivých prvků (bodový, přímkový, plošný) – viz. obr. 37. Příklady některých zkušebních přístrojů najdete na obr. 38, obr. 39 a obr. 40. Na obr. 41 najdete jeden z nejznámějších



**OBR. 37** Základní principiální uspořádání třecích uzlů přístrojů na zkoušky materiálu na opotřebení, a÷e – bodový dotyk, f÷g – přímkový dotyk, h÷j – plošný dotyk

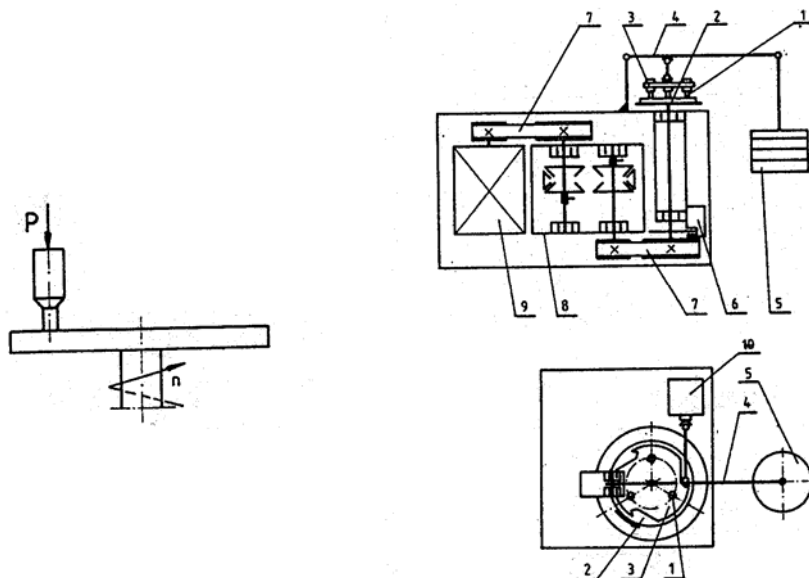


**OBR. 38** Model a kinematické schéma přístroje typu váleček – špalík

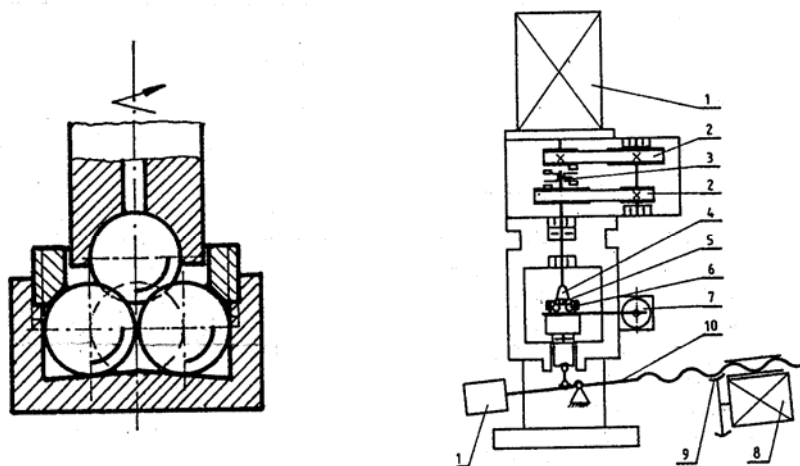


**OBR. 39** Model a kinematické schéma přístroje typu hřídel - pryzma





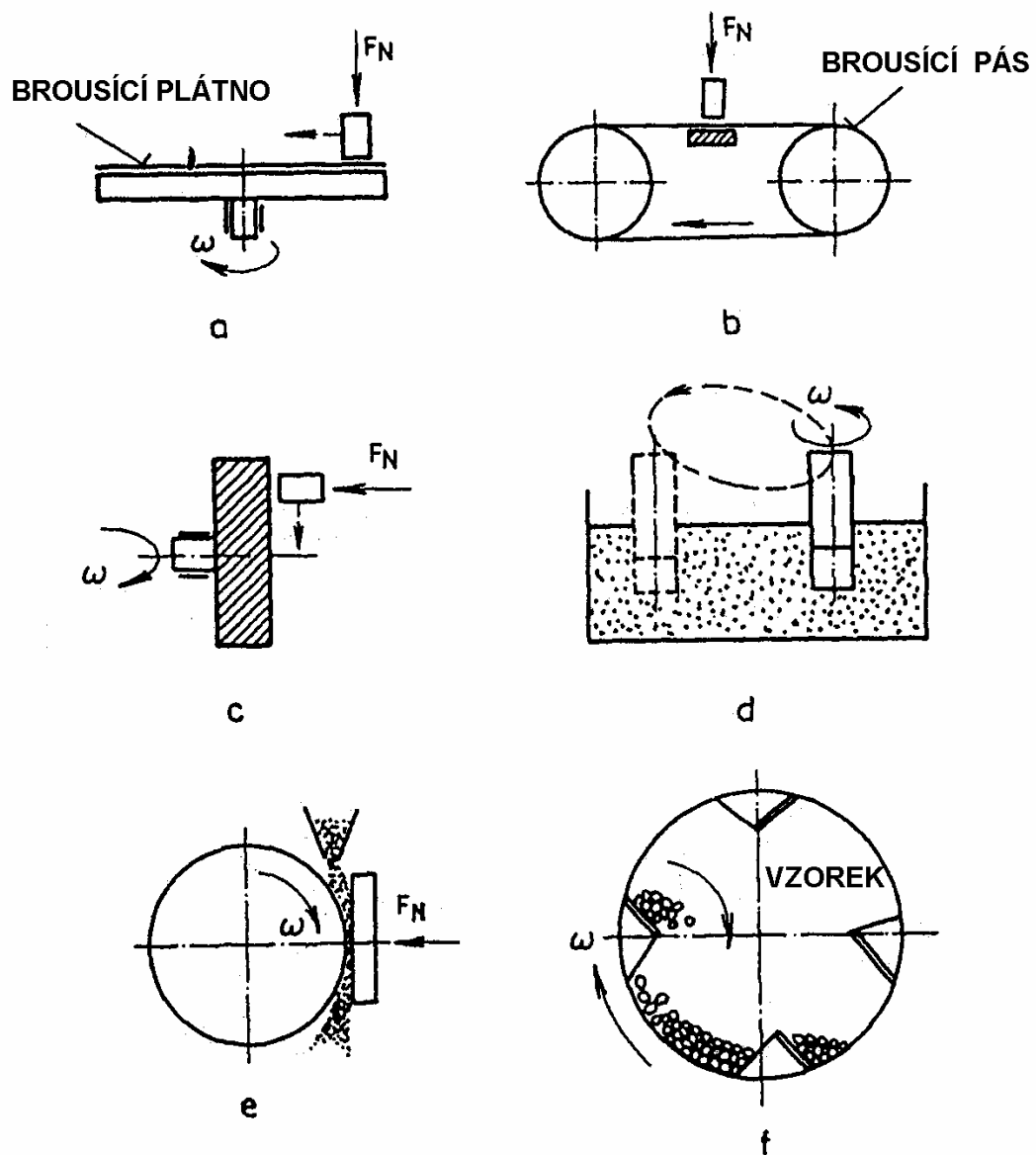
**OBR. 40** Model a kinematické schéma přístroje typu kolík – kotouč



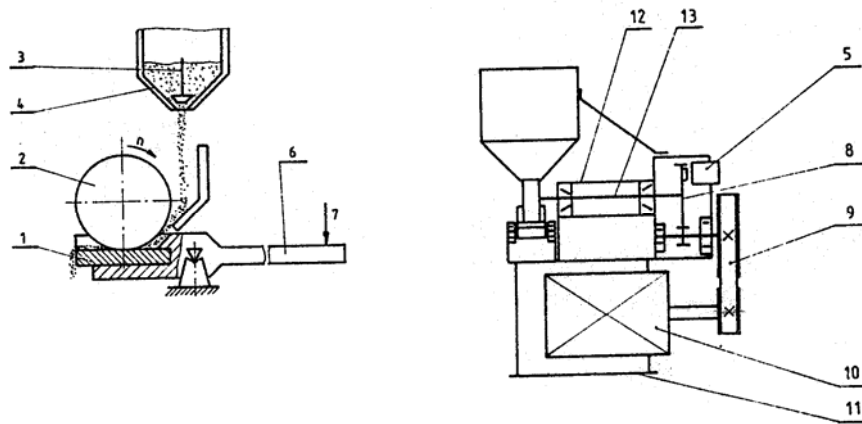
**OBR. 41** Model a kinematické schéma přístroje – čtyřkuličkový třecí přístroj

měřících testovacích přístrojů - čtyřkuličák, který je určen k ohodnocení mazacích vlastností kapalných a plastických maziv na základě indexu opotřebení (oděru), zatížení. Odolnost se vyjadřuje hodnotou ČKS (vyjadřuje pevnost mazacího filmu), která vyjadřuje max. osové zatížení při němž se kuličky ještě nesvařily a hodnotou VUO (určení protizadíracích vlastností). Protioděrové schopnosti se také hodnotí ve vystavení maziva určitému zatížení po určitou dobu (60 min) a vytvořené stopě oděru.

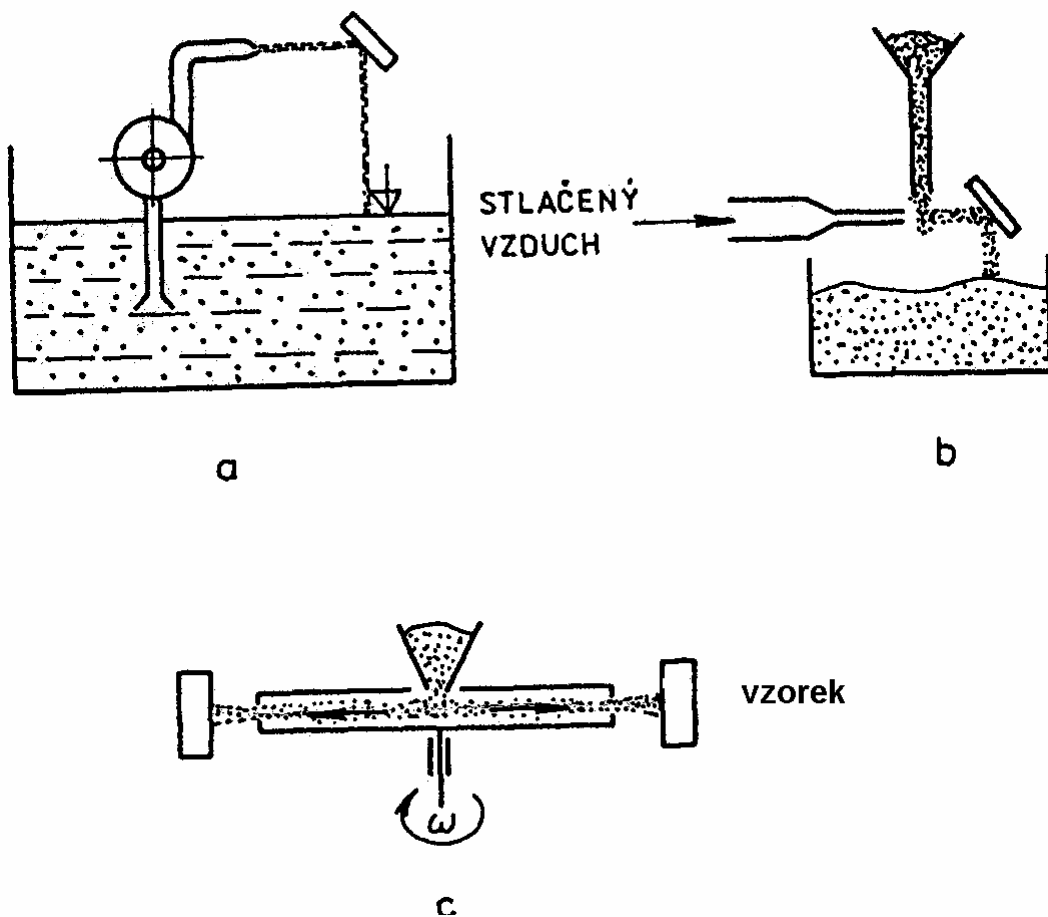
- **Přístroje na zkoušku odolnosti proti abrazivnímu a erozivnímu opotřebení.** Je nutné rozlišit zda jsou částice vázané a volné – viz. obr. 42 a na obr. 43 je zobrazen skutečný stend pro určení abrazivního opotřebení a obr. 44 ukazuje principální schéma přístrojů na zkoušky erozivního opotřebení.



**OBR. 42** Schematické uspořádání přístrojů na zkoušky materiálů proti abrazivnímu opotřebení  
 a – přístroj s brousícím plátnem, b – přístroj s brousícím pásem, e – přístroj s brousícím kotoučem, d – přístroj s brousící nádobou, e – přístroj s pružným kotoučem, f – bubnový přístroj.



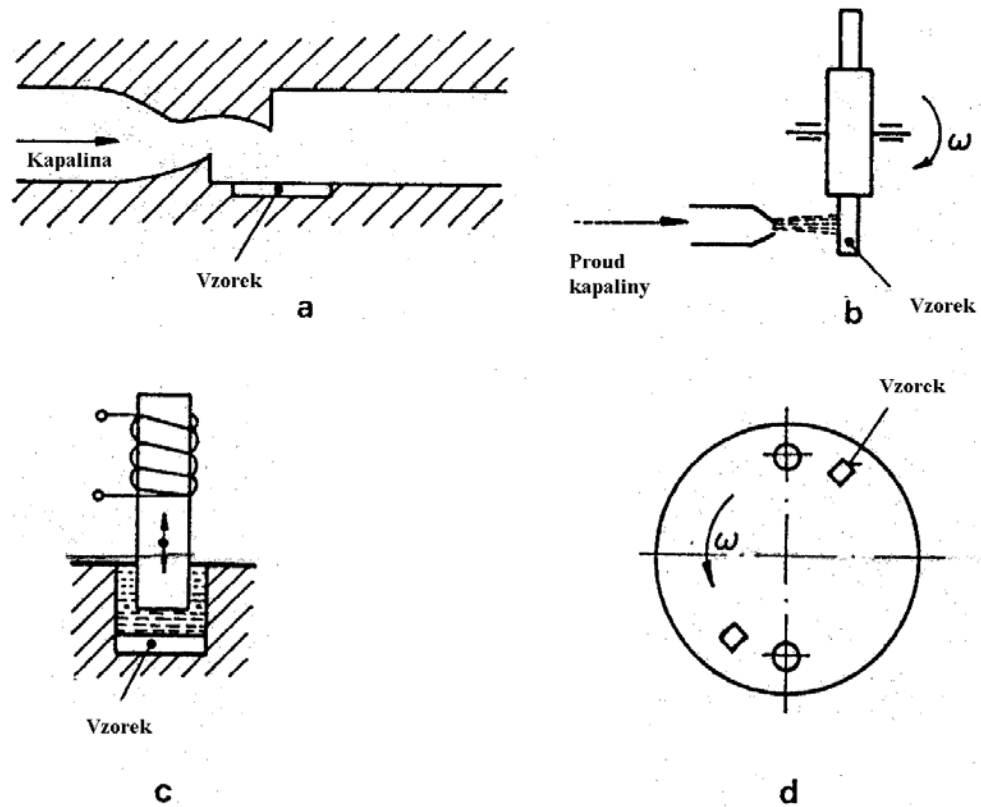
**OBR. 43** Stend k určení abrazivního opotřebení (T07 – Polsko)



**OBR. 44** Principiální schéma přístroje na zkoušky odolnosti proti erozivnímu opotřebení.

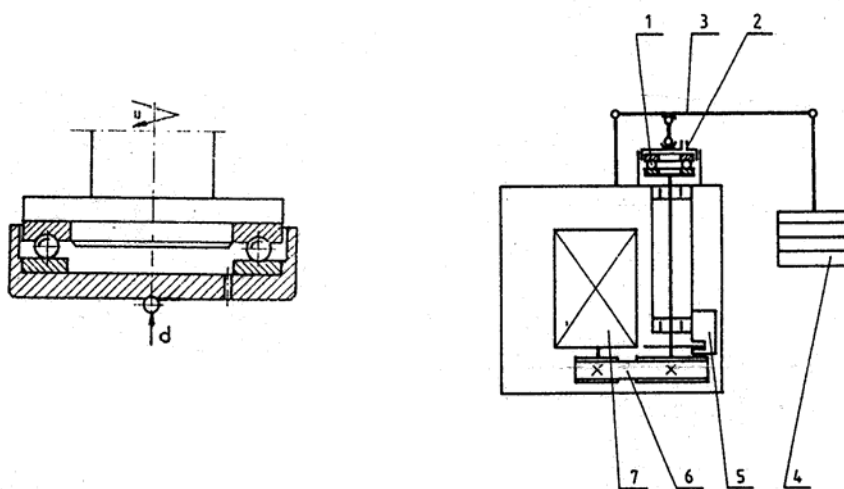
a – vrhací přístroj, b – přístroj s částicemi urychlovanými stlačeným vzduchem, c – přístroj s částicemi urychlovanými odstředivou silou.

- **Přístroje na zkoušku odolnosti proti kavitacnímu opotřebení** – používají se čtyři základní typy dané umístěním zkušební vzorku v kavitacní oblasti – obr. 45.



**OBR. 45** Schéma přístrojů na zkoušky odolnosti proti kavitacnímu opotřebení. a – dýzový přístroj, b – rotační nárazový přístroj, c – vibrační přístroj, d – rotační diskový přístroj.

- **Přístroje na zkoušku odolnosti proti únavovému opotřebení** – příklad stendu je na obr. 46.



**OBR. 46** Stend ke sledování pittingu kuličkových ložisek

#### 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

5) Zkoumání produktů opotřebení - tzn. zkoumání morfologie, velikosti, množství apod. oděru v mazivu, ale to jsme v oblasti tribodiagnostiky a kapitole 4. těchto skript.

### 3. TRIBOTECHNIKA

Není technicky proveditelné, ani účelné pro rozsah těchto skript, ani v našich možnostech plně postihnout veškeré problémy související s řešením tribotechnických problémů, neboť ty jako takové prolínají nejen naším životem, ale také celou řadou oborů.

Musíme si uvědomit, že např. v oblasti těžby a zpracování užitkových surovin mluvíme:

- o vrtatelnosti – vrtné práce při těžbě užitkových surovin
- o řezných a rypných odporech při těžbě dobývací technikou
- o opotřebení mlecích elementů mlýnů
- o opotřebení drticích částí drtičů atd.,  
že při tribovýkladu v dopravě řešíme
- kolejová doprava tzv. jízdní odpory (styk kolejnice – kolo, jízda do oblouku, tření okolek – hlava kolejnice atd.)
- automobilová doprava, také jízdní odpory (valení pneumatika – vozovka), brzdná činnost, tření pístů v motoru atd.
- pásová doprava – přenášení kroutícího momentu z hnacího bubnu na pás, pasivní odpor válečků atd.,

že daný problém je nutno řešit i při obrábění kovů – třískové (soustružení, frézování), tváření (válcování, lisování atd.) takže se soustředíme pouze heslovitě na některé základní vybrané problémy vybraných strojních částí a stručné seznámení s řešením mazacích soustav a zařízení.

#### 3.1. Základní tribotechnický výklad vybraných strojních částí

Ještě jednou připomínáme, že není účelem následujících řádků a kapitol vyčerpávajícím způsobem řešit danou problematiku, to by znamenalo zpracovat, resp. navázat na literaturu z části strojů jako např. [16], [17], [19] apod., takže upozorňujeme i na lit. [24], která řeší danou problematiku pouze pro valivá a kluzná ložiska.

Podstata tribovýkladu strojních částí ve značně zjednodušené podobě je odpověď na následující otázky :

- kde vzniká tření a jaké
- jaký druh a jaká je velikost opotřebení
- jaké a jak použít mazivo jako odpověď na předchozí otázky

### 3.1.1 Šroub, pružina, hřídel

- **Šroubové spojení** – v rámci tribovýkladu šroubového spojení řešíme – ochranu proti korozi, ochranu proti tribokorozi, součinitel závitového tření, součinitel tření hlavy šroubu, těsnící funkci maziva, vliv teploty na mazání, sevření šroubu, zadření šroubu, takže mazivo potom brání (zmírňuje) kontakt kov na kov na bocích závitu a ovlivňuje koeficient tření atd. atd.

Součástí výkladu je i výpočet utahovacího momentu šroubového spojení, který je součtem utahovacího momentu závitového ( $M_G$ ) a hlavového ( $M_K$ ). Převezmeme-li z [5] pro :

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

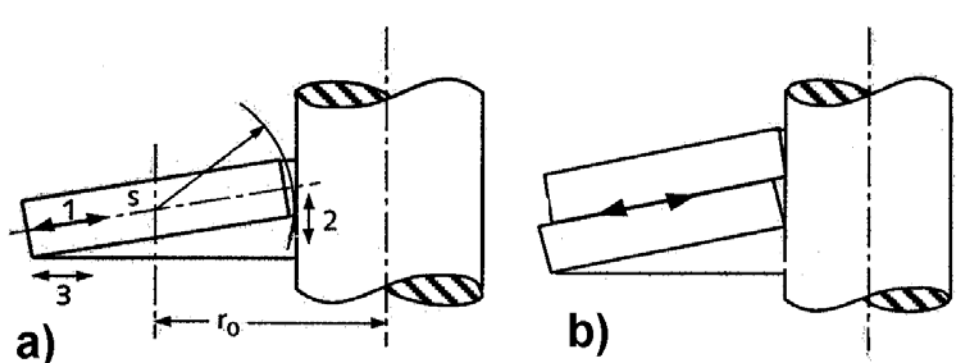
$$M_K = 0,5 \cdot F_V \cdot d_{km} \cdot \mu_K$$

- kde :  $F_V$  – síla předpětí [N]  
 $P$  – stoupání závitu [m]  
 $d_2$  – střední průměr závitu [m]  
 $\mu_G$  – závitový součinitel tření  
 $d_{km}$  – střední hlavový průměr [m]  
 $\mu_K$  – hlavový součinitel tření

tak je logické, že velikost součinitelů tření je možno vypočítat a následně určit vhodné mazivo s ohledem na další faktory vlivu (teplota atd.) včetně výrobní technologie.

- **Pružina** - pružiny mají různá uspořádání a různá provedení, které se liší kontaktní plochou a intenzitou kontaktu. Pro příklad tribovýkladu jsme vybrali talířovou pružinu, kde je možno řešit otázku různých druhů tření – obr. 47.

  - Vnitřní tření – odpovídá pružné deformaci a nemá vliv na řešení triboproblému vnějšího tření



**OBR. 47** Tření talířové pružiny [5]

- a) 1 – vnitřní tření, 2 – tření na vodící části, 3 – radiální tření na zakončovaci části  
b) tření mezi dvěma talířovými pružinami (paralelních vrstev)

- 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 apod.

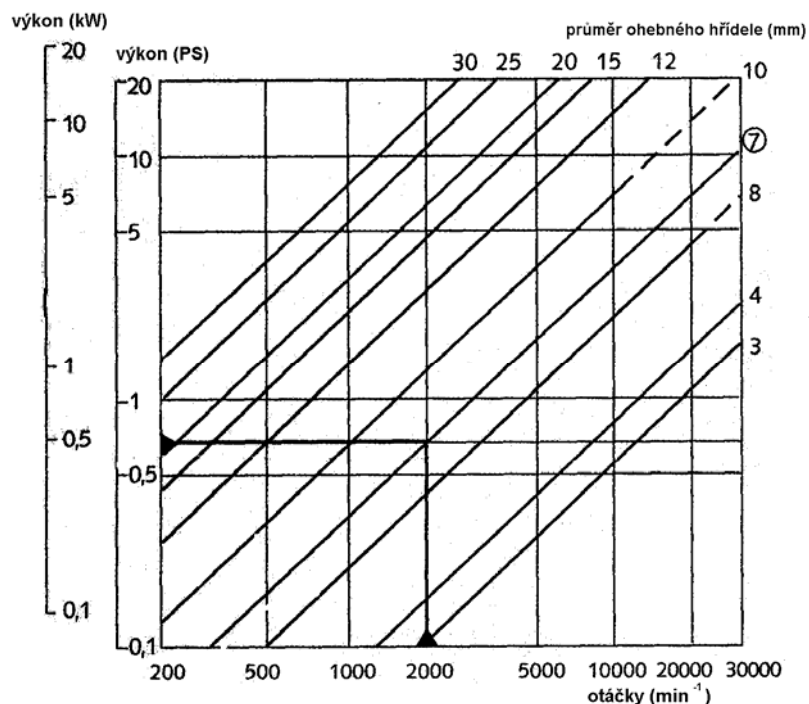
Nasazení maziva (plastické) pak by mělo :

- chránit před zlomením (prasknutím) pružiny
- minimalizovat ztráty vzniklé třením
- chránit před korozi a tribokorozi
- zvýšit teplotní rozsah nasazené pružiny

□ **Hřídel** – ve své podstatě u hřídele mluvíme

- o uložení hřídele – pak řešíme otázku kluzných a valivých ložisek (kap. 3.1.2) a z dalšího pohledu o ochraně proti korozi a tribokorozi, možnosti montáže a demontáže (valivá ložiska), minimalizaci opotřebení (kluzná ložiska) apod., což v zásadě souvisí s drsností povrchu a lícováním
- o ohebném hřídeli, které lze použít až pro otáčky  $50\,000\text{ min}^{-1}$  kroutící moment,  $10\,000\text{ Nm}$ , výkon  $20\text{ kW}$ , délky  $4000\text{ mm}$  (normální provedení) a  $15\,000\text{ mm}$  (ohebné hřídele pro dálkové řízení resp. náhony).

Mazivo úspěšně aplikujeme jako prostředek údržby před opotřebením a zabránění styku třecí dvojice (ohebný hřídel – bowden). Jako mazivo se používá plastické a tuhé mazivo (teflon, grafit). Samozřejmostí je ochrana proti korozi a nutnost správného dimenzování, resp. určení průměru ohebného hřídele – obr. 48.



**OBR. 48** Diagram k určení průměru ohebného hřídele

- o přenosu kroutícího (točivého) momentu – tzn. o spojení pomocí péra, drážkovém hřídeli apod. Za všechna spojení uvedeme spojení pomocí tzv. svěrného spojení (ringfedry) obr. 49, který ukazuje příklad rozsahu technických možností. Z tohoto obrázku je určitě jednoznačné že tření je zde jev nutný (max. koef. tření), že vlastně přenáší kroutící moment, ale vzhledem k tomu, že se jedná o rozebíratelné spojení, tak i zde je nutno především řešit otázku ochrany proti korozi a tribokorozi. Třecí kontakt třecí dvojice je především otázkou drsnosti povrchu a materiálu dvojice a samozřejmě vytvoření odpovídající jejího zatížení resp. vytvoření třecí síly.

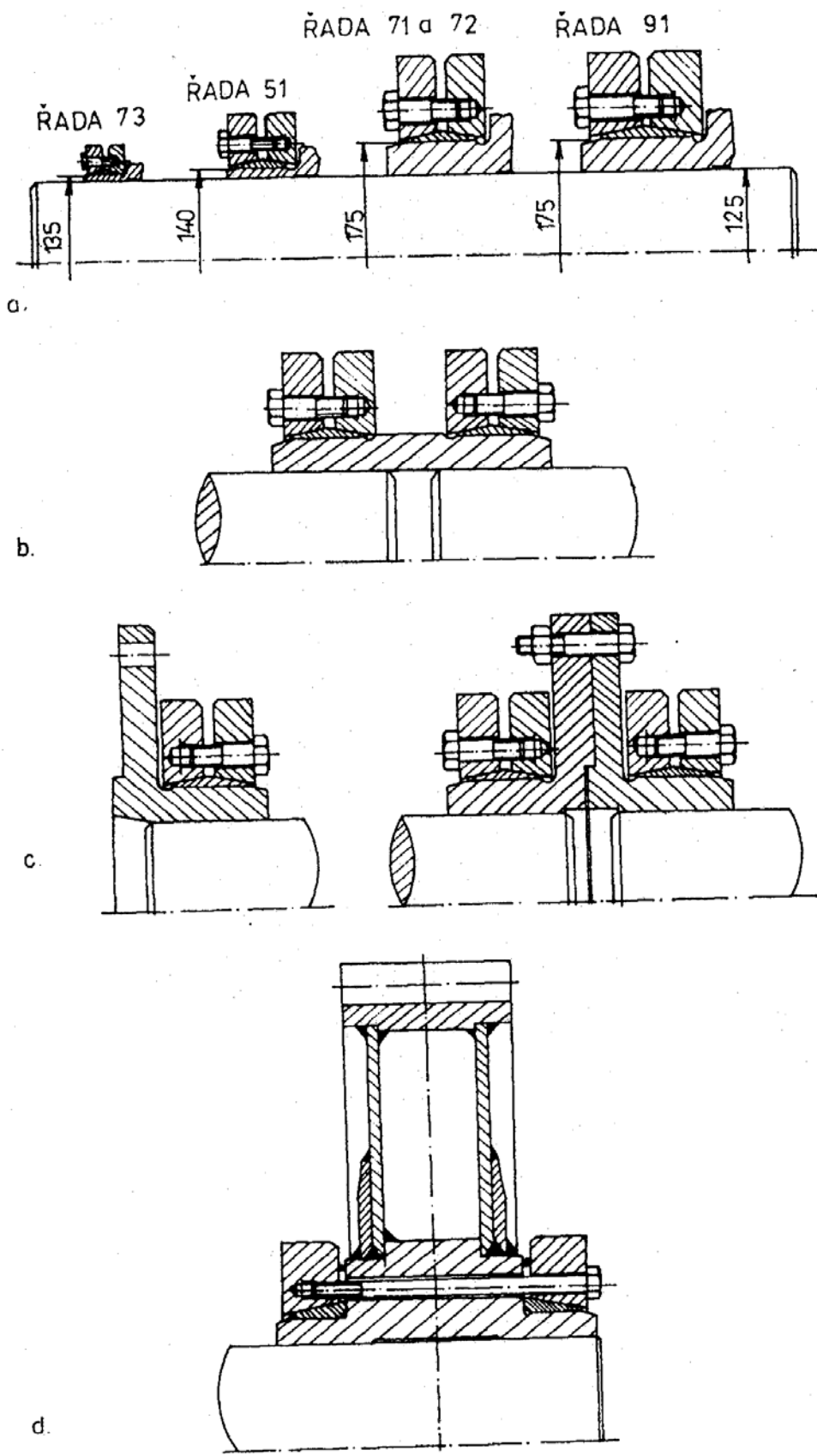
V lit. [5] je uváděno, že koeficient tření mezi hřídelí a nábojem musí být od  $\mu = 0,12$ .

- Kontakt reprodukovatelný mezi vnitřním a vnějším kroužkem zajišťuje koeficient tření od  $\mu = 0,05$ .
- Koeficient tření v závitě utahovacího šroubu by měl být od  $\mu = 0,10$ .  
Samozřejmostí je dodržení technologického postupu montáže, eventuelně demontáže, abychom nezapříčinili zpříčení, tzn. špatný kontakt dosedacích ploch.

### 3.1.2. Ložiska a těsnění

V této kapitole ještě jednou připomínáme, napsat vyčerpávajícím způsobem co vše souvisí s tribologickými a tribotechnickými problémy ložisek v návaznosti na jejich konstrukci, zatížení, uložení, atd., je na samostatnou knihu, což lze dokumentovat např. lit. [16], [17], ale i [19], které řeší určitým způsobem danou problematiku z pohledu konstrukčního. Z pohledu tribo v návaznosti na konstrukci je problematika řešena v [1], [10] ale především v [24], proto se soustředíme pouze na výrazné nutnosti, které musí být známy a to především z pohledu praktického provedení, tak jak jsou např. určitým způsobem prezentovány v [5], [23], ale vzhledem k rozsahu skript musíme velmi stručně.



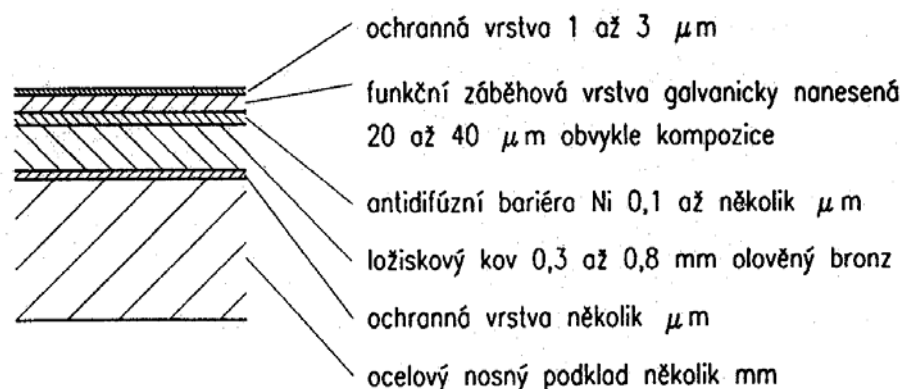


**OBR. 49**      Příklad výběru z výrobního programu svěrných spojení

## 1. Kluzná ložiska

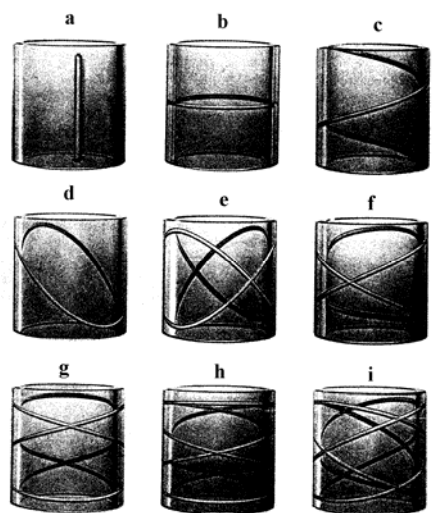
Kluzná ložiska jsou běžně navrhována pro trvalý provoz v podmínkách kapalného tření, s minimálními nároky na obsluhu a údržbu a v řadě případů i bez možnosti dodávky maziva, ale s nároky na co nejvyšší spolehlivost. Z těchto důvodů musí mít ložiskové materiály, resp. materiály třecích uzlů takové vlastnosti, aby splnily náročné požadavky na ně kladené.

K těmto vlastnostem patří tzv. třecí kompatibilita, daleko více uváděna pod známějšími vlastnostmi – odolnost proti zadírání, přilnavost maziva (maznost, někdy taky afinita k oleji), možnost zatížitelnosti, únavová pevnost a korozivzdornost. Jako samozřejmé vlastnosti se považují pevnost, tvrdost, tepelná vodivost a na závěr je nutné uvést ještě jednu důležitou vlastnost – jímat cizí částice. Takže podle [24] by řez ložiskovou pávní měl vypadat tak, jak je uvedeno na obr. 50.



**OBR. 50** Řez vícevrstvou ložiskovou pávní

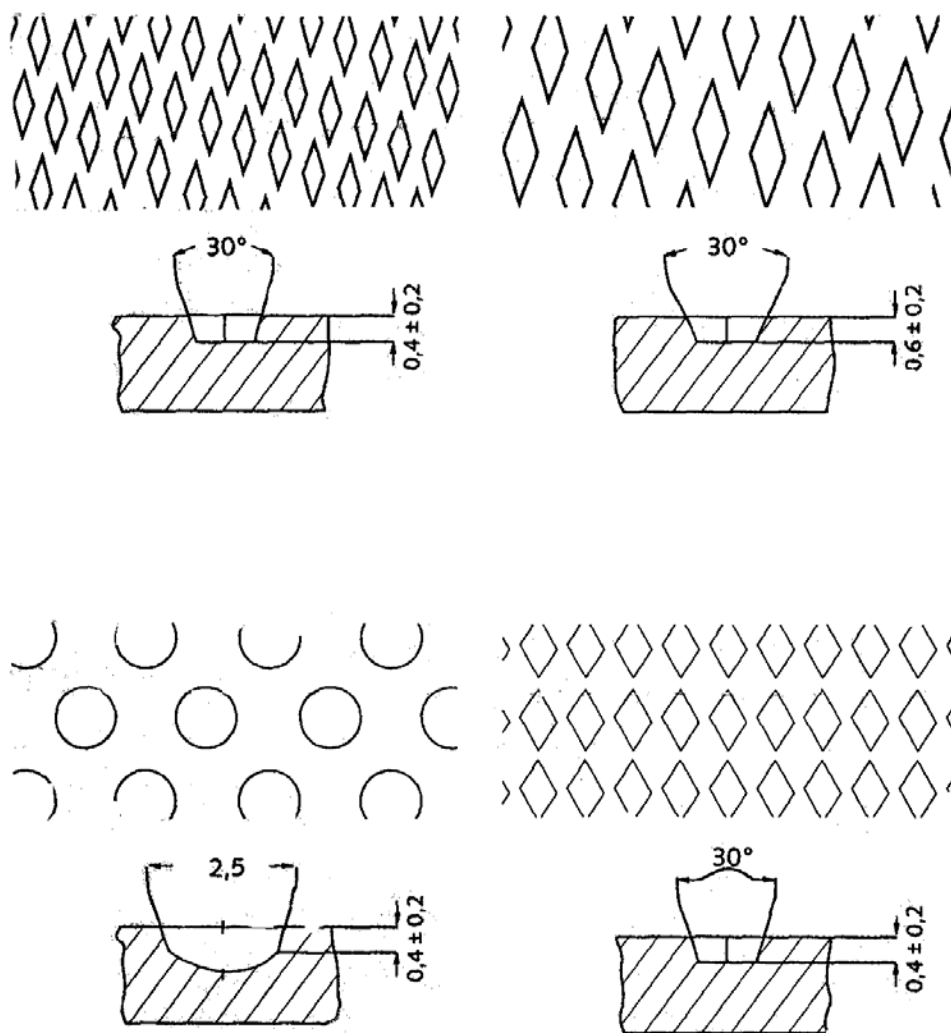
Pro konstrukci ložiska je nutné zdůraznit požadavek na vyměnitelnost činné části ložiska – ložisková pánev nebo pouzdro a možnost půleného provedení (tzv. šály). K základním kovovým ložiskovým materiálům patří cínové a olovené kompozice, bronz a hliníkové slitiny. Pouzdra a ložisková pánev taky bývají z vrstevnatých hmot např. texgumolit a plastů (horší tepelná vodivost, nižší dovolené zatížení), dnes je nejznámějším polytetrafluoretylen (teflon). Mazací drážky mohou být v různém provedení – obr. 51.



**OBR. 51** Různá provedení mazacích drážek

a – axiální, b – kruhová, c – spirálová, d – oválná, e – dvojitá oválná, f – osmičková, g – jeden a půl osmičky, h – dvojitá osmička, i – dvojnásobná osmička

Jako samomazná bývají označovány kluzná ložiska s mazacími kapsami, která se naplní mazivem, nebo s pouzdry s již zmíněného vrstevnatého materiálu, který pojme určité množství maziva, tzn. mazivo se v obou případech za provozu uvolňuje – obr. 52.

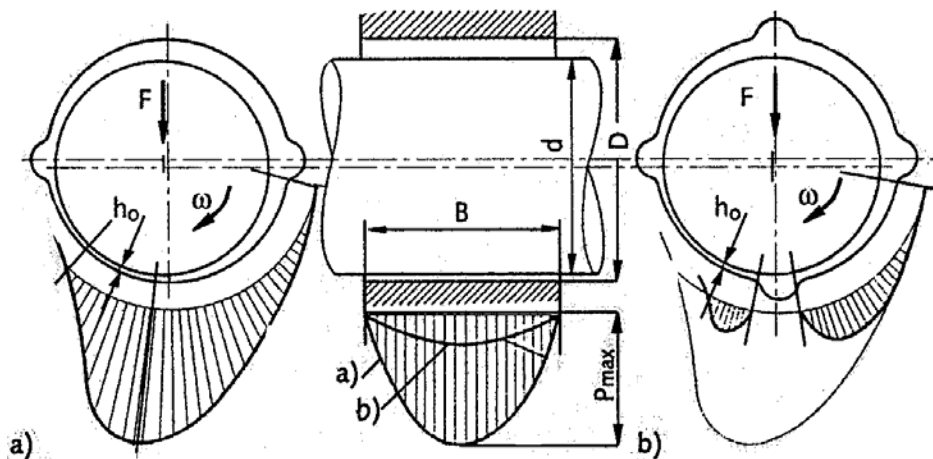


**OBR. 52** Různá provedení mazacích kapes

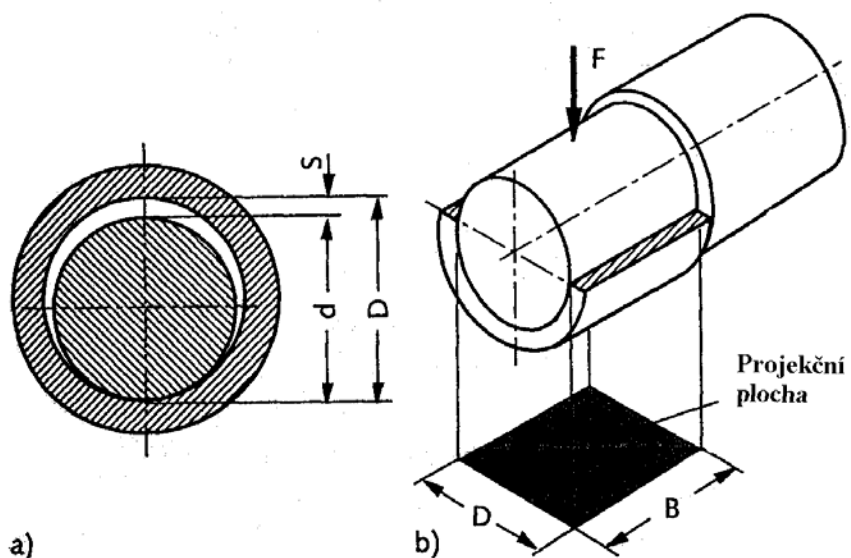
Je určitě zřejmé a mělo by být logické, že správná funkce kluzného ložiska je podmíněna vytvořením mazacího filmu. Na obr. 53 je zobrazen průběh hydrodynamického tlaku v radiálním kluzném ložisku s různým umístěním mazacích drážek. Z daného obrázku je nutné mít na paměti, že mazací drážky nesmí být umístěny v zatížené zóně kluzného ložiska (obr. 53 ad. b), neboť je nesprávný průběh hydrodynamického tlaku, nýbrž v nezatížené zóně (obr. 53 ad. a). Daný obrázek

jednoznačně ukazuje, že na obr. 53 a, se po namazání klín (vlastně klínová vrstva) zmenšuje a tlak zvyšuje, tzn. správný princip hydrodynamického mazání (obr. 29), resp. vytvoříme dostatečný tlak v mazací vrstvě. Obr. 54 pak ukazuje všeobecně známý obrázek, který lze použít k základním výpočtům kluzného ložiska, tzn.

- pro měrný tlak  $p_m = \frac{F}{D \cdot B}$
- pro kluznou rychlost  $v = \pi \cdot D \cdot n$
- pro úhlovou rychlost  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$
  
- pro součin  $p_m \cdot v$ , který se používá jako, jedna z charakteristik kluzných materiálů (další je dovolený tlak a dovolená teplota).



**OBR. 53** Průběh hydrodynamického tlaku v radiálním kluzném ložisku  
a – správný průběh tlaku v mazací vrstvě  
b – nesprávný průběh tlaku v mazací vrstvě



**OBR. 54** Princip radiálního kluzného ložiska  
a – absolutní ložiskové vůle, b – zatížená projekční plocha

- pro relativní ložiskovou vůli  $\psi = \frac{S}{D}$  při  $\psi = (D - d)/D$ , kde S – absolutní ložisková vůle
- pro třecí výkon  $P_R = F \cdot \mu \cdot v$ , kde  $\mu$  součinitel tření (blíže k jeho velikosti v tab. č. 4.)

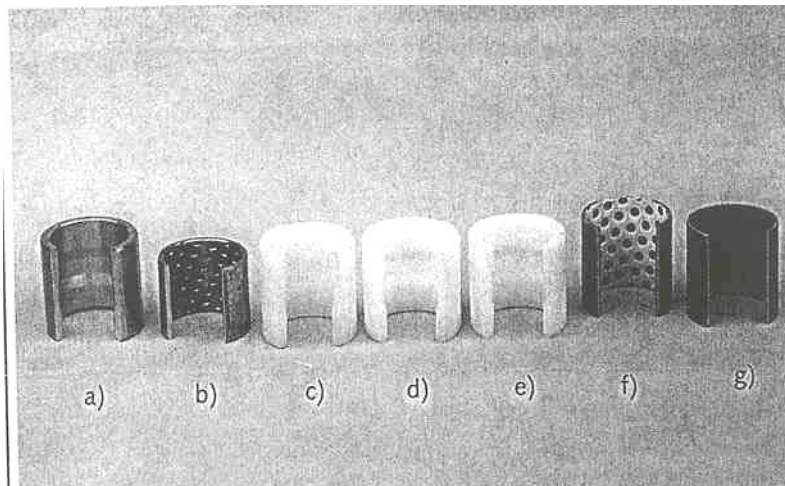
#### TABULKA Č. 4

##### SOUČINITEL TŘENÍ A DOPORUČENÍ K MAZÁNÍ

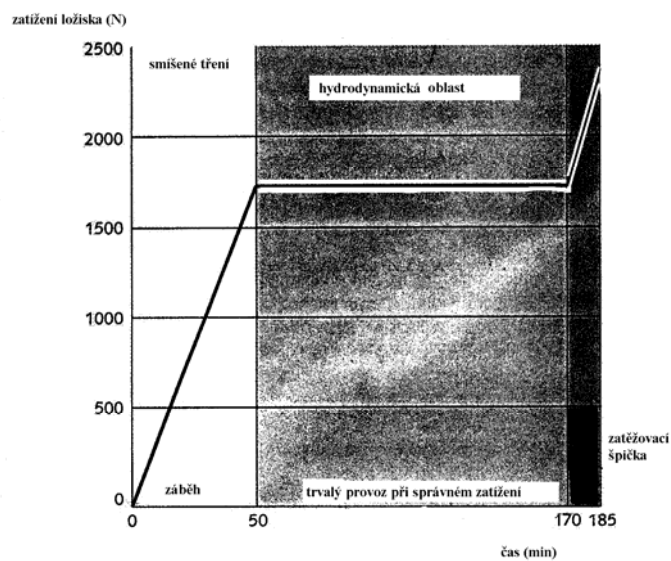
Ložisko a mazivo		Materiál ložiska	Střední hodnota součinitele tření $\mu$		
			tření při rozběhu	smíšené tření	kapalné tření
RADIÁLNÍ LOŽISKA	Plastické mazivo	Bronz, červená bronz, šedá litina	0,12	0,05 ... 0,1	0,008 ... 0,010
	Olej	Bronz, červená bronz, šedá litina	0,14	0,02 ... 0,1	0,003 ... 0,008
	Olej	Tvrdé olovo, bílá ložis – ková kompozice	0,24	-	0,002 ... 0,003
	Olej	Slinutý kov	0,17	0,05 ... 0,1	0,002 ... 0,014
AXIÁLNÍ LOŽISKA	Prstencové patní ložisko – plastické mazivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• šedá litina</li> <li>• červený bronz</li> <li>• bronz</li> <li>• bílá ložisková kompozice</li> </ul>	0,15	0,05 ... 0,1	-
	Olej		0,25	0,03	-
	Olej				
	Segmentové ložisko	Bílá ložisková kompozice	0,25	0,02	0,002

v [m . s <sup>-1</sup> ]	Druh maziva
... 0,7	Pevné (tuhé) mazivo, grafit, molybdenosulfid, AF – Coating (anti – třecí povrchová úprava)
0,4 ... 2	Plastické mazivo, molybdenosulfid
0,5 ... 10	Motorový nebo strojní olej
10 ... 30	Turbinový nebo vřetenový olej
> 30	Vřetenový olej, voda nebo vzduch

Na obr. 55 nalezneme příklady různých druhů kluzných ložisek s různým řešením formy mazání a na obr. 56 pak výsledek zkoušek kluzných ložisek [5].

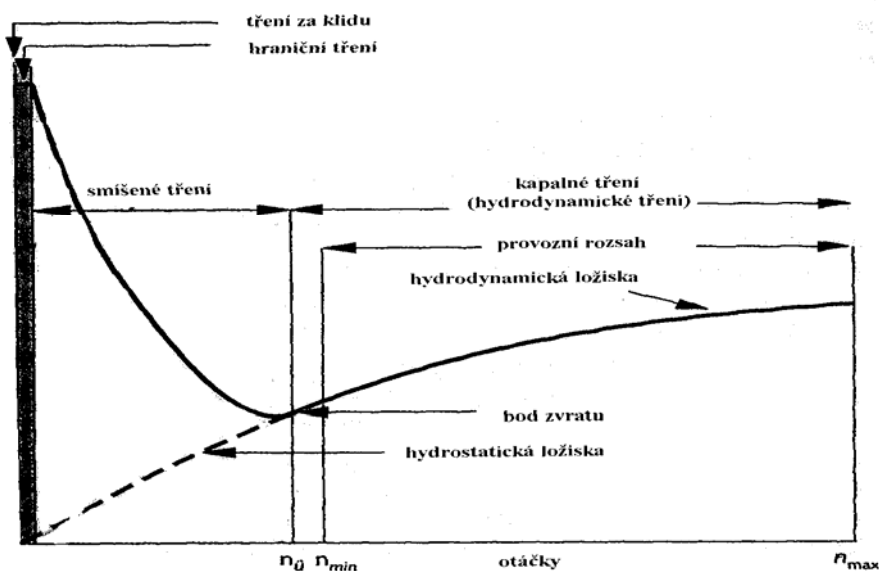


**OBR. 55** Různé druhy kluzných ložisek s různými mazacími drážkami a kapsami. a – masivní kluzné ložisko s kruhovou mazací drážkou, soustružené (materiál CuZn40 Al2), b – kluzné pouzdro s mazacími kapsami, válcované (materiál CuSn8), c, d, e – masivní kluzné ložisko s mazací drážkou, soustružené (materiál PE, POM, PA66 – umělé hmoty), f, g – dvoumateriálové kluzné pouzdro s kovovým vnitřkem a mazacími kapsami, válcované (teplotní rozsah  $-40$  až  $+130^{\circ}\text{C}$  a  $-150$  až  $+250^{\circ}\text{C}$ )



**OBR. 56** Průběh zkušební metody u kluzných ložisek při zkouškách

Na obr. 57 je uveden průběh Stribeckova diagramu pro kluzná ložiska včetně označení druhu mazání, tření.



**OBR. 57** Průběh Stribeckova diagramu pro kluzná ložiska

## 2. Valivá ložiska

Cestou ke snižování odporů při pohybu je nahrazování kluzného tření valivým, takže používáme valivá ložiska, valivá vedení, kuličkový šroub (např. výsuv kolesového rypadla KU 300) apod. Kontakt nastává na velmi malé ploše, tzn. při zatěžování dochází ke koncentraci napětí, což se projevuje deformací drah a valivých momentů, vznikají tečné síly a dochází k prokluzu. Výchozím bodem spolehlivého provozu je správná montáž a zamezení přístupu všech nečistot do ložiska, pak dosahujeme součinitelů tření uvedených v tab. č. 5.

### TABULKA Č. 5

SOUČINITELE TŘENÍ VALIVÝCH LOŽISEK [24]

Ložisko	$\mu$
dvouřadé naklápěcí kuličkové	0,0010
válečkové	0,0011
axiální kuličkové	0,0013
jednořadé radiální kuličkové	0,0015
kuželíkové a dvouřadé nakláp. Soudečkové	0,0018
jehlové	0,0045

Valivá ložiska se za normálních okolností mažou plastickým mazivem nebo olejem, ve zvláštních vyjimečných případech se používá i pevné mazivo. Plastické mazivo se volí pro mazání ložisek pracujících při normálních otáčkách a teplotách, má oproti olejům jednodušší a levnější konstrukci mazacího prostoru, vyšší přilnavost, lepší ochranu proti vlivu okolí, ale musí se domazávat v daných intervalech.

Mazání olejem je vhodné pokud otáčky nebo provozní podmínky nepřipouštějí mazání plastickým mazivem a jestliže je nutné z ložiska odvádět teplo, tzn. není možné zatopení ložiska olejem, nýbrž průtok. Je samozřejmostí jeho nasazení u převodovek apod.

Pro úvahu o výběru maziva jsou nejdůležitějšími vlivy :

- typ stroje
- typ a velikost ložiska
- provozní teplota
- provozní zatížení ložiska
- provozní podmínky (např. vibrace, svislá nebo vodorovná poloha apod.)
- chlazení
- účinnost těsnění
- okolní vlivy

Pro správnou funkci valivého ložiska z pohledu maziva je velmi důležitá jeho čistota. Při volbě nám může pomoci i tzv. mez mazání plastickým mazivem.

$$d_s \cdot n = 300\,000$$

kde  $d_s$  – střední průměr ložiska [mm]  
 $n$  – otáčky ložiska [ $\text{min}^{-1}$ ]

Z pohledu výpočtu životnosti ložiska a vlivu mazání se používá tzv. modifikovaná životnost

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L$$

kde  $L$  – nominální životnost [h]

$a_1$  – faktor pravděpodobné spolehlivosti (0,2 – 1)  $\Rightarrow$  90 % = 1

$a_{23}$  – faktor maziva, materiálu a provozních podmínek (obr. 58)

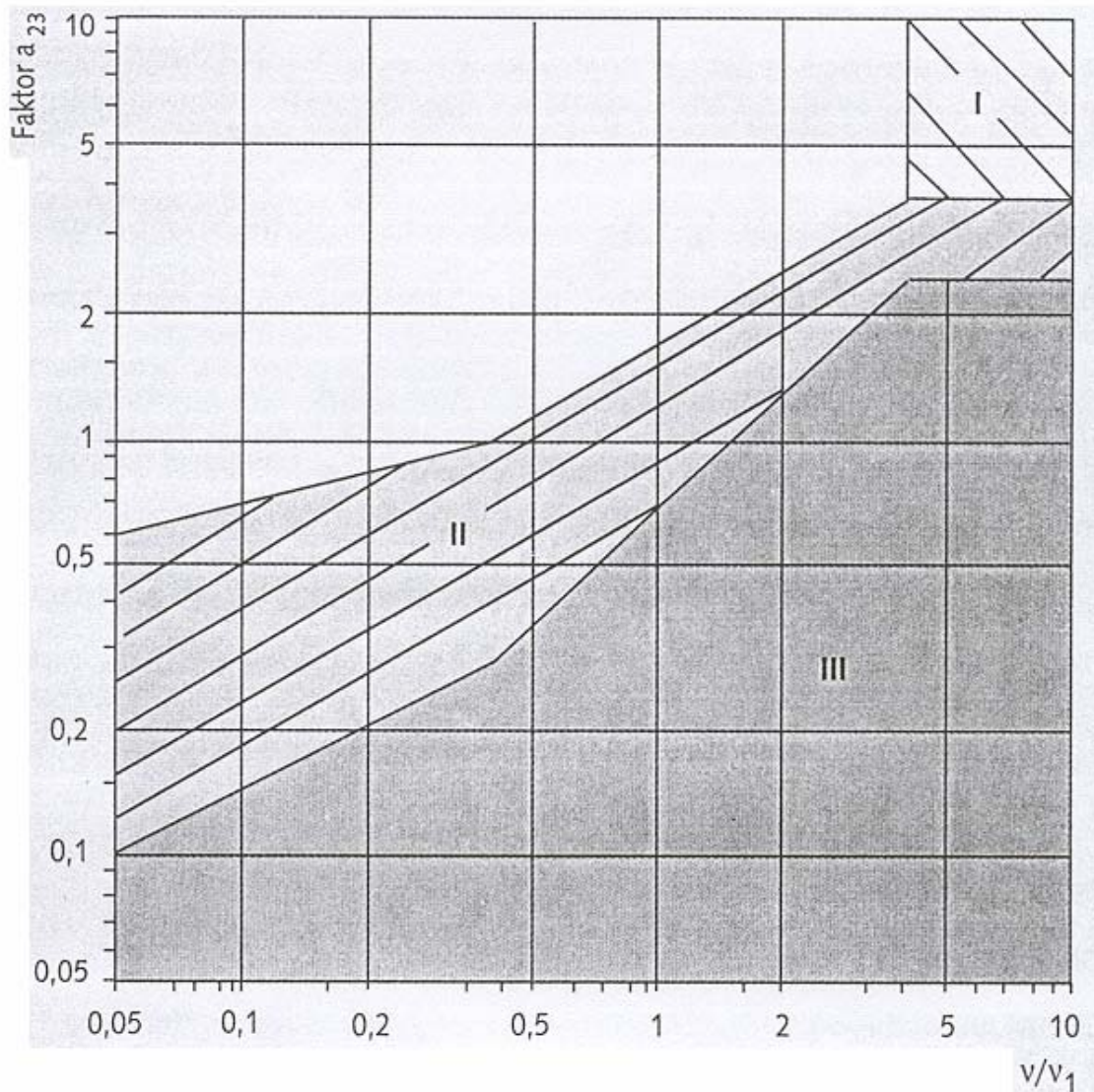
a dosti často se ještě setkáme při provozní teplotě ( $> 150^\circ\text{C}$ ) s faktorem vlivu teploty  $f_t$  (tabulka č. 6)

## TABULKA Č. 6

### FAKTOR VLIVU TEPLoty

Provozní teplota [ $^\circ\text{C}$ ]	Faktor vlivu teploty $f_t$
150	1
200	0,73
250	0,42
300	0,22





**OBR. 58 A)** Diagram k určení  $a_{23}$

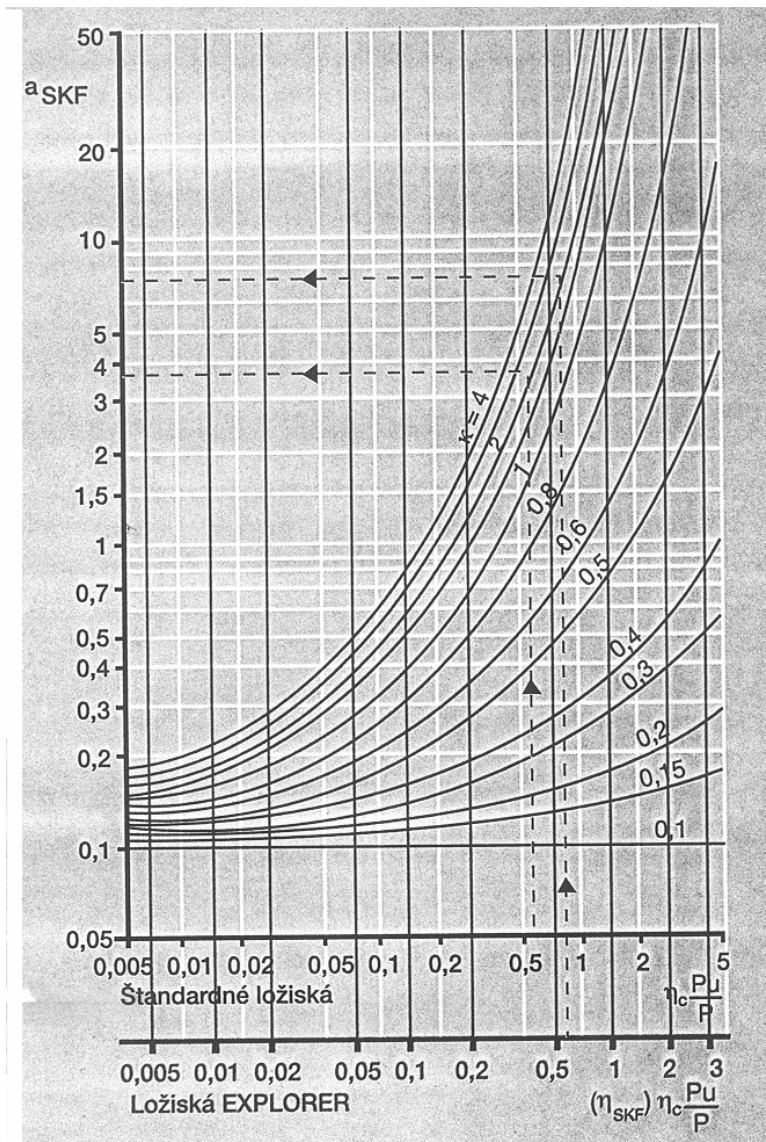
I – Přechod k mezi únavy. Předpoklad – nejvyšší čistota v mazací mezeře a ne vysoké zatížení

II – Dobrá čistota v mazací mezeře, odpovídající aditiva v mazivu

III. Nepříznivé provozní podmínky, nečistoty v mazivu a znečištěné mazivo

$v$  - provozní kinematická viskozita maziva

$v_1$  - vstupní kinematická viskozita maziva (nové mazivo)



**OBR. 58 B)** Určení velikosti součinitele  $a_{SKF}$  pro radiální ložiska s přímkovým stykem (SKF). Pokud je  $\kappa > 4$  používá se křivka pro  $\chi = 4$ . Vzhledem k faktu, že  $\eta_c(P_u/P)$  se blíží nule –  $a_{SKF}$  se blíží 0,1 pro všechny hodnoty  $\kappa$ .

Jestliže provozní kinematická viskozita je rovna kinematické viskozitě vstupní ( $\nu = \nu_1$ ), mazivo není znečištěné, tak  $a_{23} = 1$  a pro oblast I (obr. 58 A) se setkáme s optimalizací velikosti  $a_{23}$  podle daných pravidel [5].

Jeden z největších výrobců valivých ložisek, firma SKF ve své teorii výpočtu životnosti uvádí svým způsobem obdobou teorii výpočtu modifikované životnosti valivých ložisek.

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{SKF} \cdot L_{10}$$

kde platí

$L_{10}$  – základní životnost, miliony otáček

$a_1$  – součinitel spolehlivosti, stejná velikost jako již uvedeno (0,21 – 1) a při 90% spolehlivosti je 1

$a_{SKF}$  – součinitel tzn. nové teorie životnosti

Součinitel  $a_{SKF}$  podle této teorie představuje velmi složitý vztah několika faktorů včetně znečištění a mazání, které ovlivňuje životnost. Mazání zde vyjadřuje také viskozitní poměr  $\chi$  (obr. 58 B) a velikost  $a_{SKF}$  je uváděna v závislosti na  $\eta_c (P_u/P)$  a již zmíněném  $\chi$  (obr. 58 B), kde  $P$  – ekvivalentní dynamické zatížení [N] a  $P_u$  – mezní únavové zatížení [N.]

Vzhledem k tomu, že špatné mazání vede ke snížení trvanlivosti u valivých ložisek, ale toto lze říci také o přemazaných ložiskách, tak nyní stručně k užití základních druhů maziv u valivých ložisek.

#### □ Mazání plastickým mazivem

Už je nám známo, že plastické mazivo má olejovou složku a zpevňovadlo (zahušťovadlo). Zpevňující látka je tvořena mřížkou vláken mýdla, které slouží jako zásobník mazacího oleje. Takže čerstvě namazané ložisko při zabíhání ukládá plastické mazivo do volných prostorů v ložisku a jeho blízkosti, následně spíše teplota než mechanické namáhání způsobuje vylučování oleje a jeho přivádění k valivým a kluzným plochám.

K nejvýznamnějším vlastnostem patří konzistence, stupeň tuhosti plastického maziva. Konzistence se klasifikuje podle stupnice NLGI (National Lubricating Grease Institut) a zjišťuje se tzv. penetrační zkouškou (vniknutí normalizovaného kužele do plastického maziva). Pro mazání valivých ložisek se používá konzistence NLGI 2, někdy i NLGI 3. NLGI 1 a 0 se používají při extrémně nízkých teplotách a u centrálního automatického mazání. Musíme si uvědomit, že mimo snížení tření musí plastické mazivo plnit také funkci ochrany proti korozi, mechanické stability (nesmí mít sklon k měknutí při mechanickém namáhání) a funkci těsnící. Nikdy nesmíme mísit neslučitelná plastická maziva, zásadně ne s rozdílnými zahušťovadly, tzn. neznáme-li původní musíme před domazáním jej odstranit.

Ložiska zcela zaplníme mazivem, ale volný prostor v tělese jen částečně (mezi 30 – 50%). Některé druhy umožňují (lithná) naplnění až z 90% bez nebezpečí zvýšení teploty. Domazávací interval je otázkou řady faktorů (obr. 59), ale také je nutno zohlednit rychlost znečišťování plastického maziva a vliv pracovního prostředí (vlhkost, teplota apod.). Pro domazávací množství plastického maziva se používá vztah [23].

$$G_a = 0,005 D \cdot B \text{ [g]}$$

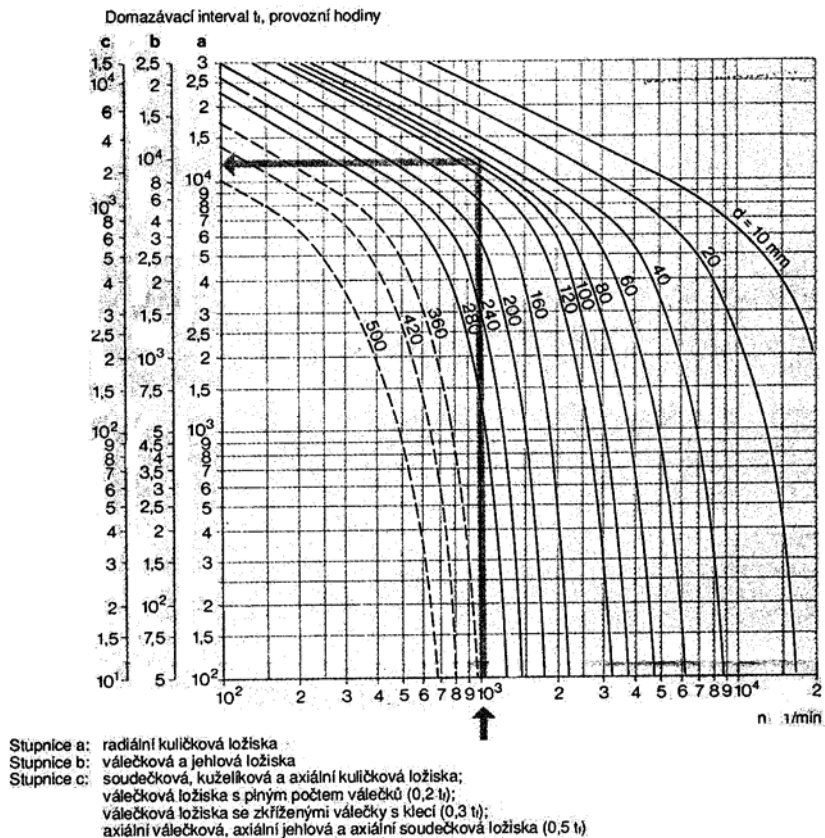
kde  $D$  – vnější průměr ložiska [mm]

$B$  – šířka ložiska [mm], u axiálních výška

Starší lit. [10] uvádí (0,01 ÷ 0,005).

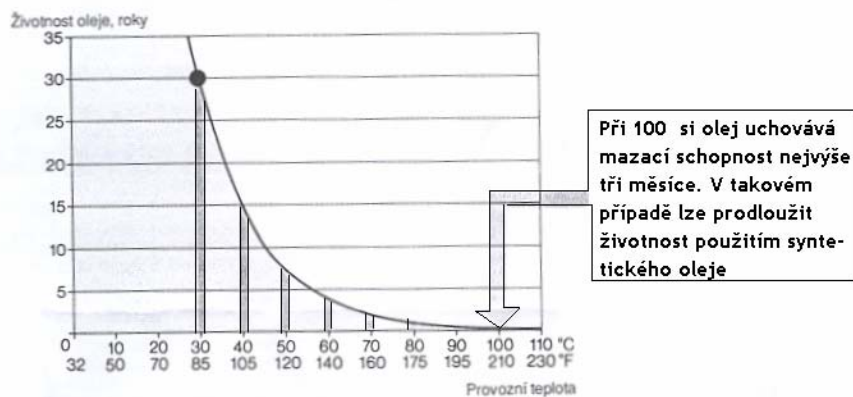
## □ Mazání olejem

Oleji se dává přednost, kdy nelze především z technických, nebo ekonomických použít plastické mazivo. Přísady zlepšují vlastnosti a přísady druhu EP (Extreme Pressure) zvyšují únosnost mazacího filmu. Pro životnost ropného oleje se jako základní pravidlo uvádí hodnota 30 roků při 30°C a 15 roků při 40°C (obr. 60), takže pro teploty vyšší než 100°C se musí použít oleje syntetické. Olej se volí na základě viskozity potřebné pro zajištění dostatečného mazání za daných provozních podmínek.



OBR. 59

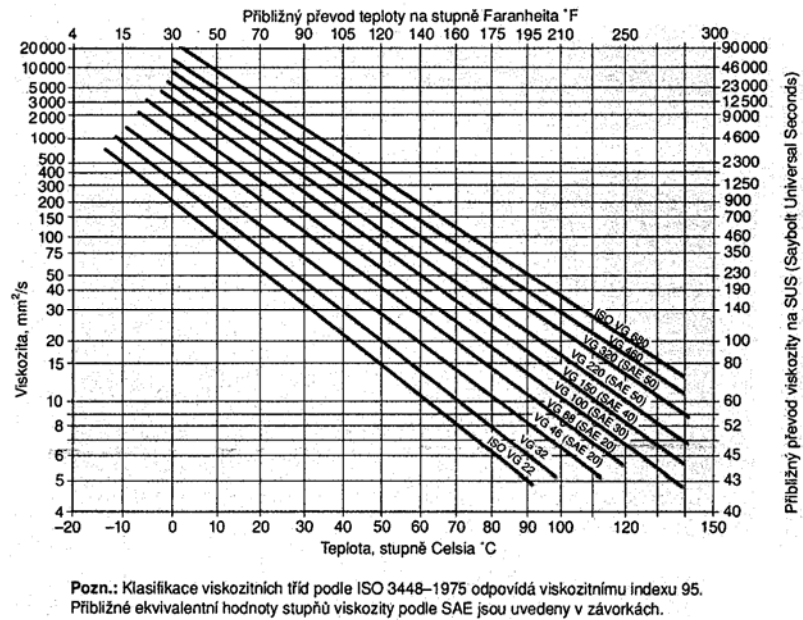
Určení domazávacího intervalu



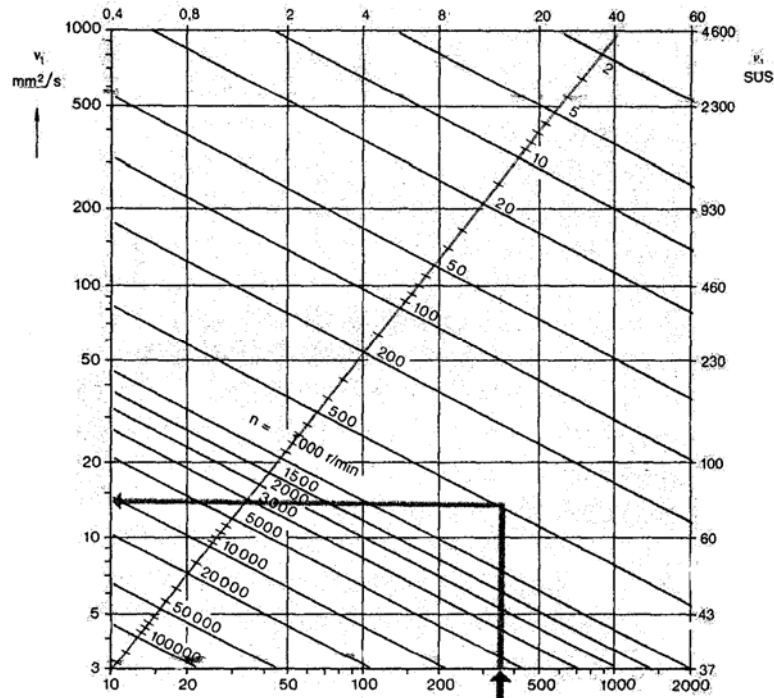
OBR.60

Křivka životnosti ropného oleje

Už je nám známo, že viskozitu ovlivňuje teplota a teplotní závislost se vyjadřuje viskozitním indexem (VI). Pro mazání valivých ložisek se používají oleje s VI 85 nebo vyšším, takže platí diagram závislosti viskozity na teplotě – obr. 61, což ve spojení s diagramem na obr. 62 nám dá komplexní obraz o volbě oleje k mazání valivého ložiska.



**OBR. 61** Diagram závislosti viskozity na teplotu



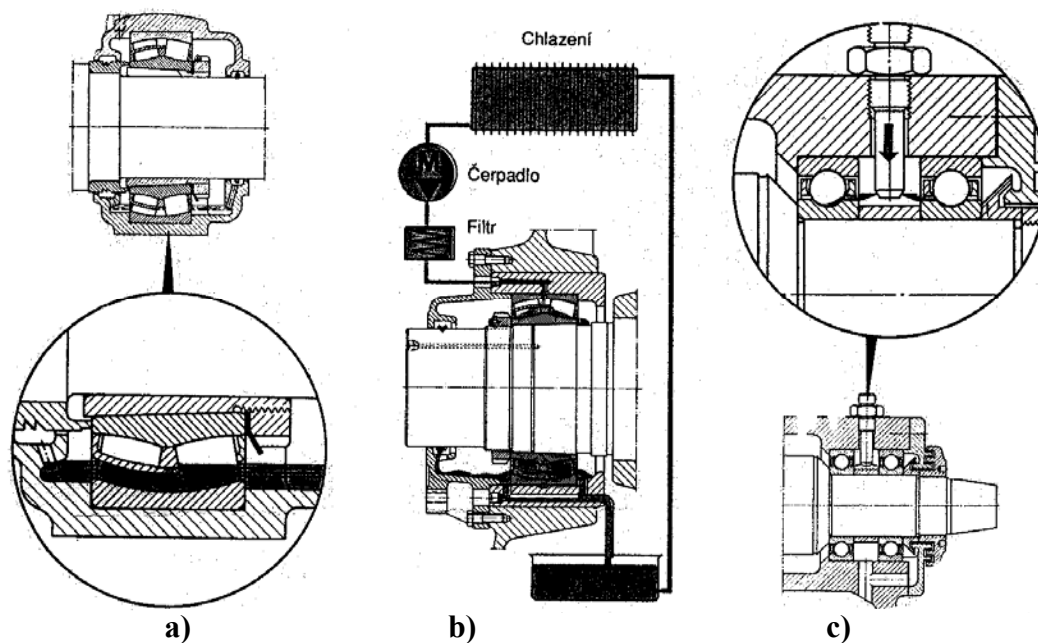
**OBR. 62** Diagram volby oleje pro valivé ložisko

Interval výměny oleje se dnes řídí tribodiagnostickými metodami (kap. 4), resp. metodami určujícími degradaci (kvalitu) oleje.

Jestliže je uložení valivého ložiska citlivé na teplo, lze na chlazení a mazání použít velké množství oleje, který sice bude odvádět teplo, ale zase poněkud zvýší tření, takže je nám určitě zřejmé, že existuje celá řada konstrukčních řešení provedení mazání. Jako vodítko pro volbu mazacího systému při mazání olejem u valivých ložisek se používá součin

$$n \cdot d_s [\text{min}^{-1}] \cdot [\text{mm}]$$

	$n \cdot d_s$
- olejová lázeň	100 000
- samočinné oběhové mazání	400 000
- zesílené oběhové mazání	750 000
- kapací mazání	500 000
- olejovou mlhou	1 500 000 a více
- vstříkovací	1 500 000 a více



**OBR. 63** Druhy mazacích systémů valivých ložisek  
 a – olejovou lázní, b – oběhové mazání, c – vstříkovací mazání

Tři základní druhy jsou uvedeny na obr. 63, o nichž lze stručně uvést :

- mazání olejovou lázní – je nejjednodušší způsob mazání, vhodný zejména pro mazání ložisek s malými otáčkami. Je-li ložisko v klidu hladina oleje by měla sahat pod střed nejspodnějšího valivého tělesa. Při provozu je olej nabírán pohyblivými částmi ložiska, je rozváděn v ložisku a ztéká zpět do olejové lázně.
- oběhové mazání – pro vyšší teplotu. Oběhové mazání snižuje stárnutí, prodlužuje interval výměny, neboť se používá větší množství oleje, olej je filtrován a také ochlazován
- vstříkovací mazání – vysoké otáčky mohou způsobit vytlačování oleje z ložiska, místo jeho protékáním. Takže vstříkování rychlosti alespoň  $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  zajistí, aby

dostatečné množství oleje proniklo do ložiska přes vzduchové víry vznikající rotací ložiska.

### 3. Těsnění

U těsnění musíme rozlišit jeho použití v konstrukci stroje a provozní nasazení. V zásadě rozlišujeme utěsnění ploch (nádoby, spoje potrubí apod.) a těsnění rotujících částí a těsnění hydraulických a vzduchových obvodů apod. Na vlastní volbu druhu těsnění tedy působí celá řada vlivů.

Nás z pohledu této kapitoly zajímá těsnění rotujících částí. Existují dva základní typy těsnění valivého ložiska – bezdotykové (spárové nebo labyrintové) a kontaktní (třecí a další). Účinnost bezdotykového těsnění závisí na těsnícím účinku úzké spáry a účinnost třecího těsnění závisí na rovnoměrnosti tlaku v těsnící stykové ploše a je určitě zřejmé, že účinnost ovlivňuje životnost valivého ložiska.

Třecí těsnění musí být navrženo tak, aby unikalo velmi malé množství maziva k mazání těsnící dotykové plochy. Teď už je určitě zřejmé, že třecí těsnění se běžně nazývá Gufero (pružný kroužek).

Těsnění musí chránit ložisko i mazivo proti vnějšímu prostředí, aby nečistoty a vlhkost nemohly vniknout do ložiska a tak zapříčinit poškození. Těsnění musí také bránit úniku maziva z ložiska. Nikdy nesmíme provozovat ložisko s poškozeným nebo neúčinným těsněním.

Je určitě zřejmé, že umístění třecí plochy (tzn. uložení gufera z jedné nebo druhé strany) rozhoduje o prioritě funkce, resp. brání vniknutí dovnitř nebo uniknutí ven, takže se lze setkat s uložení gufery proti sobě.

#### 3.1.3. Ozubení

Z pohledu kinematických poměrů při záběru ozubených kol, které rozhodují o třecích poměrech a tím i o požadavcích na materiál, dělíme ozubená soukolí do dvou základních skupin – valivá soukolí (čelní, kuželová atd.) a šroubová soukolí (šneková, hypoidní atd.). Je určitě logické, že životnosti (trvanlivosti) ozubených soukolí je nutno věnovat mimořádnou pozornost, která začíná při konstrukci a pokračuje přes výrobu až po provoz a proto nelze opomenout mazání, které ve značné míře rozhoduje o opotřebení povrchů boků, o bezpečnosti proti zadírání a tlumení hluku, o mechanických ztrátách atd.

O druhu maziva k mazání ozubených soukolí ve své podstatě rozhodují základní podmínky jako u ložisek, tj. rychlost, tlak, teplota, způsob mazání a vliv prostředí, ale je nutno si uvědomit že tribologické poměry v zóně styku (rychlost skluzu a měrné tlaky mezi boky zubů) jsou nesmírně složité tzn. běžně nezjistitelné a ne plně probádané. Při volbě maziva se pak řídíme druhem převodu, materiálem zubů a obvodovou rychlostí. Podle DIN 51 509 (Auswahl von Schmierstoffen für Zahnradgetriebe) rozeznáváme :

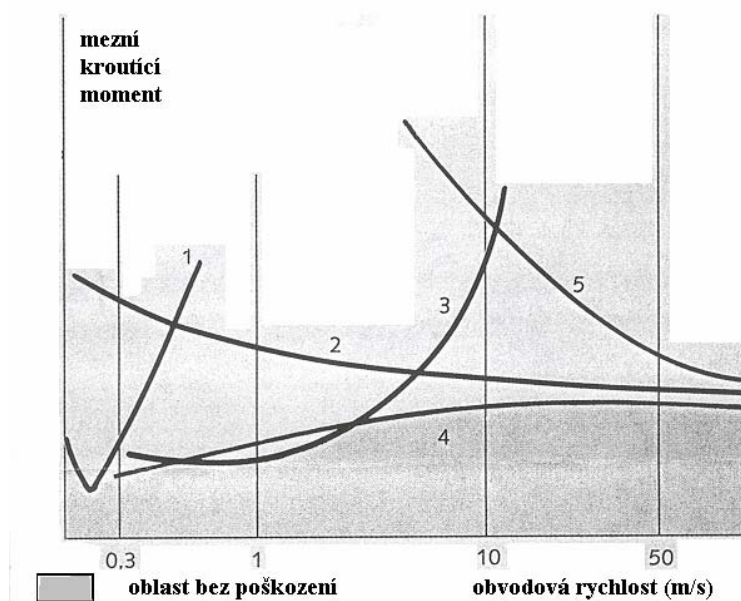
- obvodová rychlost do  $2 \text{ m.s}^{-1}$  – otevřené velké nenáročné převody, tzn. nasazení velmi přílnavého maziva, většinou s ručním mazáním
- obvodová rychlost do  $4 \text{ m.s}^{-1}$  – plastické mazivo a mazání broděním, resp. rozstříkové (olej v převodovkách)
- obvodová rychlost do  $15 \text{ m.s}^{-1}$ , mazání olejem a broděním resp. rozstříkové
- obvodová rychlost nad  $15 \text{ m.s}^{-1}$ , mazání olejem, oběhové se vstříkem do mazaných míst, resp. záběru, nebo olejová mlha, cílem je samozřejmě vytvoření

dostatečné mazací vrstvy, ale zase velmi silná mazací vrstva vede ke kavitacnímu opotřebení spárovou kavitací.

Obecně pro převodová maziva jsou důležité tyto vlastnosti :

- 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

Viskozita maziva se určuje tak, aby postihla maximum mnohdy protichůdných požadavků. Následující obrázky nám určitě pomohou se zorientovat v dané problematice. Na úvod uvádíme obr. 64, meze únosné schopnosti (Winter, H. – Michaelis, K: Getriebentwicklung und Smierstoffe. Tribologie und Schmierungstechnik 35/1988, s. 63 – 68) ozubených převodů.



**OBR. 64** Meze únosné schopnosti ozubení z jakostní oceli  
 1 – mez opotřebení na otěr, 2 – mez pevnosti zubu, 3 – mez opotřebení přetížením, 4 – mez vzniku pittingu (důlkování), 5 – mez zadírání za tepla.

Tabulka č. 7 pak ukazuje vliv vlastností maziva na zvýšení schopností třecí dvojice [5].



Z pohledu specifického zatížení a obvodové rychlosti lze podle již citované normy DIN 51 509 použít závislosti na obr. 65, která respektuje zařazení maziv dle ISO norem, kde faktor síly a rychlosti  $k_v$  se určí ze vztahu :

$$k_v = \frac{k_s}{v}, \quad \text{kde } v \text{ je obvodová rychlost a } k_s \text{ je Stribeckův koeficient}$$

valivého tlaku

$$k_s = \frac{F_t}{b \cdot d} \cdot \frac{n+1}{n} \cdot (Z_H^2 \cdot Z_e^2)$$

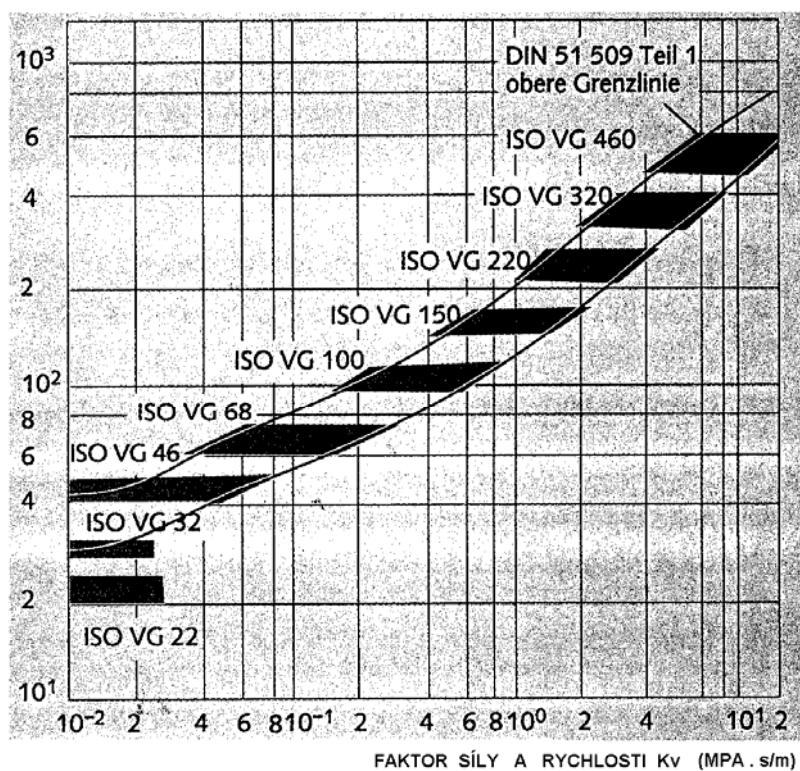
kde  $b$  – šířka ozubení

$d$  – roztečný průměr ozubeného kola (průměr valení)

$F_t$  – obvodová síla

$n$  – poměr počtu zubů  $Z_1/Z_2$  a  $(Z_H^2 \cdot Z_e^2) = 3$  pro postačující přesnost výpočtu ( $Z_H$  – faktor tvaru boku zubu,  $Z_e$  – faktor záběru zubů – respektuje překrytí a trvání záběru). Asi největší vypovídací schopnost má obr. 67, který je převzat z Niemann, G. – Winter, H.: Maschinenelemente. Bd.II Getriebe, Springer Verlag Berlin 1983 a ukazuje celou řadu dalších konstrukčních vlivů (druh ozubení, velikost převodu atd.)

KINEMATICKÁ VIZKOZITA  $\nu$  PŘI 40° C



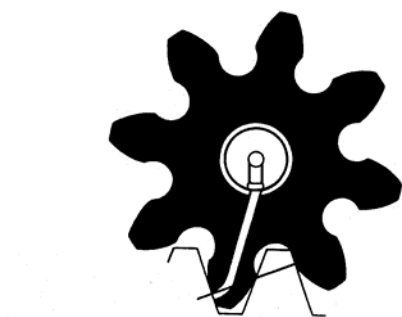
**OBR. 65** Diagram k určení viskozity pro přímé a kuželové ozubení podle DIN 51 509

## TABULKA Č. 7

### VLIV VLASTNOSTÍ MAZIVA NA ZVÝŠENÍ SCHOPNOSTI TŘECÍ DVOJICE OZUBENÍ

VLIV NA ZADÍRÁNÍ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aditiva na extrémní tlaky</li> <li>- zvýšení jmenovité viskozity neaditovaného oleje</li> <li>- zvýšení jmenovité viskozity aditovaného oleje</li> </ul>	400 %  50%  15%
VLIV NA PITTING (DŮLKOVÁNÍ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zvýšení jmenovité viskozity u ozubení povrchově zušlechtěných</li> <li>- zvýšení jmenovité viskozity u ozubení povrchově cementovaných</li> <li>- syntetický olej u ozubení povrchově zušlechtěných</li> <li>- syntetický olej u ozubení povrchově cementovaných</li> </ul>	10%  5%  100%  30%
VLIV NA OPOTŘEBENÍ PŘETÍŽENÍM	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zvýšení provozní viskozity</li> <li>- koeficient tření</li> <li>- aditiva na extrémní tlaky</li> <li>- aditiva na vyšší obvodové rychlosti</li> <li>- snížení teploty maziva (22°C)</li> </ul>	100% 70% 170% 30% 25%
VLIV NA RYCHLOST OPOTŘEBENÍ OTĚREM	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zvýšení jmenovité viskozity</li> <li>- aditiva</li> <li>- mazat resp. nemazat</li> </ul>	200% 0 – 200% 1900%

Určitě zajímavé řešení mazání ozubených kol je na obr. 66, které je převzato z lit. [33] a nese označení mazací přípravek NV – K na mazání ozubených kol. Mazacím přípravkem NV-K na mazání ozubených kol se na funkčních plochách ozubení vytváří bezvadný film. Toto je umožněno řízenou dávkou mazací látky na funkční plochy boku zubů. Pro každý tvar ozubení, modul, počet zubů atd. je dodáván příslušný tvar přípravku NV-K. Přípravek se umísťuje do ozubení jako vložené kolo. Mazivo přiváděné axiálně do přípravku je radiálními kanály rozváděno na mazaná místa. Dodávání maziva do přístroje NV-K se provádí způsobem dle požadavku.

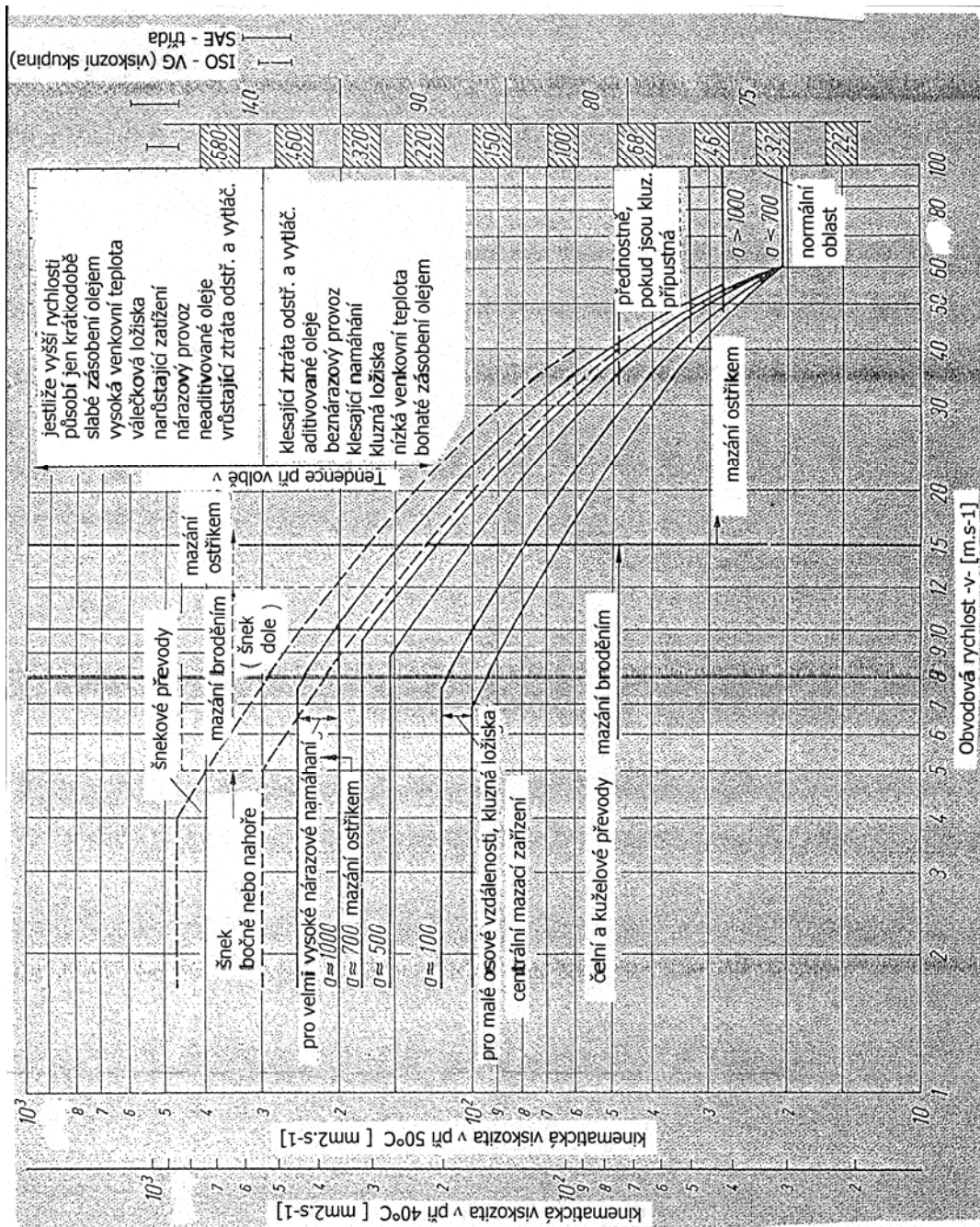


**OBR. 66** Mazání ozubených kol NV-K pro tekutý tuk/tuk [33]

### 3.1.4 Řetězy, ocelová lana, brzdy a spojky

#### □ Řetězy

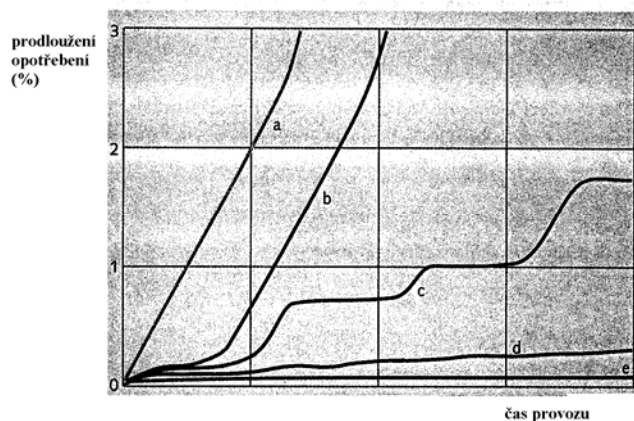
Z hlediska mazání jsou všechny druhy kloubových řetězů prakticky rovnocenné, což je dáno jejich konstrukcí a kinematikou pohybu. Mezi destičkami na čepech a pouzdrech dochází ke smykovému tření za poměrně nepříznivých, malých kluzných rychlostí a nedokonalé možnosti přístupu maziva. K uvedenému je nutno přičíst tření čepů, pouzder, resp. válečků atd. Seběmenší opotřebením vede v první řadě ke změně roztečí, protahování řetězů, tzn. snižování účinnosti mazání apod., a to vše probíhá při dosti vysokém zatížení měrným tlakem.



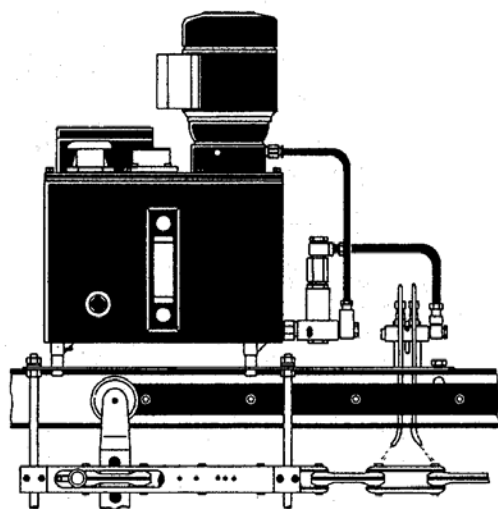
**OBR. 67** Určení viskozity pro ozubené převody a ostatní převody s broušenými boky zubů

K vlastnímu mazání se téměř výhradně používá olejů z důvodů zatékání do špatně přístupných míst mezi články a čepy nebo pouzdry. Volíme oleje vyšší viskozity a přilnavosti s aditivy na extrémní (vysoké) tlaky, což si vynucují malé relativní kluzné rychlosti. O viskozitě oleje rozhoduje rychlost řetězu a teplota prostředí. Mazacími tuky mažeme jen pomaluběžné řetězy, jejichž čepy mají hlavice k promazání mazacím lisem.

Obr. 68 nám ukazuje závislost času nasazení na opotřebení, tzn. jeho snížení resp. prodloužení životnosti z pohledu mazání. Na obr. 69 a obr. 70 je ukázka řešení mazání řetězů z lit. [33].



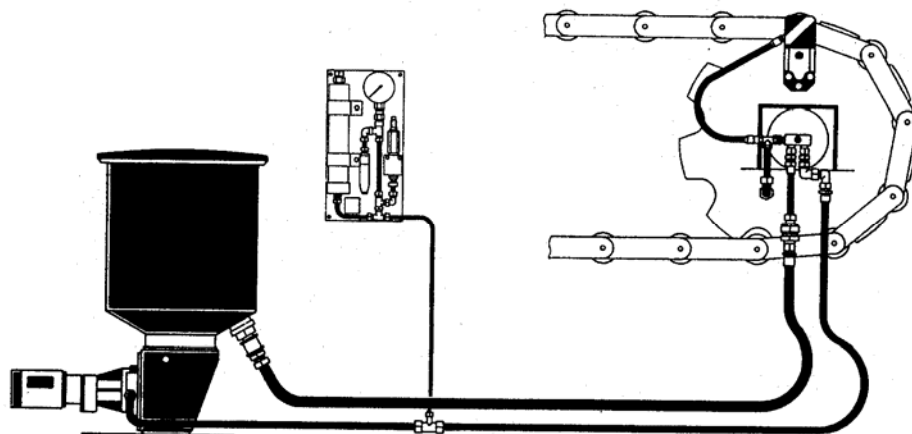
**OBR. 68** Závislost opotřebení na mazání a čase provozu  
a – provoz bez maziv (nasucho), b – jediné namazání (bez domazávání v provozu), c – částečný provoz bez maziva (dlouhý čas mezi domazáváním, resp. namazáním), d – nedostačující mazání, e – dostačující mazání



**OBR. 69** Mazání řetězů WS-E (olej) [33]

System WS-E se používá k dávkování malých množství mazacího oleje do mazacích míst (čepy, klouby, kladky, závěsy atd.), řetězů (poháněcích i pracovních) bez

použití tlakového vzduchu. Zařízením WS-E je možno zásobovat až cca 12 různých mazacích míst vzdálených do cca 10 metrů. Předností tohoto systému je malé dodávané množství oleje ( $0,01\text{cm}^3$ ) pro jedno mazací místo a v širokém rozsahu nastavitelný automatický režim. Systém je vhodný i pro technologické mazání na montážních linkách. Systém s podobnými parametry, ale s pneumatickým pohonem se dodává pod označením WS-P.



**OBR. 70** Mazání řetězů RK-C (olej/tekutý tuk/tuk) [33]

Systém RK-C je určen pro dopravu mazací látky do pohyblivých mazacích míst dopravních zařízení (např. deskové pásy), která jsou opatřena mazacími hlavicemi. Tento systém zabezpečuje kontinuální a automatické mazání bez použití většího počtu pohyblivých částí. Mazacími hlavicemi jsou přes řízené rotační šoupátko mazány čepy během pohybu na řetězovém kole.

#### □ Ocelová lana

Použití maziva resp. mazadel má následující základní význam :

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

Mazadla jsou zásadně dvojího druhu :

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

Oba druhy mazadel se musí snášet. Domazávání za provozu je pouze vnější, domazávají se i pozinkovaná lana.

Vlastnosti mazadel ocelových lan :

- dostatečná pevnost mazacího filmu
- mazadlo se nesmí dát odstranit vodou ani dalšími kapalinami způsobující korozi
- mazadlo musí mít ochranný účinek i na textilní vložku
- mazací film musí být stálý za vyšších teplot a odolný vůči povětrnostním vlivům

- mazací film se nesmí odlupovat, praskat za nižších teplot
- mazadlo nesmí obsahovat jakékoliv agresivní látky
- vnitřní mazadlo nesmí být rozpouštědlem vnějšího (vždy se vnitřní trochu vytlačuje při provozu)
- do 65°C vnitřní mazadlo nesmí téci

#### □ **Brzdy**

Brzdový materiál by měl splňovat :

- 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 se následně mluví o tzv. protismykových (frikčních) materiálech, které se vyrábí tzv. spékáním (např. MoS<sub>2</sub> – Grafit – Sb (SbS<sub>4</sub>)). Takže mazání je dáno již výrobou brzdových materiálů.

Funkci brzd bezpodmínečně ovlivňuje celý brzdový systém. Např. u automobilů jsou zásadně hydraulické (kapalinové) brzdy (v podstatě hydrostatický systém), tzn. vlastnosti brzdové kapaliny ovlivňují funkci celého hydraulického brzdového systému. K zásadním vlastnostem pak patří :

- široké rozpětí pracovních teplot (-50 do 200°C i více)
- nízká viskozita (dobrá tekutost) při nízkých teplotách
- bod varu dostatečně vysoký
- nesmí být vysoce hygroskopická
- bod varu nesmí být nižší než provozní teplota kapaliny, jinak se vytváří vzduchové polštáře a mění se stlačitelnost
- dobrá stlačitelnost
- nepůsobit na těsnící materiály apod.
- nesmí vytvářet usazeniny
- oxidační stálost a korozivzdornost
- dobrá mazací schopnost a únosnost mazacího filmu
- nízká pěnivost a schopnost konzervace povrchů

#### □ **Spojky**

Volba materiálu třecích dvojic u třecích spojek závisí na : je-li spojka mazaná, nebo pracuje za sucha a následně jej ovlivňují – otáčky, frekvence spínání, odvádění tepla, moment setrvačnosti apod. Mluvíme např. o třecí dvojici :

- ocel – ocel
- ocel – osinek
- ocel – kovokeramické obložení
- mosaz – osinek

apod., např. ocel – ocel, třecí plochy se brousí (někdy i lapují), drsnost asi 0,1 μm, musí být mazané (nižší tlaky – olejová mlha, vyšší tlaky – mazání a chlazení postřikem nebo tlakovým olejem). Ocel – osinek je vhodná pro suché spojky apod.

Z pohledu tribovýkladu pak vyžadujeme konstantní koeficient tření, nízké opotřebení, ochranu proti tribokorozi.

### 3.2. Mazací soustavy a zařízení

Určitě je zřejmé z předchozích kapitol, mazání je samostatný tribologický proces významově rovnocenný s dalšími tribologickými procesy a je technicky uskutečňován mazacími soustavami a zařízeními.

Mazací soustava pak představuje souhrn zařízení pro dopravu maziva do mazaného místa. Volíme ji podle druhu maziva a samozřejmě podle provozních podmínek. Podle toho zda se mazivo do soustavy vrací nebo nevrací rozdělujeme mazací soustavy na dlouhodobé a krátkodobé. Obě mohou být beztlakové a tlakové, jednotlivé (mazání jednotlivých částí) nebo ústřední (mazání části stroje, uzlu stroje, celého stroje apod.), schéma rozdělení je v tabulce č. 8.

#### TABULKA Č. 8

##### PŘEHLED MAZACÍCH SOUSTAV

Mazací krátkodobé soustavy					
		jednotlivé		ústřední	
		přerušované	nepřerušované	přerušované	nepřerušované
beztlakové	olejové	ruční, olejnicou, stříkačkou	kapací, olejovou mlhou	-	kapací, olejovou mlhou
	tukové	ruční stěrkou, staufferkou	samočinné, pružinové, odstředivé, komorové	-	-
tlakové	olejové	ruční tlakové	mechanické tlakové	ruční tlakové	mechanické tlakové
	tukové	ruční tlakové	-	ruční tlakové	mechanické tlakové

Mazací dlouhodobé soustavy			
jednotlivé			ústřední
beztlakové	olejové	kroužkové, polštářové, kotoučové, brodicí	rozstříkové
	tukové	brodicí	brodicí
tlakové	olejové	oběhové	oběhové
	tukové	–	–

V této souvislosti považujeme za nutné připomenout, že existuje hranice tření a mazání, která výrazně ovlivňuje rozhodnutí o mazací soustavě a použitém mazacím zařízení. Tuto hranici můžeme vyčíst ze Stribeckova diagramu (obr. 14, obr. 57). Pro oblast suchého tření musíme použít ochranných vrstev, či takového maziva, aby nedošlo k zadíraní a pro oblast přechodu laminárního proudění v turbulentní (pravá část Stribeckova diagramu) je směrodatná kritická hodnota bezrozměrného Reynoldsova čísla

$$Re_{KRIT} = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta} = 2300$$

kde  $v$ ,  $\rho$  a  $\eta$  jsou symboly pro rychlost, hustotu a dynamickou viskozitu,  $d$  je tloušťka olejového filmu.

Takže volba mazací soustavy se řídí zásadami uvedenými v předchozích kapitolách, především kap. 3.1 a pro základní orientaci nám může posloužit tab. č. 9.



## TABULKA Č. 9

### VOLBA MAZACÍ SOUSTAVY

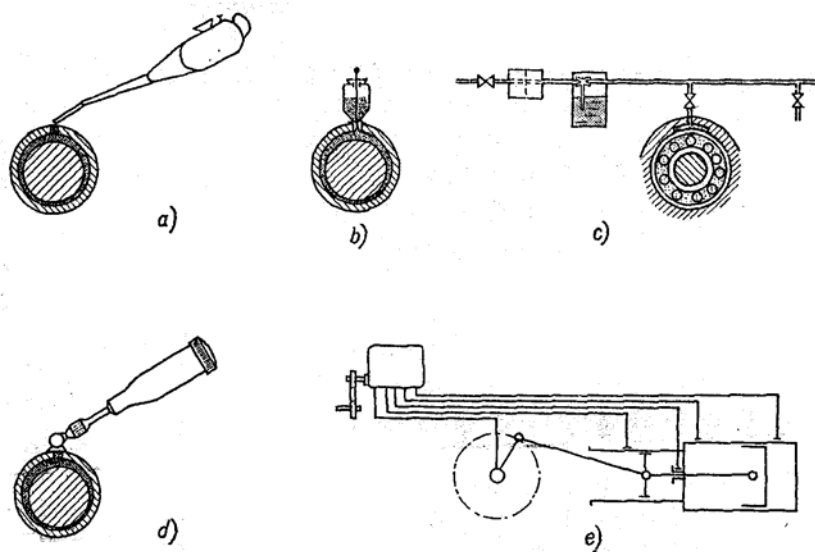
Způsob mazání			Oblast vhodného použití	
mazivo	soustava	zařízení	strojní součást	pracovní podmínky
Mazací olej	krátkodobá	ruční (olejnice, mazací stříkačka, mazací lis)  kapací (jehlová, knotová, kapací, ústřední kapací maznice)  tlakové (mazací přístroj, rozprašovač olejové mlhy)	kluzná ložiska kluzná vedení ozubená soukolí  kluzná ložiska kluzná vedení valivá ložiska ozubená soukolí  kluzná ložiska kluzná vedení valivá ložiska	$v < 2 \text{ m/s}$ — malé měrné tlaky $v < 2 \text{ m/s}$ — malé měrné tlaky $v < 2 \text{ m/s}$ — malá namáhání  $v < 5 \text{ m/s}$ — střední měrné tlaky $v < 5 \text{ m/s}$ — malé měrné tlaky $v < 20 \text{ m/s}$ $v < 5 \text{ m/s}$ — malá namáhání $v < 5 \text{ m/s}$ — pro $v > 30 \text{ m/s}$ vždy, výhodné i při menších $v$
	dlouhodobá	lázeň (brodění)  kroužkové  (kotoučové) rozstříkové (ozubeným kolem, hlavou ojnice apod.) oběhové (olejové čerpadlo, nádrž, filtr)	kluzná ložiska axiální valivá ložiska ozubená soukolí kluzná ložiska radiální  kluzná vedení ozubená soukolí (včetně ložisek) klíkové mechanismy  valivá ložiska ozubená soukolí  klíkové mechanismy	$v < 6 \text{ m/s}$ $v < 10 \text{ m/s}$ $v < 6 \text{ m/s}$  $n = 100\text{--}3\,000 \text{ ot/min}$ (volný kroužek) — střední tlaky $n < 100 \text{ ot/min}$ (pevný kroužek) — střední tlaky $v < 5 \text{ m/s}$ $v < 12 \text{ m/s}$  — střední měrné tlaky $v = 20\text{--}30 \text{ m/s}$ pro $v > 12 \text{ m/s}$ vždy; nad $20 \text{ m/s}$ (přímé), 40 $\text{m/s}$ (šikmé zuby) — mlha
Mazací tuk	krátkodobá	ruční (stěrka, staufferka, mazací lis)  samočinné, pružinové, odstředivé maznice tlakové (mazací přístroj)	kluzná ložiska ozubená soukolí  kluzná ložiska  kluzná ložiska	$v < 2 \text{ m/s}$ — malé měrné tlaky $v < 2 \text{ m/s}$  $v < 5 \text{ m/s}$ — malé měrné tlaky  $v < 5 \text{ m/s}$
	dlouhodobá	náplň	valivá ložiska	$v < 15 \text{ m/s}$

#### 3.2.1. Krátkodobé mazací soustavy a zařízení

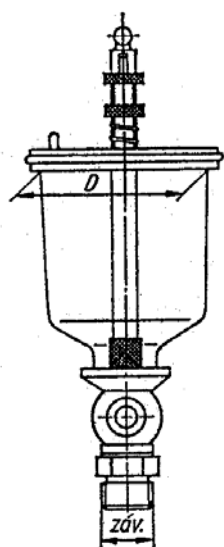
Mazivo po projití mazaným místem odkapává, nevrací se zpátky do mazaného místa. Jedná se o nenáročné mazání, které se dá rozdělit dle použitého maziva (olej, plastické mazivo) a dle již naznačených hledisek (tlakové, beztlakové apod.), kdy mazivo je dopravováno do mazaného místa v určitém omezeném množství v přerušovaném (periodickém) nebo plynulém sledu. Určitě bude vše zřejmé po prostudování následujících obrázků – obr. 71, 72, 73, 74, 75 a je z nich určitě také zřejmé, že obr. 75 bychom mohli doplnit příkladem z obr. 71 ad. d), že do výčtu k obr. 75 bychom také mohli uvést ruční mazání stěrkou atd.

K mazacím zařízením používaných u krátkodobých mazacích soustav patří především :

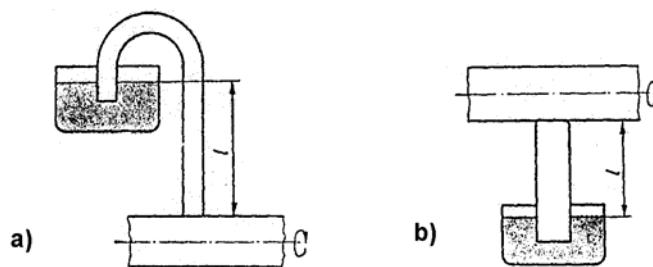
- mazací pomůcky na olej (olejnička, mazací lis, atd.)
- uzávěry mazacích otvorů (mazací zátka - s víčkem, s kuličkou; mazací hlavice plochá a kulová atd.)
- další zařízení (mazací přístroj, rozdělovače atd.), které se také používají pro dlouhodobé mazací soustavy a budou stručně nastíněny v další kapitole 3.2.2.
- maznice pro plastická maziva (Stauferova obr. 10b, samočinná pružinová apod.)



**OBR. 71** Krátkodobé mazací olejové soustavy  
 a – ruční olejničkou, b – kapací, c – mlhou, d – ruční tlakové (mazací lis), e –  
 mechanické tlakové



**OBR. 72** Kapací mazání

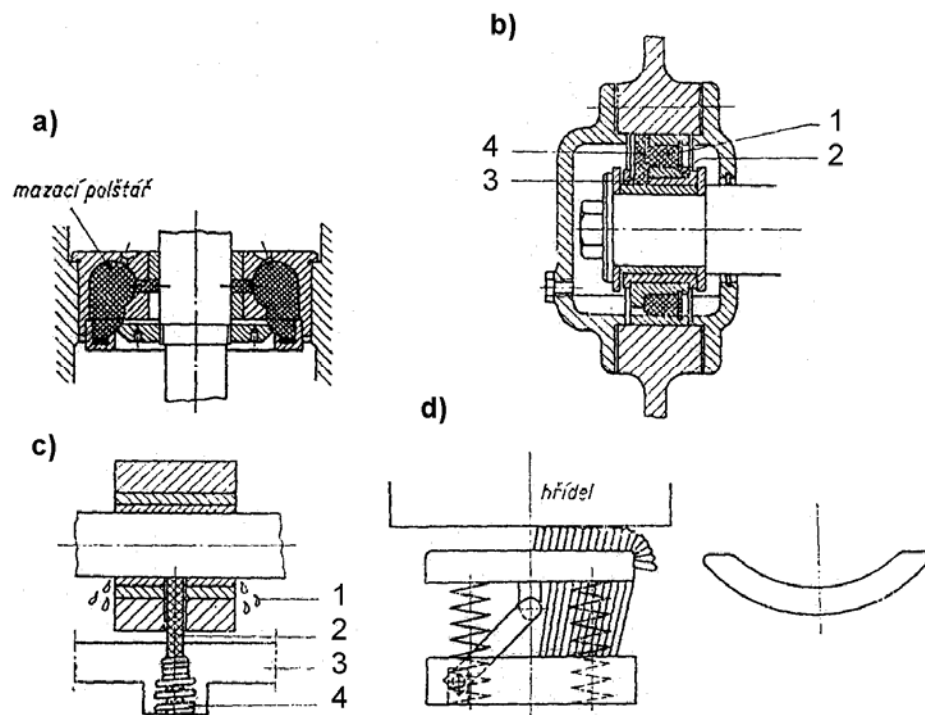


**OBR. 73** Knotové mazání  
 a – nasávací, b - sací

### 3.2.2. Dlouhodobé mazací soustavy a zařízení

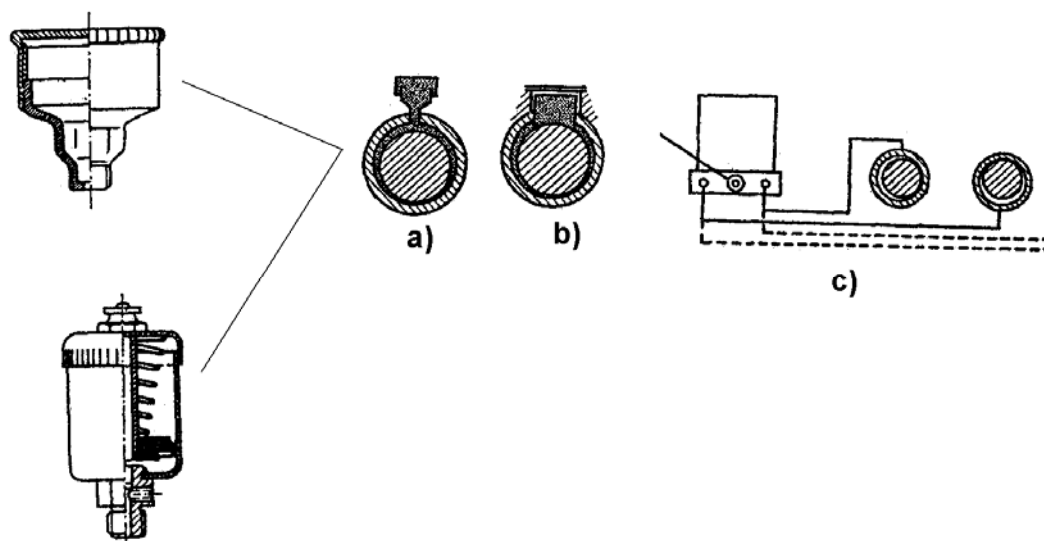
Je takový způsob mazání, který bez vnějšího zásahu zajišťuje, aby olej po projití mazaným místem se po určitém čase do tohoto místa vrátil. Maziva se v tomto (olej) případě využívá až do přípustného zestárnutí, tzn. klást na mazivo vysoké požadavky. Je samozřejmé, že nejzákladnější rozdělení je dáno druhem maziva – olej, plastické

mazivo. Základní dlouhodobé olejové soustavy jsou uvedeny na obr. 76 z kterého je určitě zřejmé, že tyto dlouhodobé olejové soustavy lze z konstrukčního pohledu rozdělit na, s nepřímým smáčením (obr. 76 a,b,c) a s přímým smáčením (obr. 76 d,e,f).



**OBR. 74** Příklady kapalného mazání

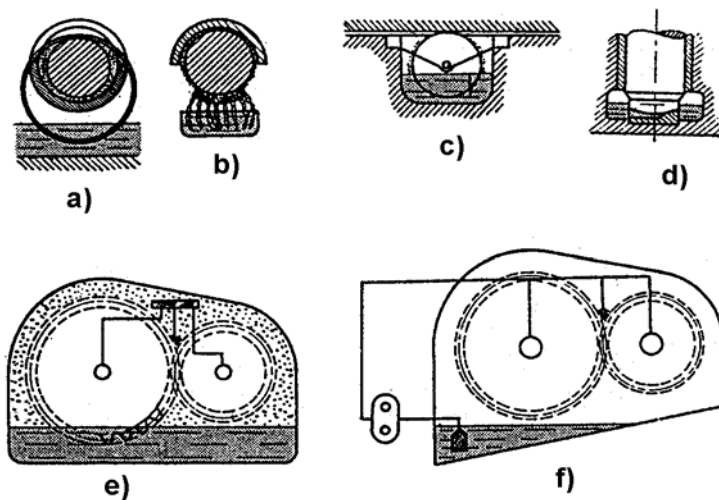
a – knotové mazání vertikálního hřídele, b – vestavěné radiální ložisko s knotovým mazáním (1-zásobníkový knot, 2 – ložiskové těleso, 3 - pouzdro, 4- mazací knot),  
 c – knotové oběhové mazání (1-zpětný tok oleje, 2-knot, 3-olejová lázeň, 4-pružina),  
 d – mazací kozlík



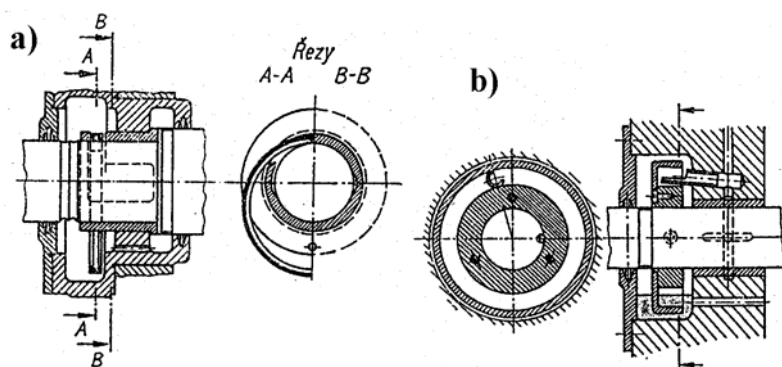
**OBR. 75** Příklady mazacích soustav pro plastické mazivo

a – ruční maznice (STAUFFEROVO mazání nebo samočinná pružinová), b – komorové, c – mechanické tlakové

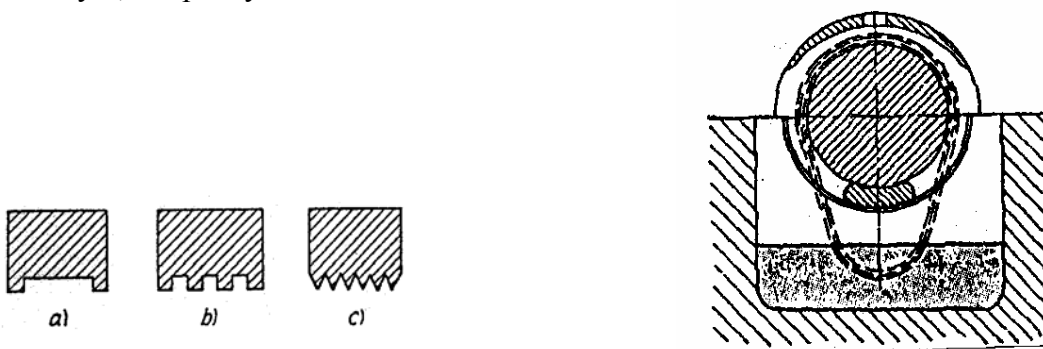
- **Kroužkové mazání** – patří ke známějším mazáním s nepřímým smáčením, používá se u radiálních kluzných ložisek se zatíženou spodní pávní a další rozdělení z pohledu konstrukce je na obr. 77 a z pohledu tvaru kroužku na obr. 78. Principiálně podobným typem mazání je tzv. mazání článkovým řetězem obr. 79.



**OBR. 76** Dlouhodobé mazací olejové soustavy  
 a – kroužkové, b – polštářové, c – kotoučové, d – brodicí, e – rozstříkové,  
 f – oběhové



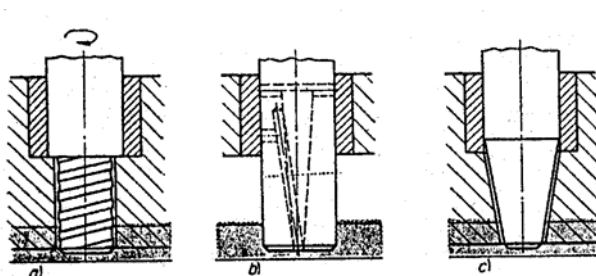
**OBR. 77** Konstrukční příklad mazání ložiska mazacím kroužkem  
 a – volným, b – pevným



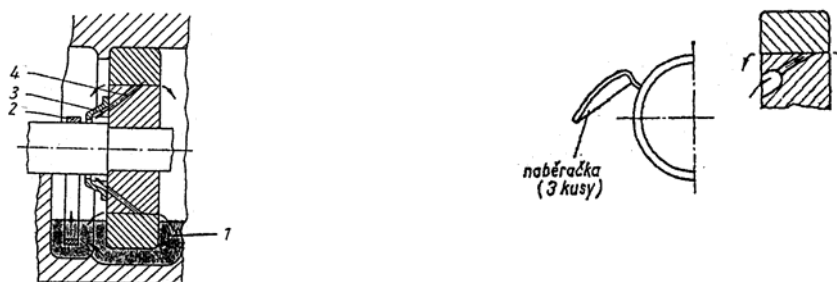
**OBR. 78** Tvary mazacích kroužků s rostoucím množstvím čerpaného oleje (a ÷ c)

**OBR. 79** Mazání kluzného ložiska článkovým řetězem

- **Brodicí mazání** – obr. 76 d, mazání součástí jejich přímým smáčením v olejové lázni např. axiální kluzná ložiska, řetězové převody, pomaluběžné ozubené převody (zejména šnekové) apod. Třecí povrchy jsou tedy ponořeny zcela nebo částečně do olejové lázně. Je určeno pro jednotlivé části strojů (uzlů), při velkých rychlostech otáčení může nastat pění oleje a velký odstřík.
- **Rozstříkovací mazání** – obr. 76 e, je dlouhodobé beztlakové mazání a v klasické podobě se vyskytuje při mazání částí strojů uzavřených ve společné skříni (převodovky, klikový mechanismus apod.) tzn. je také mazáním ústředním pro daný objekt. Rozstříkovaný olej maže daná místa buď přímo, nebo je zachycován při odkapávání ze stěn skříně do vhodně vytvořených kapes (sběrných mís), odkud se trubičkami svádí do třecích míst. Potřebného rozstříku se dosahuje buď přímo mazanou součástí stroje (ozubené kolo) nebo pomocí součástí s ní spojené (pomocné rozstříkovací kolečko, kotouč apod.). Mazací olej je zde značně namáhán. Variantou daného druhu mazání je i tzv. mazání odstředivou silou - obr. 80,81,82,83. Mazivo se vlastně čerpá působením odstředivé síly za spolupůsobení adheze. Množství je odvislé od obvodové rychlosti a viskozity maziva.

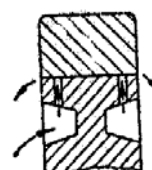


**OBR. 80** Mazání odstředivé u svislých hřídelů



**OBR. 81** Mazání odstředivé s mazacím kroužkem  
 1 – spojovací kanálek  
 2 – mazací kroužek  
 3 – olejová kapsa  
 4 – olejový kanálek

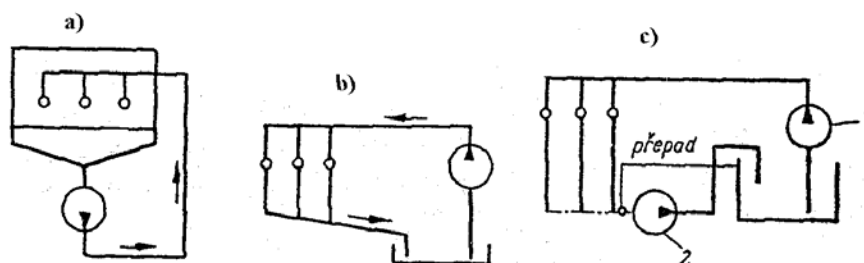
**OBR. 82** Odstředivé mazání s vnitřní kapsou a naběračkou



**OBR. 83** Odstředivé mazání vnitřním kroužkem

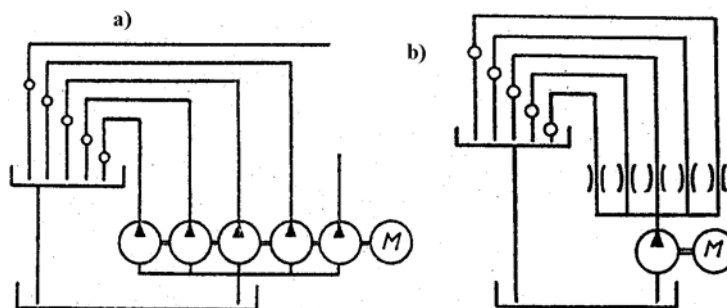
- **Oběhové mazání** – obr.76f, je nejdokonalejší, ale také nejsložitější a nejnákladnější způsob mazání. Zajišťuje bezpečnou dopravu oleje do všech třecích míst, kontrolu maziva a mazání, čistotu oleje, chlazení a hospodárnou spotřebu. Pomocí regulačních ventilů umožňuje řídit dodané množství oleje pro dané místo mazání. Konstrukčně jsou v podstatě dva způsoby :
  - čerpadlo saje olej z nádrže a přečerpává do výše položené nádrže, další rozvod je samospádem,
  - čerpadlo saje olej z nádrže a tlačí přímo do mazaných míst odkud stéká zpět do nádrže. Tento způsob je častější, resp. jediným používaným.

Olej je značně mechanicky namáhán. Možnost použít pro jednotlivé části, celé uzly, tak ústřední mazání. Takže ústřední centrální mazání je v principu dvojího druhu, tzn. uvedené jako oběhové (olej), jehož základní principální schémata jsou na obr. 84 a obr. 85. Řešení na obr. 85 umožňují dávkování, jehož další varianty budou dále v textu (pomocí



**OBR. 84** Oběhové mazání

a - s mokrou jímkou (např. ozubené převody), b - se suchou jímkou (samospád do jímací jímky), c - se zpětným vedením čerpadlem (varianta ad.b.)

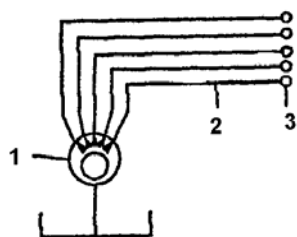


**OBR. 85** Víceokruhové oběhové mazání

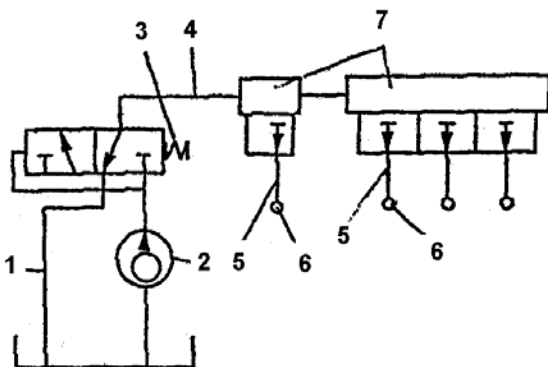
a – s čerpadly, b – se škrťacími ventily

Dalším principálním řešením centrálního mazání je tzv. centrální (ústřední) mazání průtokové, resp. centrální mazací systémy. Jedná se o přetržité mazání, kdy je nutný přívod malého, ale i nejmenšího množství maziva (olej i plastické mazivo) na mazané místo, které je možno mazat i pouze několikrát denně. Odpadají náklady na zpětné vedení maziva do sběrného místa, proto se často používá také označení ztrátové

(spotřební) mazání. Další pojmenování se řídí počtem potrubí obr. 86, 87 tzn. jednopotrubní a vícepotrubní.



**OBR. 86** Vícepotrubní zařízení  
1 – čerpadlo s nádrží na mazivo, 2 – jednotlivé potrubí(hlavní potrubí), 3 – mazací místo

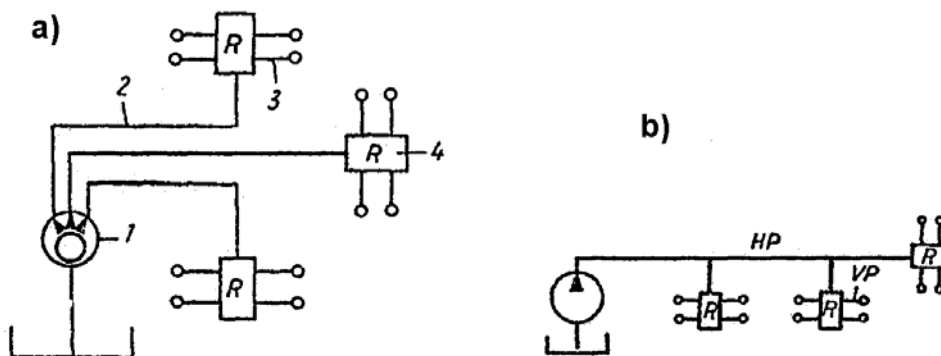


**OBR. 87** Jednopotrubní zařízení  
1 – zpětné potrubí, 2 – čerpadlo s nádrží na mazivo, 3 – odlehčovací ventil, 4 – hlavní potrubí, 5 – vedlejší potrubí, 6 – mazací místo, 7 - dávkovací ventil

U vícepotrubního (obr. 86) nenastává rozvětvení na cestě k mazanému místu a odměření dávky provádí čerpadlo. U jednopotrubního je zásadně jen jedno hlavní potrubí (obr. 87, poz. 4) k napájení všech mazacích míst. Před odvodem vedlejších potrubí (5) k mazacím místům (6) musí být vestavěny dávkovací ventily (7). Čerpadlo zde tedy vytváří pouze tlak.

Každé mazací zařízení musí zajistit pro všechna mazací místa zásobování mazivem, což se zajišťuje pomocí „rozdělovačů“ obr. 88. Rozdělovačů se tedy používá k udržení počtu potrubí vycházejících od čerpadla, tzn. více rozdělovačů nesmí být napájeno ze stejného hlavního (obr. 88 poz. 2a HP), pokud nelze jinak, tak se musí rozdělovače odstupňovat, resp. vedlejší dostává od hlavního pouze tolik maziva, kolik dává jeden vývod hlavního.

Formou centrálního průtokového mazání mazaných míst, ale s možností zachytit vyteklé a přebytečné mazivo ve sběrné nádrži je mazání olejovou mlhou, jehož schéma najdete na obr. 89, z kterého je patrné, že jej řadíme k jednopotrubním .

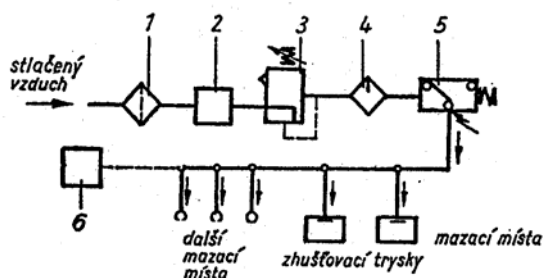


**OBR. 88** Řazení rozdělovačů vícepotrubního zařízení

a - schéma funkčně spolehlivého vícepotrubního zařízení pro 12 mazacích míst,

b - schéma funkčně nespolehlivého vícepotrubního zařízení pro 12 mazacích míst

1 - čerpadlo, 2 - hlavní potrubí, 3 - vedlejší potrubí, 4 - rozdělovač, HP - hlavní potrubí, VP - vedlejší potrubí



**OBR. 89** Schéma mazacího zařízení na olejovou mlhu

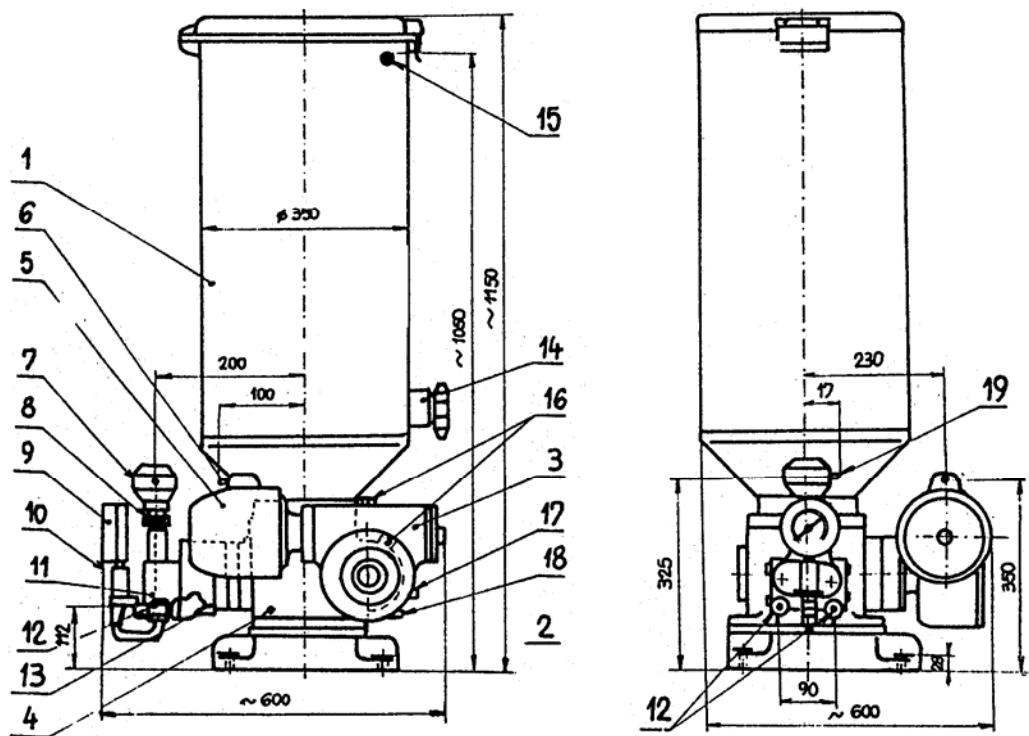
1 - vzduchový filtr na odloučení nečistot a kapalin, 2 - magnetický ventil k dálkovému ovládní zařízení, 3 - tlakový regulátor k nastavení konstantního tlaku, 4 - rozprašovač k vytvoření mikromlhy, 5 - tlakový spínač ke kontrole tlaku, 6 - kontrolní přístroj k dozírání na koncentraci olejové mlhy

Při volbě oleje u mazání olejovou mlhou je dopravní schopnost dána velikostí kapek, přilnavostí a odlučitelností. Vlastní rozprašovací maznice pracuje na Venturiho principu. Úlohou zahušťovacích trysek je zvýšit dopadovou rychlost (zúžení průřezu). Výpočet ukazatelů mazacích míst se provádí tabulkově, ale v anglosaských zemích se setkáme s jednotkou pro výpočet mazání olejovou mlhou s označením Bearing Inch (ložiskový palec).

Mezi mazací zařízení dlouhodobých mazacích soustav patří především:

- **Mazací přístroje** – vytváří tlak, tzn. nazývají se také čerpadla, která bývají vždy pístová. Náplň nádoby může být jak olej, tak plastické mazivo a v naší republice nejčastěji najdeme mazací přístroj uvedený na obr. 90.





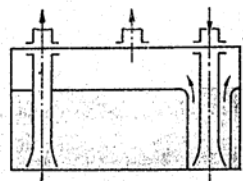
**OBR.90** Mazací přístroj 80T1

1 - zásobník maziva, 2 - základní rám, 3.- převodová skříň, 4 – čerpadlo, 5 – motor, 6 – odvzdušňovací šrouby, 7 – koncový spínač, 8 – regulační matice, 9 – manometr, 10 – tlumič, 11 – přepouštěcí ventil, 12 – vývody, 13 – hydraulický přepínač, 14 – plnicí otvor, 15 – ucpávková přívodka pro signalizaci stavu hladiny, 16 – nalévací otvory převodovky, 17 – kontrolní otvory převodovky, 18 – vypouštěcí otvory převodovky, 19 – ucpávková převodka koncového spínače

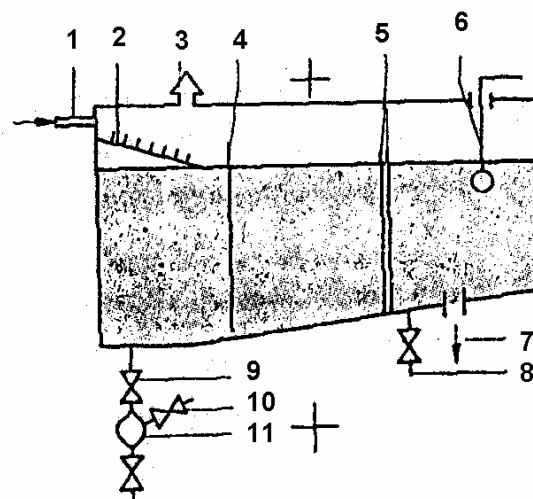
- **Rozdělovače a dávkovače**, které umožňují hydraulické oddělení hlavních a vedlejších potrubí, dodání daného určeného množství maziva v časovém odstupu atd. Jsou pístového provedení.
- **Olejová nádrž** – je určena k zachycení oleje v celém systému, k temperování, k odvodňování, k odplynování atd. Velikost nádrže by se měla volit tak, aby náplň nádrže se obměňovala max. 10 ÷ 12x za hodinu, tzn.

$$i = \frac{V}{V_n} \quad [\text{h}^{-1}]$$

$V$  – objemový průtok,  $V_n$  -objem nádrže. Velikost oběhového čísla se také volí (např. mazání ložisek motorů  $i=6$ , mazání převodů  $i=4$ , hydraulická zařízení  $i=15\div 60$  atd.), takže lze s dostatečnou přesností určit  $V_n = \frac{1,25V}{i}$ . Nádrže musí být všestranně přístupné a kontrolovatelné a co je žádoucí z pohledu vybavenosti najdete na obr. 91 i když příznivější řešení vtoku a odtoku je na obr. 92.



**OBR. 91** Příznivé řešení pro zpětný tok oleje



1 – zpětný tok oleje, 2- vodící plech s rozrušovači bublinek, 3 – odvzdušňovací kryt, 4 – vratná stěna, 5 – vytahovatelné dvojitě síto, 6 – kontrola stavu náplně, 7 – odtok oleje k čerpadlu, 8 – výpustný kohout na zkondenzovanou vodu, 9 – vypouštěcí šoupátko na kal, 10 – kalová komora, 11 – odvzdušňovací ventil.

□ **Další mazací zařízení** – už pouze s uvedením názvu

- zpětné záklopy
- tlakové potrubí (hadice, kovové)
- filtry
- chladiče
- kontrolní a zabezpečovací zařízení (tlak, teplota, znečistění filtrů, průtočné množství stavu v nádrži atd.)

a některé další neuváděné.

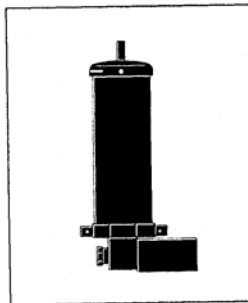
Na závěr této kapitoly pak uvádíme na sérii obrázků výběr z literatury [33] včetně základního nutného popisu (obr. 93,94,95,96,97,98,99,100,101). Jedná se o praktické provedení souborů zařízení, které nazýváme centrální mazací systémy (CMS) a prvky mazací techniky, tzn. slouží k dopravě mazacích látek do třecích ploch strojů a strojních zařízení za jednoznačným účelem, snížení třecí síly a intenzity opotřebení. Je nutno si uvědomit, že existuje přímá úměra, technická úroveň CMS výrazně ovlivňuje nejen technickou úroveň jimi osazených objektů, ale i ekonomičnost a ekologičnost jejich provozu, takže platí: „Správná volba CMS je jednou ze základních podmínek kladného ekonomického efektu“.

Na obr. 102 je pak praktická ukázka schéma ústředního mazání housenicového podvozku kolesového rýpadla KU 300, což při využití lit. [34], z které pochází obr. 103,104,105,106,107,108 nám dává dostatečný přehled na téma CMS.

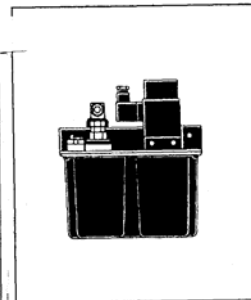
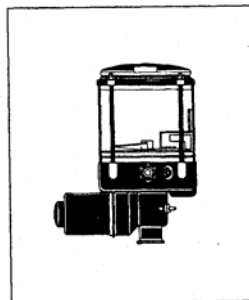
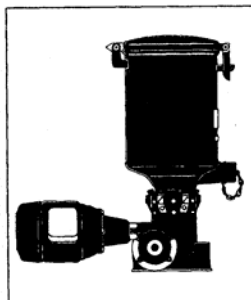
Obr. 103 nám ukazuje ještě jednu schéma dvoupotrubního mazacího obvodu s komplexním popisem jednotlivých pozic (na rozdíl od obr. 96) čímž určitě jednoznačně zvýšíme názornost jako takovou. Obr. 104, 105 ukazuje některá vybraná příslušenství mazacího obvodu, a na obr. 106 je ještě pro názornost uveden rotační přípoj rohový (obr. 105c). Již zmíněnou názornost jistě zvýší krátký popis rozvodné kostky (obr.105k). Rozvodné kostky jsou aplikovány do mazacích obvodů různých strojů a zařízení a jsou používány jako propojovací prvky v jednopotrubních systémech CMS.

## MAZACÍ TECHNIKA

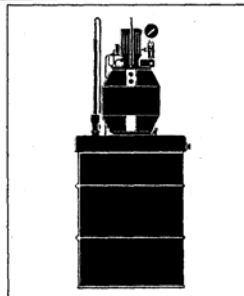
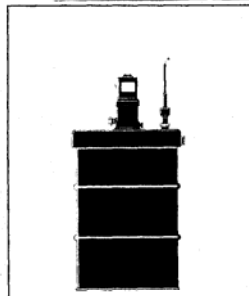
### Čerpadla ▶



Typ:	TA-D	BH-C
Druh maziva:	olej	olej / tekutý tuk / tuk
Dávka maziva pro vývod:	0,5 cm <sup>3</sup> / dvojdvih	5 až 10 cm <sup>3</sup> / zdvih
Max. tlak (bar):	25	190
Počet vývodů:	až 8	1
Pohon:	ruční páka	hydraulický
Použití hlavně v systému:	3, (4), (6)	4, (6)



Typ:	FZ-A	Autolub-E	Mikrojet
Druh maziva:	olej / tekutý tuk / tuk	olej / tekutý tuk / tuk	olej
Dávka maziva pro vývod:	až 60 cm <sup>3</sup> / h (nastavitelný)	110 / 165 / 220 cm <sup>3</sup> /h	0,25 cm <sup>3</sup> / zdvih
Max. tlak (bar):	200	250	25
Počet vývodů:	až 12	až 3	1
Pohon:	motor, vstupní hřídel, páka	motor	elektromagnet
Použití hlavně v systému:	3, 4, (5), 6	3, 4, 6	1

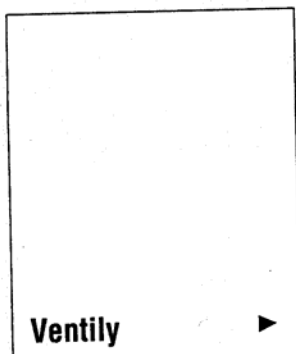


### Použití hlavně v systému:

- 1 = Jednopotrubním
- 2 = Dvoupotrubním
- 3 = Vícepotrubním
- 4 = Progressivním
- 5 = Oběhověm
- 6 = Jiném

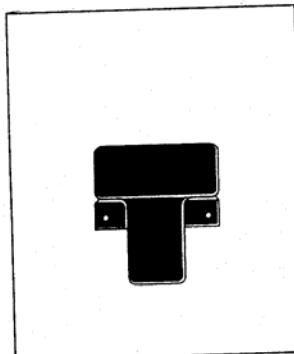
Typ:	BF-G	BF-E
Druh maziva:	olej / tekutý tuk / tuk	olej / tekutý tuk / tuk
Dávka maziva pro vývod:	1 / 2 / 5 l / min.	3 / 6 / 14 / 22 l / h
Max. tlak (bar):	až 400	až 400
Počet vývodů:	1	1
Pohon:	pneumatický	motor
Použití hlavně v systému:	(1), 2, 4, 5, 6	(1), 2, 4, 5, 6

OBR. 93



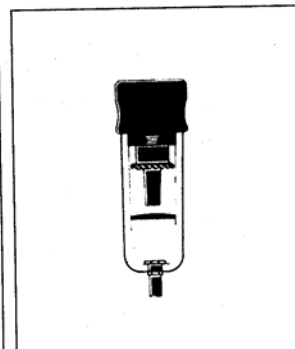
Ventily ▶

Typ:	SA-E
Druh maziva:	olej / tekutý tuk / tuk
Max. tlak (bar):	400
Pohon:	pneumatický
Druh přepínání:	vhodný jako 3/2 nebo 2/2 přepínací ventil
Použití hlavně v systému:	(1), 2, 3, 4, 5, 6,

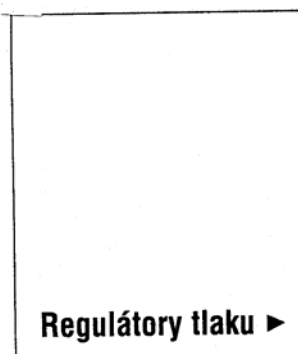


## PNEUMATICKÉ PRVKY

Tlakové filtry ▶

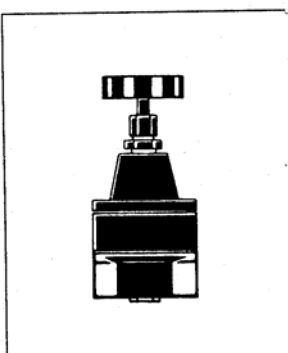


Typ:	FC-A
Pracovní tlak max.:	(bar) 10
Průtok Qn:	(m <sup>3</sup> / h) 35
Pracovní teplota:	(°C) 0 – 50
Filtrační schopnost:	(mm) 25 – 50 (5)
Váha:	(kg) 0,35
Rozměr připojení:	(G) 1 / 8" – 3 / 8"

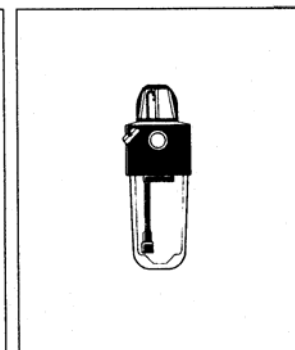


Regulátory tlaku ▶

Typ:	PC-D
Průtok Qn:	(m <sup>3</sup> / h) 10
Primární tlak max:	(bar) 8,4 / 10,5 / 14
Sekundární tlak:	(bar) 0 – 0,5 / 0,07 – 4,2 / 0,35 – 10,5
Pracovní teplota:	(°C) 0 – 70
Váha:	(kg) 0,6
Rozměr připojení:	(G) 1/4"



Zařízení pro výrobu olejové mlhy ▶

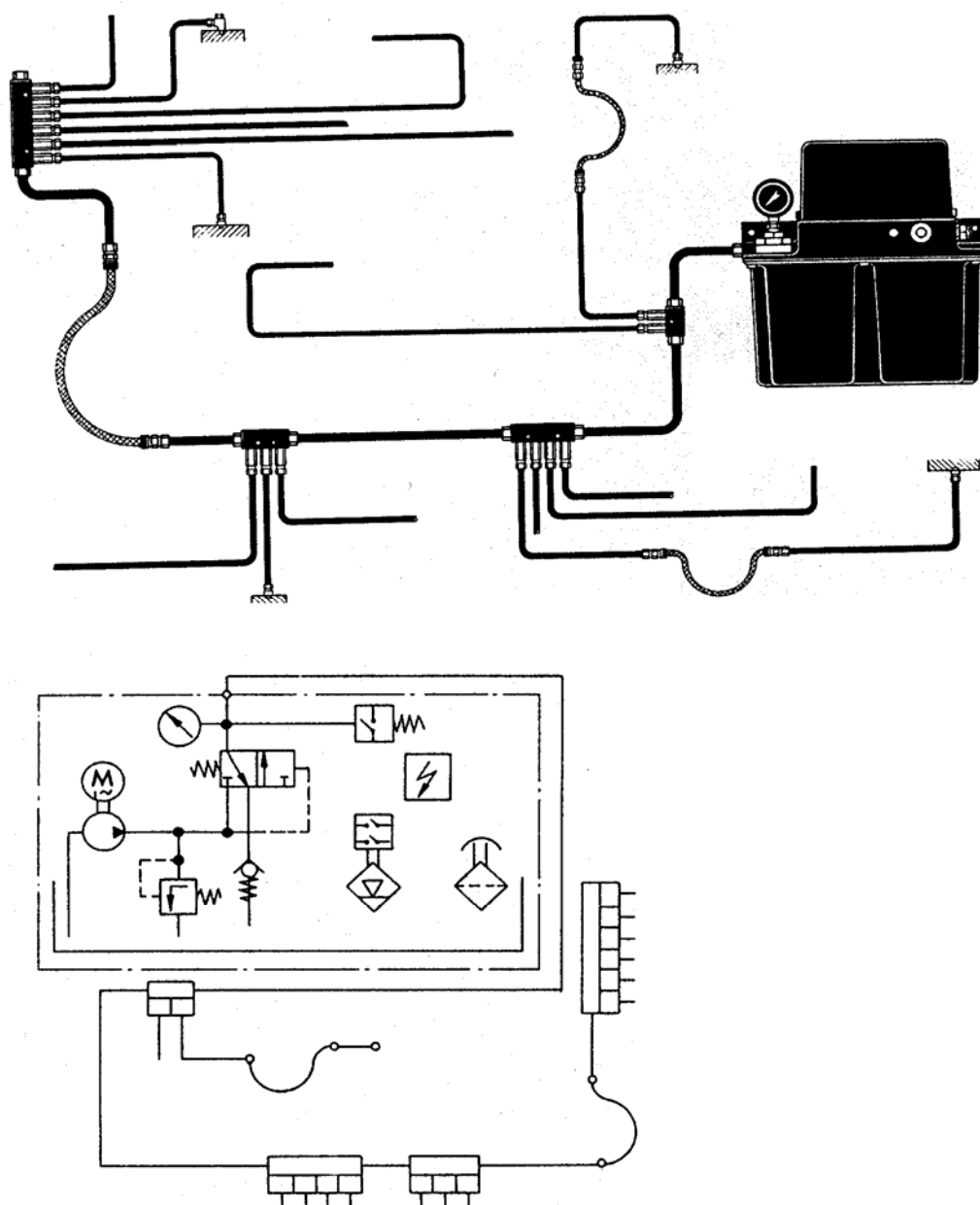


Typ:	OD-D
Průtok max. Qn:	(m <sup>3</sup> / h) 27
Obsah nádrže užitečný:	(l) 0,03
Pracovní tlak:	(bar) 14
Pracovní teplota:	(°C) 0 – 50
Viskozita oleje:	(mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ) 20 – 200
Váha:	(kg) 0,11

OBR. 94

## Jednopotrubní systém pro olej/ tekutý tuk /tuk - popis obr. 95

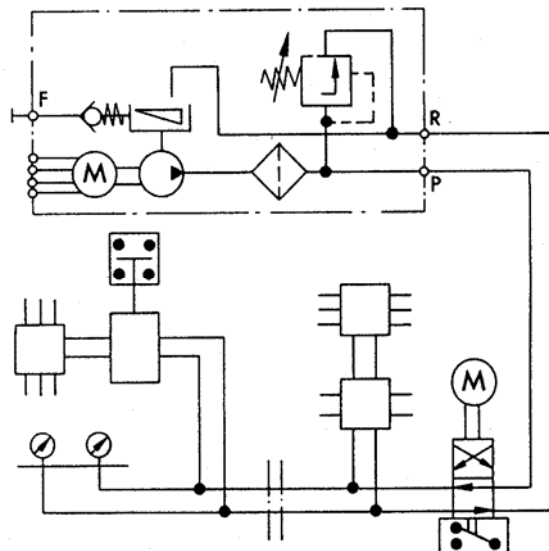
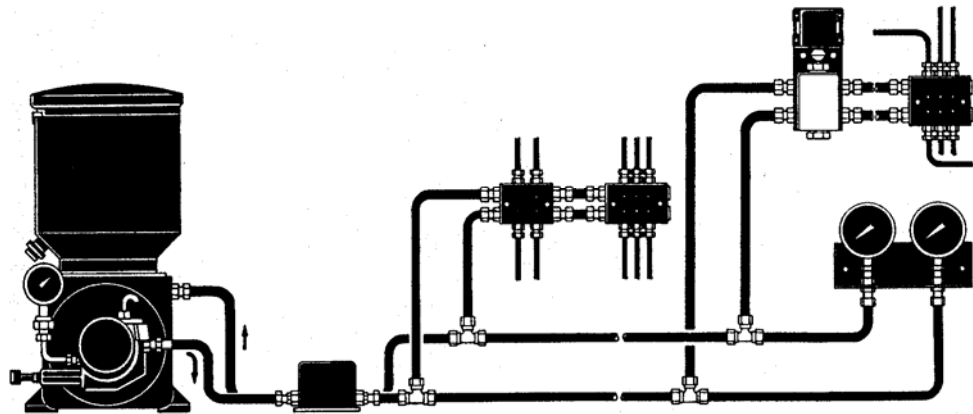
Jednopotrubní centrální mazací systém se používá k mazání strojů a strojních zařízení do cca 100 (i více) mazacích míst, vzdálených až několik desítek metrů. Osazují se jím především stroje (obráběcí, textilní, polygrafické, balící, na tlakové lití apod.), řetězy (pracovní i poháněcí) manipulační technika, části strojů atd. Použitím různých velikostí dávkovačů ( popř. jejich spojením) se docílí požadovaná množství maziva do jednotlivých mazacích míst. Počet mazacích míst lze kdykoliv zvýšit připojením dalších dávkovačů, případně snížit odpojením přebytečných dávkovačů. Rozvodové potrubí je během přestávky odlehčeno (není zatíženo pracovním tlakem). Systém je velmi snadno automatizovatelný. Princip funkce systému umožňuje částečně automatickou kontrolu ucpání nebo prasknutí.



OBR. 95

## Dvoupotrubní systém – pro olej/ tekutý tuk / tuk – popis obr. 96

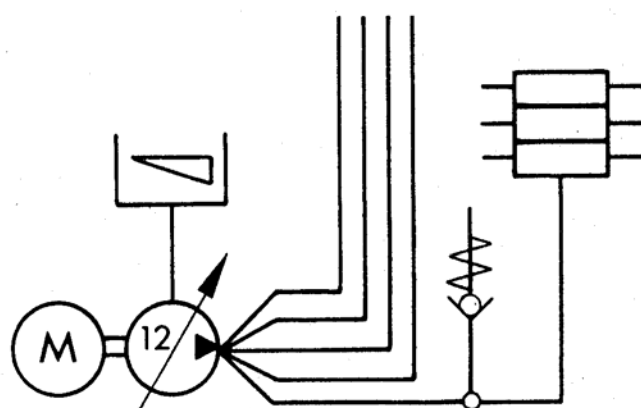
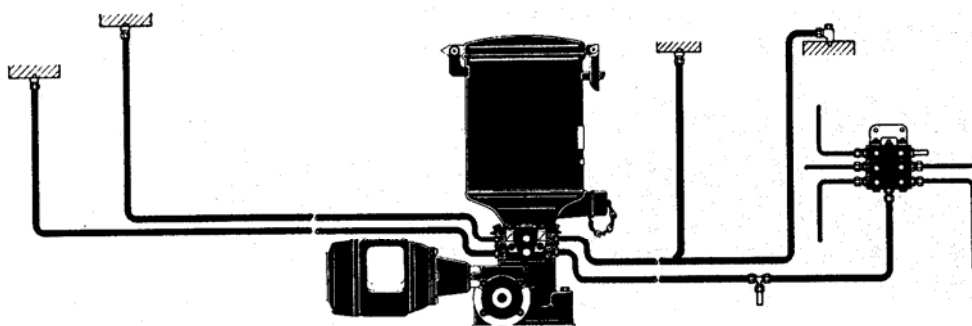
Dvoupotrubní centrální mazací systém, slouží k mazání strojů a strojních zařízení s velkým počtem mazacích míst (i 1000 a více), vzdálených až 100 i více metrů (hutě, válcovny, elektrárny, cementárny, cihelny, cukrovary, pivovary, hornictví, stavební stroje, potravinářské stroje atd.). Systém je velmi provozně spolehlivý, odolný proti mechanickému poškození a vlivům prostředí. Snadno se docílí požadované množství maziva do jednotlivých mazacích míst ( velikostí a regulací zdvihu pístu dávkovačů či změnou režimu provozu). Dodávka maziva je zcela nezávislá na různých protitlacích v mazacích místech. Počet mazacích míst může být kdykoliv změněn připojením nebo odpojením dávkovačů. Je možná vizuální nebo elektronická kontrola dodávky maziva do důležitých mazacích míst a princip činnosti systému umožňuje snadnou automatizovatelnost provozu.



OBR. 96

## Vícepotrubní systém – pro olej /tekutý tuk/ tuk – popis obr. 96 A

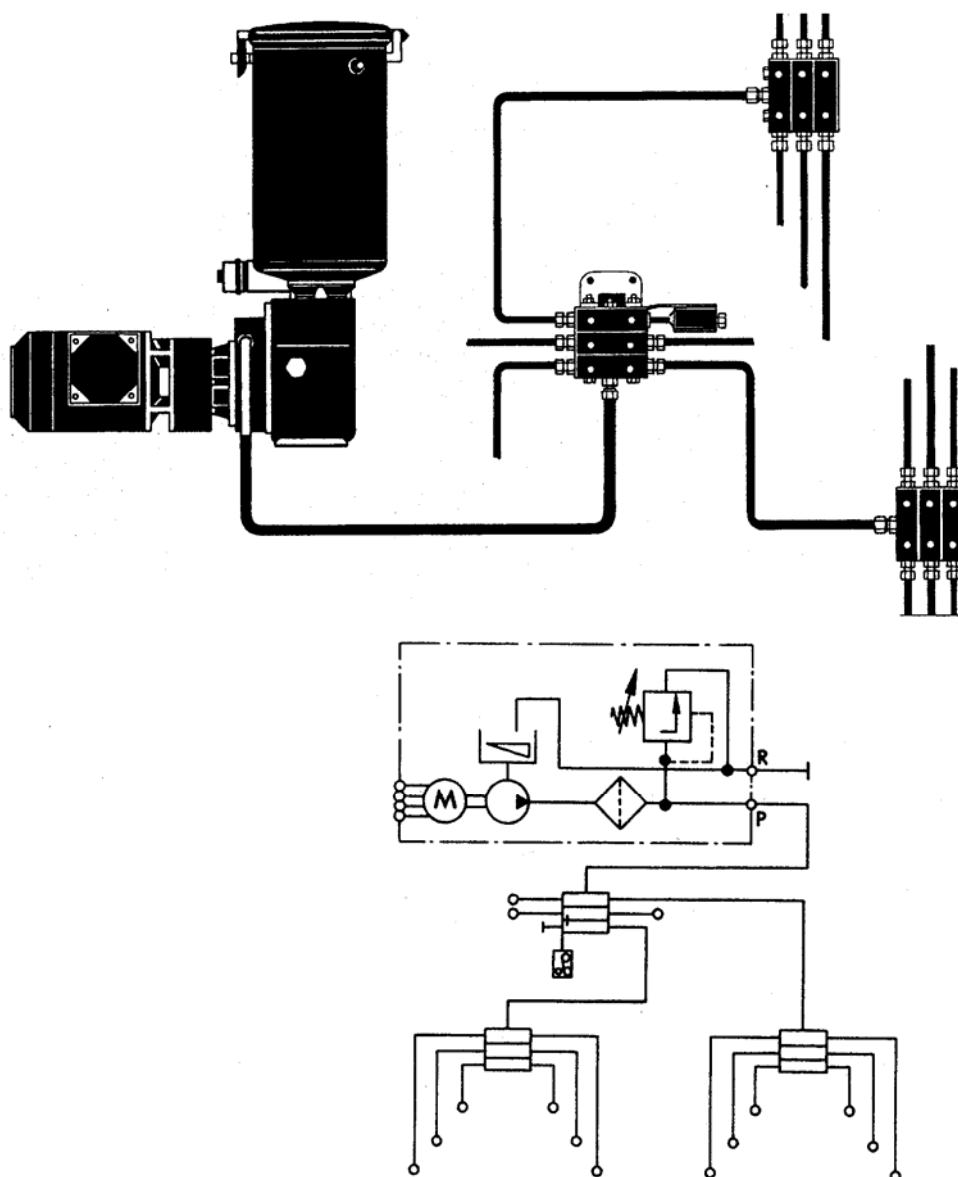
Vícepotrubní centrální mazací systém slouží k mazání strojů a strojních zařízení od několika do cca 60-ti i více mazacích míst a do vzdálenosti max. cca 20 metrů. Tento systém je vhodný pro mazání kompaktních celků a používá se především pro dopravu mazací látky do třecích dvojic, u kterých není nutná 100% kontrola dodávky. Množství maziva pro každé místo (skupinu mazacích míst) se nastavuje přímo na mazacím stroji (popř. spojováním vývodů), celkové dodávané množství je možné měnit volbou režimu provozu. Pomocí vhodných rozdělovačů je možné rozšířit počet mazacích míst a částečně kontrolovat dodávku maziva do těchto mazacích míst. Systém je velmi jednoduchý z konstrukčního i uživatelského hlediska.



OBR. 96

## Progresivní systém – pro olej / tekutý tuk/ tuk – popis obr. 97

Progresivní centrální mazací systém je určen pro stroje a strojní zařízení do cca 100 (i více) mazacích míst vzdálených desítky metrů. Je určen hlavně pro tvářecí, obráběcí, textilní, balící, transportní atd. stroje, mobilní zařízení (podvozky a technologické nástavby), části technologických komplexů (např. hutí, válcoven, elektráren chemiček, skláren, cukrovarů, pivovarů) atd. Systém je provozně velmi spolehlivý, odolný proti mechanickému poškození a vlivům prostředí. Uspořádání a provedením rozdělovačů docílíme dodávání požadovaného množství maziva do jednotlivých mazacích míst v širokém rozsahu. Princip funkce umožňuje 100% kontrolu („ucpání i prasknutí“) dodávky maziva do všech mazacích míst. Systém nevyžaduje speciální funkci zdroje tlakového maziva a je velmi snadno automatizovatelný.

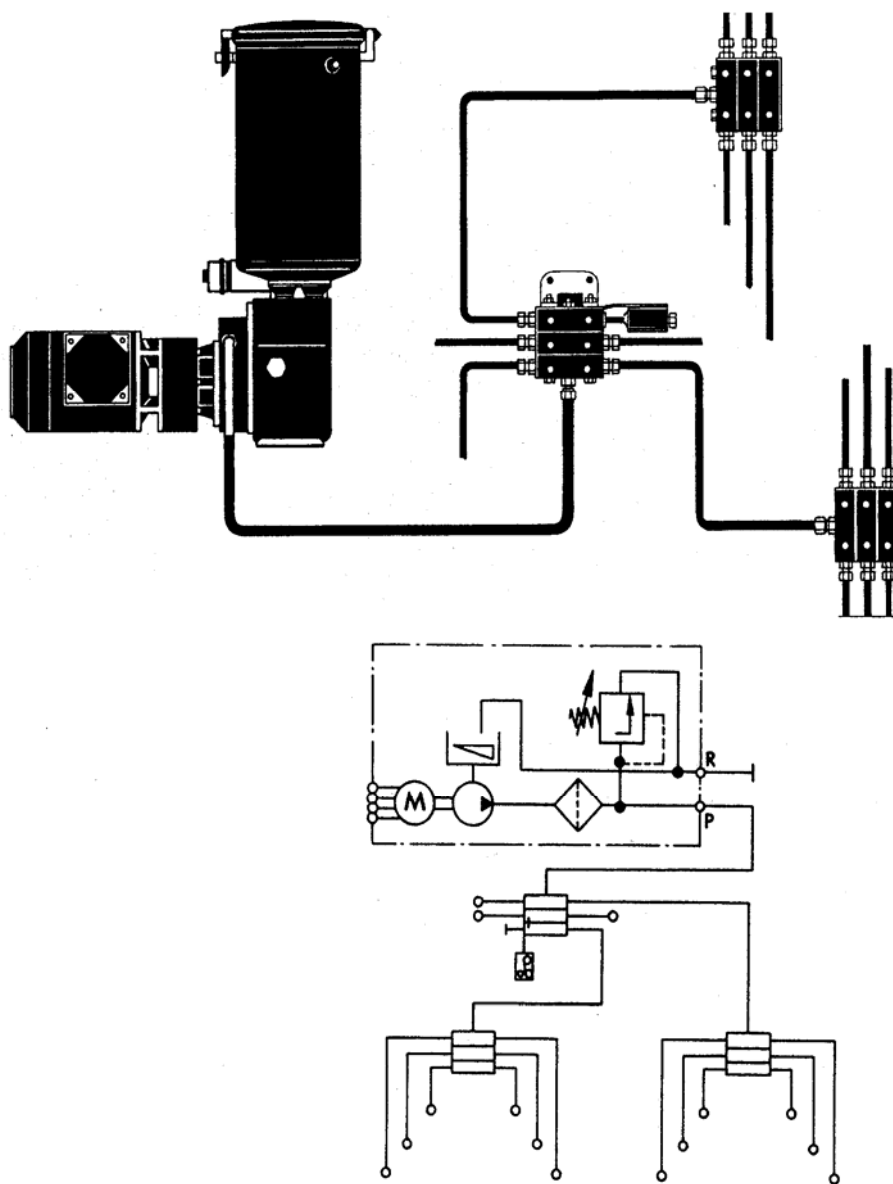


OBR. 97



## Mazání olejovou mlhou – pro olej + tlakový vzduch – popis obr. 98

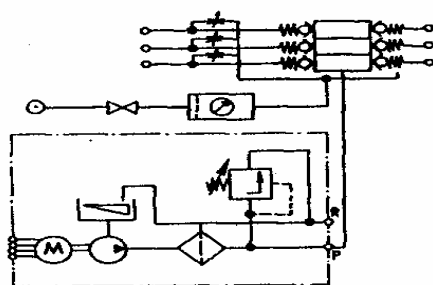
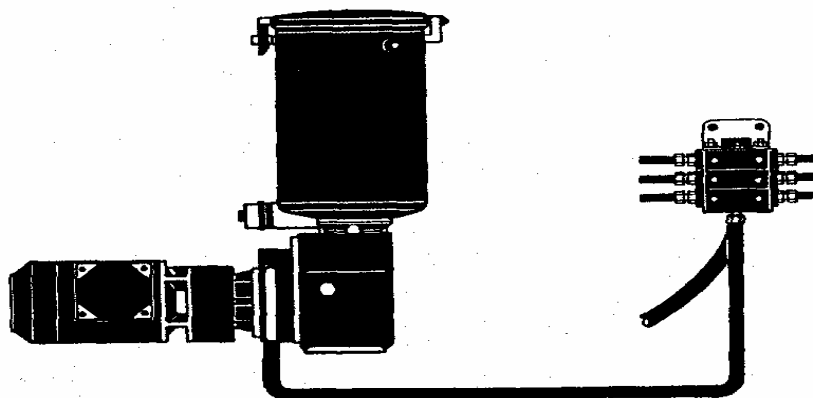
Mazání olejovou mlhou se používá pro dopravu mazací látky do uzavřených (valivá i kluzná ložiska ) i otevřených (ozubené převody, kluzná vedení, řetězy atd.) mazaných míst. V mazacím agregátu se do proudícího tlakového vzduchu podtlakem přisává mazací látka a ve formě olejové mlhy je rozvětvujícím se potrubím (bez použití dávkovačů či rozdělovačů ( přiváděna k mazacím místům. Ve vstupu do mazacího místa je umístěna kondenzační tryska, ve které se vysrážejí z olejové mlhy kapky maziva a ty jsou tlakovým vzduchem dopraveny na třecí plochy. Kondenzací se zamezuje unikání olejové mlhy z mazaných míst do okolí a mazivo ve formě kapek má lepší mazací schopnost než olejová mlha. Prostor uzavřených mazacích míst musí být opatřen kanály pro odvádění tlakového vzduchu a maziva. Potřebné relativní množství maziva do jednotlivých mazaných míst se dosáhne použitím příslušných velikostí kondenzačních trysek. Tlakový vzduch mazací místa též ochlazuje a vytváří v nich přetlak, který zabraňuje vzniku nežádoucích látek z okolí. Mazací látku ve formě olejové mlhy lze dopravovat do několika až stovek (i tisíců) mazacích míst vzdálených až mnoho set metrů od mazacího agregátu.



OBR. 98

## Směšovací systém – pro olej / tekutý tuk / (tuk) + tlakový vzduch – popis obr. 99

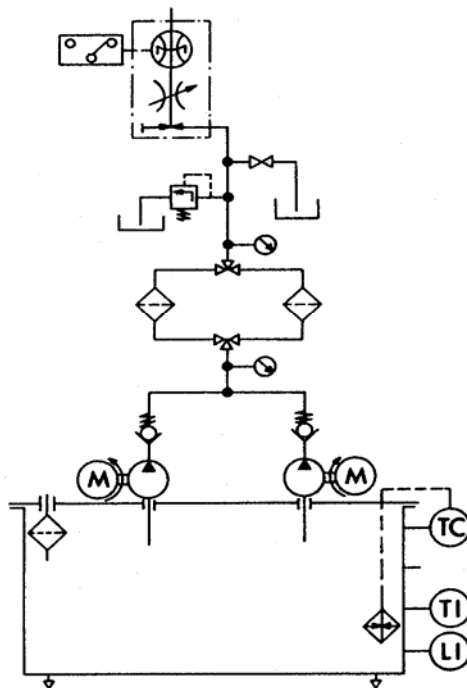
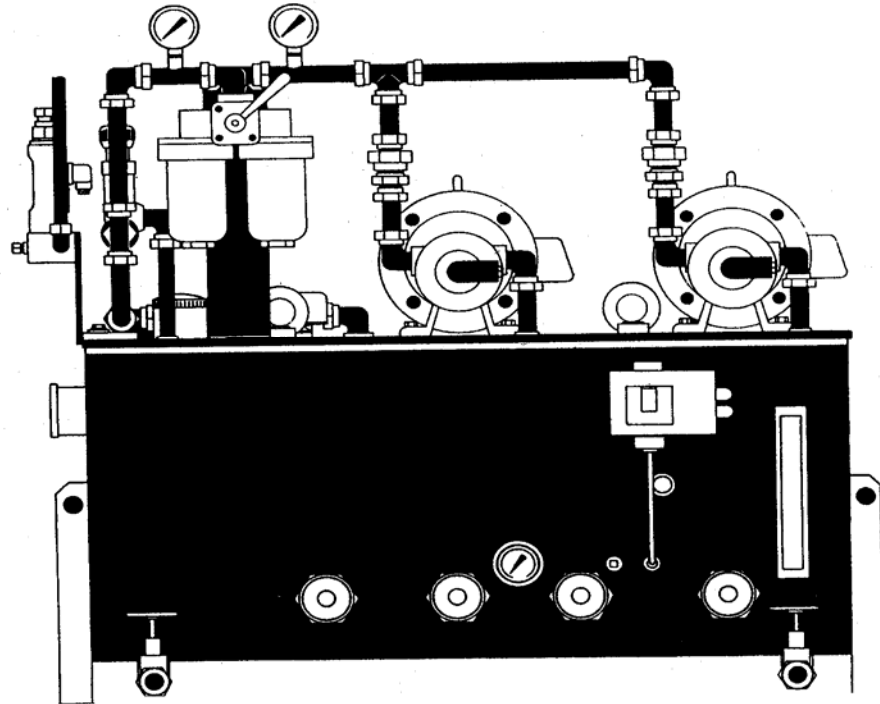
Směšovací systém se používá hlavně pro dopravu mazací látky do uzavřených mazacích míst (především valivých nebo kluzných ložisek). Tento systém zaručuje kontinuální dodávání maziva do mazacích míst proudem tlakového vzduchu. K strhávání částic mazací látky tlakovým vzduchem dochází ve speciálně upravených dávkovačích či rozdělovačích, ze kterých je směs přiváděna potrubím do mazacích míst. Ve vstupu do mazacího může být umístěna tryska, jejíž provedení a regulovatelné množství vzduchu určuje charakter směsi. Tlakový vzduch mazaná místa chladí a vytváří v nich přetlak. Počet mazacích míst, vzdálenosti a možnost automatizovat a kontrolovat funkci určují parametry a provedení použitých prvků.



OBR. 99

**Agregáty oběhových systémů – pro olej – dávkuje/chladí/ filtruje – popis obr. 100**

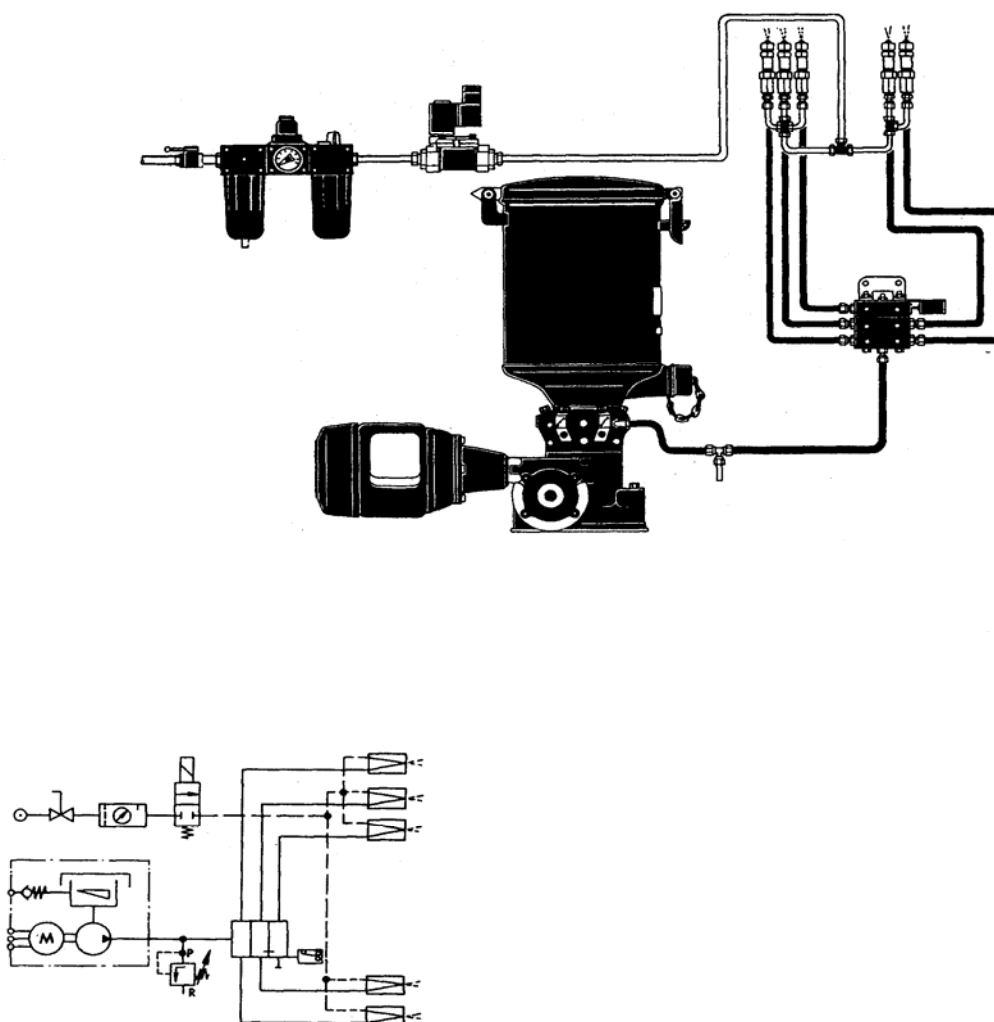
Slouží k dávkování, shromažďování a úpravě mazací látky pro oběhové mazací systémy. Dodávají se velikostech (několik až tisíce litrů) a provedeních dle požadavků. Vybavují se řadou funkčních, kontrolních a ovládacích prvků, které určují vzdálenosti (až stovky metrů) a počet (až tisíce) mazacích míst a možnost kontroly a automatizace.



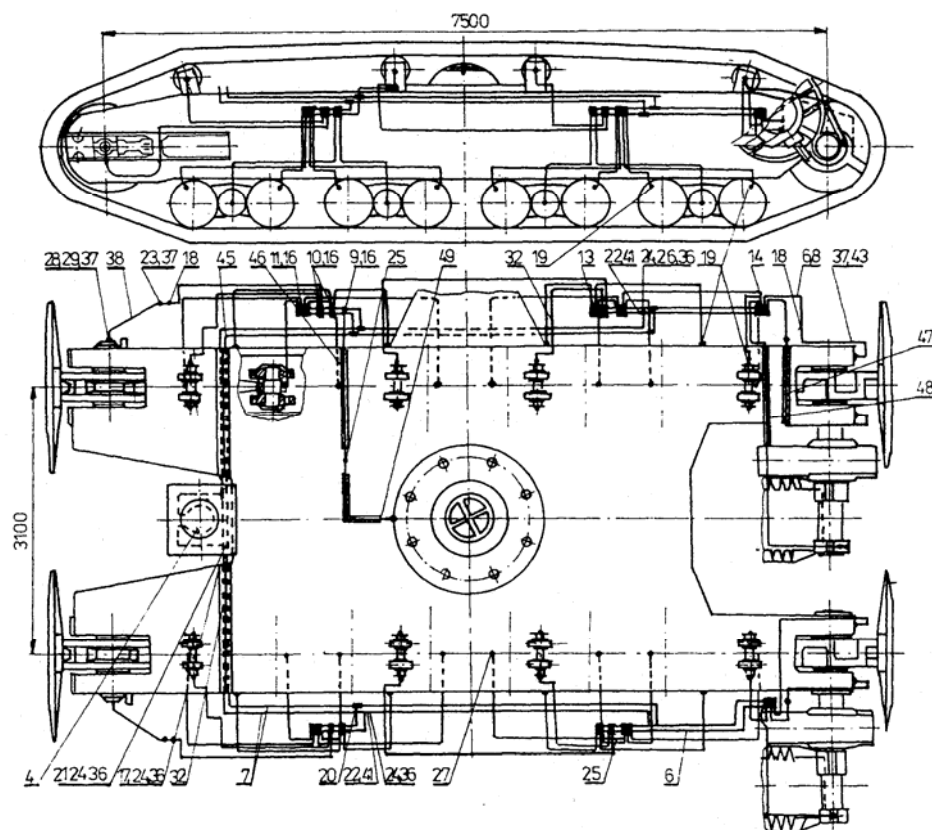
**OBR. 100**

## Postřikovací systém – pro olej /tekutý tuk/ tuk + tlakový vzduch – popis obr. 101

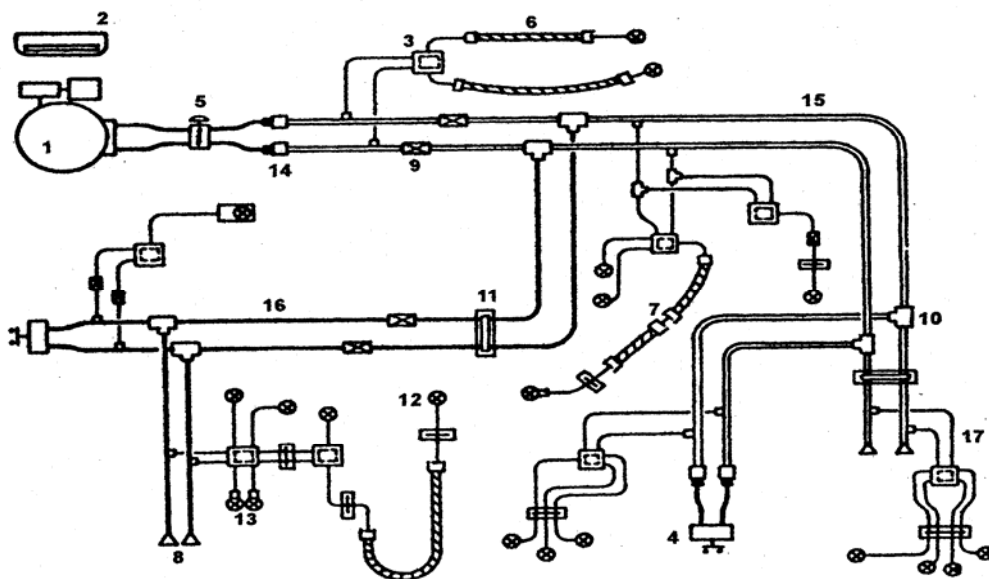
Postřikovací systém se používá hlavně pro dopravu mazací látky na otevřená mazná místa (boky zubů, ozubených převodů, okolky kol kolejových vozidel, řetězy, vodící plochy atd.). K strhávání částic mazací látky proudem tlakového vzduchu dochází v postřikovací trysce (sadě trysek), která se umísťuje v bezprostřední blízkosti mazaného místa. Tvarem a umístěním postřikovací trysky a úrovní tlaku vzduchu se vytvoří požadovaný rozprašovací efekt. Systém je použitelný pro mazací oleje (možnost realizace oběhových systémů) i pro plastická maziva. Postřikovacími systémy se nahrazují mazací systémy, brodicí nebo kapací. Počet mazacích míst a vzdálenosti jsou limitovány parametry zvolených prvků. Systém je velmi snadno automatizovatelný a podle potřeby 100% kontrolovatelný.



OBR. 101

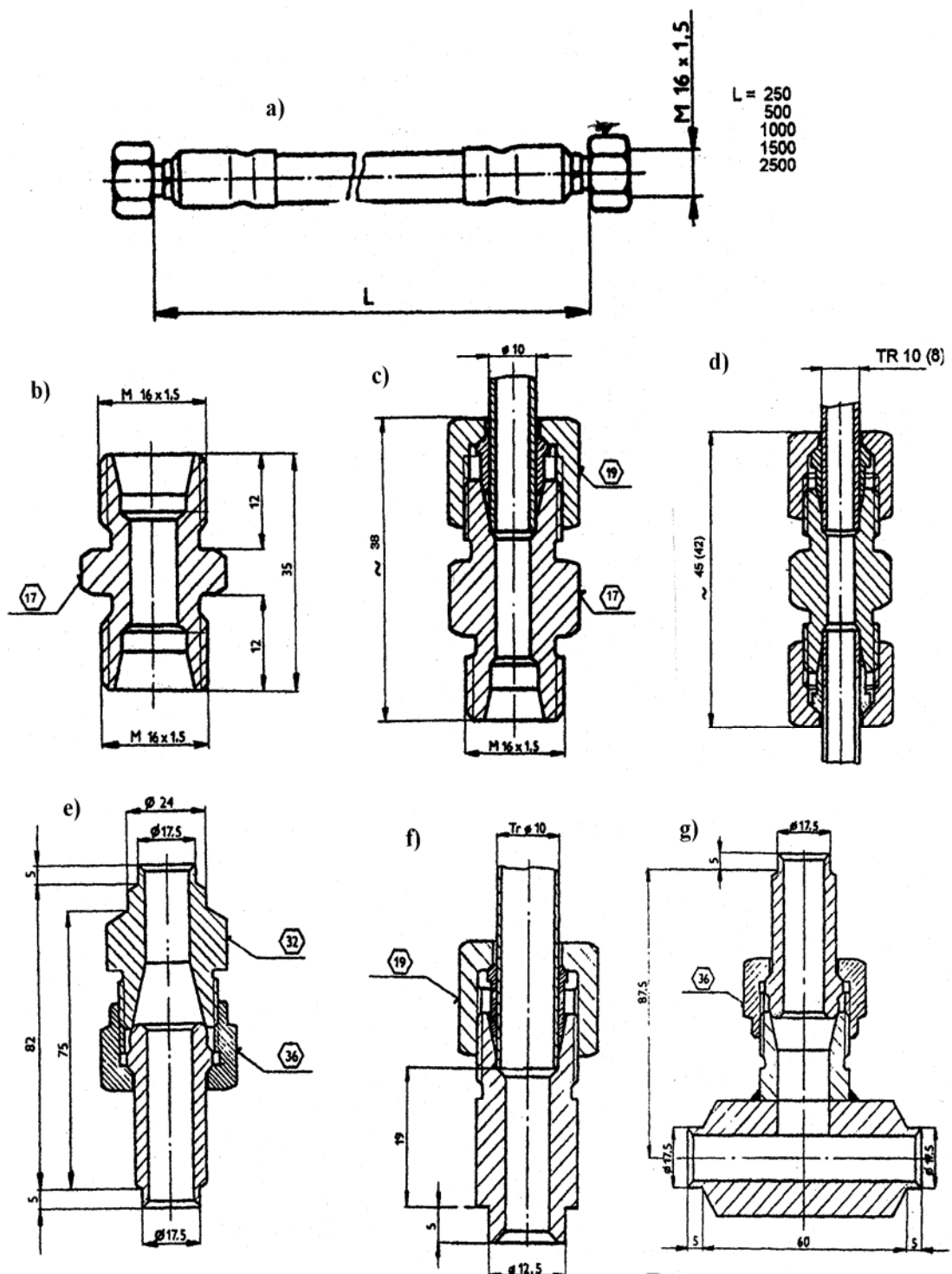


**OBR. 102** Schéma centrálního mazání housenicového podvozku kolového rypadla KU 300



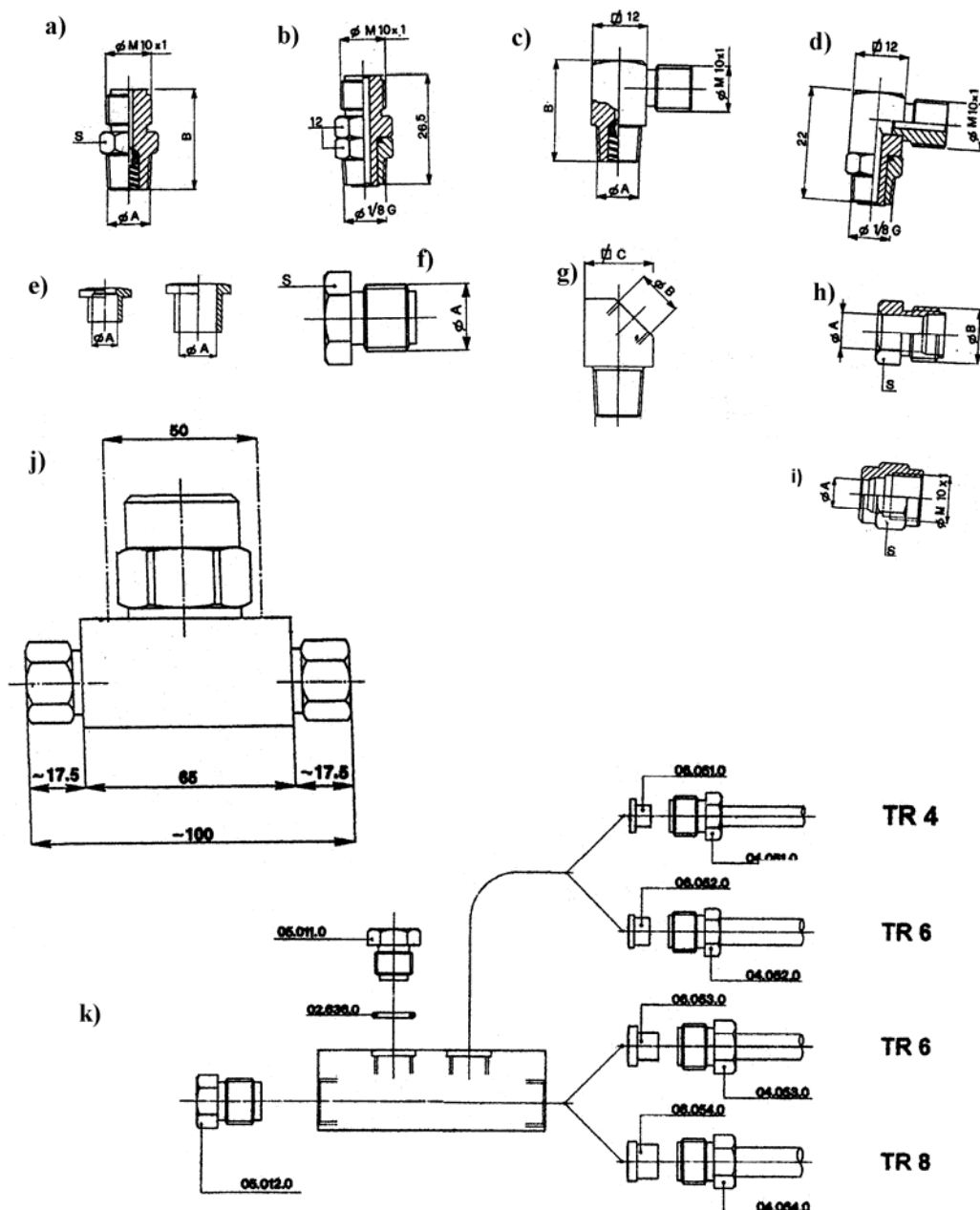
**OBR. 103** Schéma dvoupotrubního mazacího obvodu

1 – mazací přístroj, 2 – řídicí jednotka, 3 – dávkovač dvoupotrubní, 4 – koncový tlakový spínač, 5 – ruční uzavírací ventil, 6 – tlaková hadice ohebná, 7 – spoj ohebné hadice, 8 – zátka, 9 – spoj potrubní, 10 – T-kus, 11 – příchytka potrubí, 12 – přípoj přímý do mazaného místa, 13 – přípoj rohový do mazaného místa, 14 – redukce trubek, 15 – trubka  $\phi$  35x5, 16 – trubka  $\phi$  3/4" x 3,5, 17 – trubka  $\phi$  10x 1,5



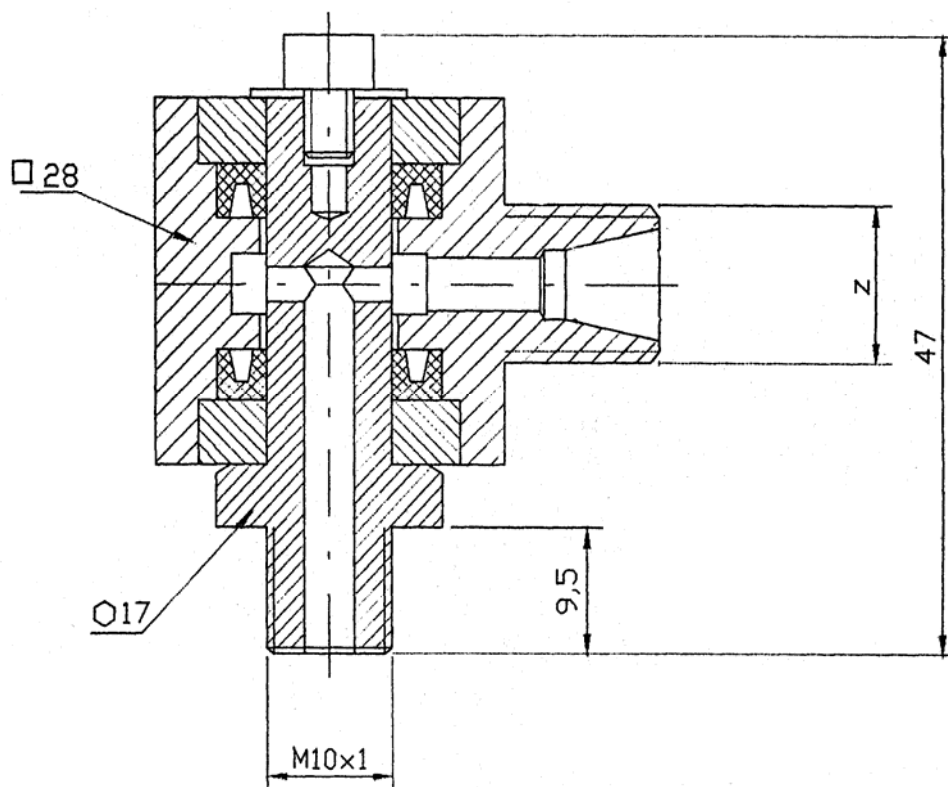
**OBR. 104** Příslušenství mazacího obvodu

a- ohebná hadice bez opletu, b – spoj ohebné hadice, c – protikus ohebné hadice, d – spoj potrubí, e – spoj – redukce, f – přípoj přímý navařovací, g – spojení T-kus

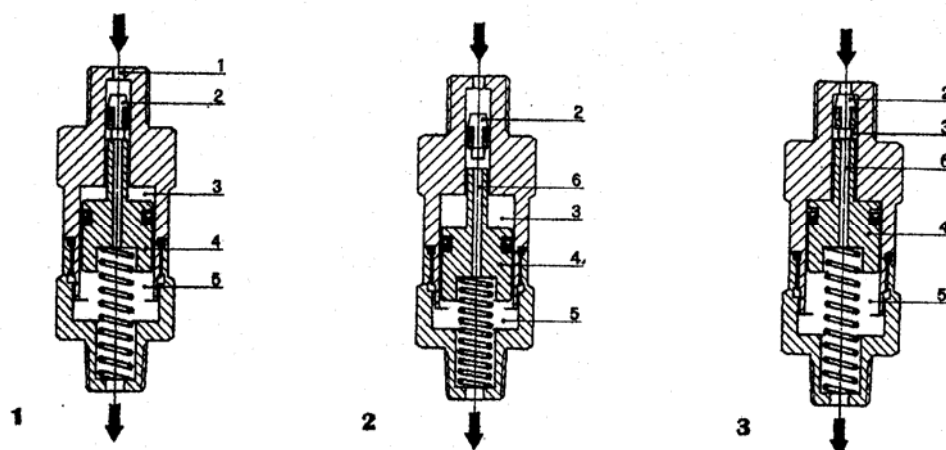


**OBR. 105** Příslušenství mazacího obvodu

a – přípoj přímý se zpětnou záklopkou, b- přípoj přímý otočný, c- přípoj rohový se zpětnou záklopkou, d – přípoj rohový otočný, e- zářezný prsten, f – zátka, g – přípoj rohový 45°, h- převlečná matice vnitřní, i - převlečná matice vnější, j – čistící filtr, k – rozvodná kostka.



OBR. 106 Přípoj rohový rotační (max. tlak 4 MPa, max. otáčky 15 ot. min<sup>-1</sup>)



OBR. 107 Pracovní polohy jednopotrubního dávkovače SKIB, SMIB



Rozvodné kostky slouží k upevnění jednopotrubních dávkovačů do mazacího obvodu. Připojeným přívodním potrubím je přiváděno tlakové mazivo (olej, tekutý tuk). Dávkovače namontované do rozvodné kostky odebírají při každém cyklu jednu dávku maziva, přebývajícím mazivo odtéká vývodním potrubím k další rozvodné desce, event. zůstává v kostce a je doplňováno při dalším cyklu tj. koncová kostka uzavřená zátkou nebo koncovým spínačem. Montují se v libovolné poloze na stěnu stroje či zařízení. Připevňují se prostřednictvím dvou šroubů. Po připojení dávkovačů, přívodního a vývodního potrubí a dokonalém odvzdušnění celého mazacího obvodu nevyžadují rozvodné kostky žádnou údržbu či obsluhu.

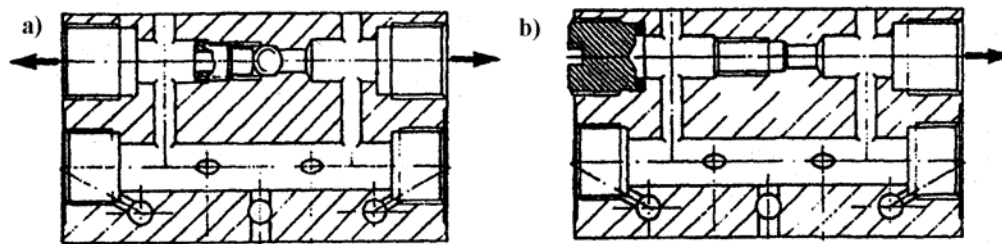
Poslední obr. 107,108 ukazují jednopotrubní dávkovač (obr. 107) typu SKIB, SMIB. Jednopotrubní dávkovače řady SKIB a SMIB jsou mazacím prvkem jednopotrubních centrálních mazacích systémů, který slouží k dávkování předem zvolených dávek maziva, oleje, do jednotlivých mazaných míst. SKIB se používá k osazení do rozvodných desek (obr. 105.k) a SMIB k přímému osazení mazaného místa. Vlastní dávkovač sestává ze spodní a vrchní části. V obou částech tělesa dávkovače jsou umístěny součásti zabezpečující vlastní funkci dávkovače (těsnící pryžová kuželka – zpětná záklopka, komory, dávkovací píst s tlačnou pružinou těsněný pryžovým kroužkem). Na spodní části tělesa dávkovače je vyraženo označení jeho jmenovité dávky a šipka označují směr průtoku maziva dávkovačem a při každém tlakovém impulsu, vyvolaném mazacím přístrojem vzniká v rozvodovém potrubí a v rozváděcí kostce tlakový ráz. Vlastní pracovní cyklus je znázorněn na obr. 107.

**1.** Tlakové mazivo je přiváděno do přívodního otvoru (1), těsnící pryžová kuželka (2), je doražena na dávkovací ventil (4), tlakovým rázem dochází k jejímu zúžení a následnému obtékání maziva až do komory (3). Hromaděním maziva v komoře (3) je uváděn do pohybu dávkovací píst (4), který vytlačí v předešlém mazacím cyklu nahromaděné mazivo z komory (5) do vývodu dávkovače, a návazně do potrubí a mazaného místa. V dávkovači i celém mazacím obvodu naroste tlak na maximální pracovní úroveň a udržuje se až do okamžiku, kdy v mazacím přístroji dojde k otevření odlehčovacího ventilu a tlak v systému poklesne na úroveň cca 0,01 MPa ( odlehčovací tlak).

**2.** Při poklesu tlaku v mazacím obvodu na tlak odlehčovací dojde k uvolnění dávkovacího pístu (4) a prostřednictvím tlačné pružiny dochází k jeho návratu do výchozí polohy. Svým pohybem, spojeným s nárůstem tlaku maziva v komoře (3), odstraňuje těsnící pryžovou kuželku (2), ta uzavírá cestu zpět do rozvodné kostky (1), a otevírá přepouštěcí otvor (6), mazivo se tímto otvorem přesunuje z komory (3) do komory(5).

**3.** Píst dokončil svůj zdvih. Mazivo se zcela přesunulo z komory (3) do komory (5). Těsnící pryžová kuželka (2) uzavřela přepouštěcí otvor (6). Dávkovací píst je připraven na další zdvih.

Pro zabezpečení spolehlivého přesunutí dávkovacího pístu do výchozí polohy, je nutno dodržet mezi jednotlivými tlakovými impulsy nejméně 5 vteřinové intervaly. U ručních mazacích strojů se doporučuje mezi jednotlivými pohyby ovládací páky dodržet interval 30 až 40 vteřin. Na obr. 108 pak najdeme tzv. progresivní rozdělovač řady PMIA.



**OBR. 108** Progresivní rozdělovač řady PMIA – zobrazení sekce s jedním vývodem

Progresivní rozdělovače řady PMIA jsou mazacím prvkem centrálních olejových nebo tukových mazacích systémů, které jsou následně nazývány jako obvody s progresivními rozdělovači. Jsou doporučeny i pro užití v obvodech s větším rozsahem, tzn. i pro obvody s několika desítkami mazaných míst. Mazací obvody s progresivními rozdělovači se obvykle aplikují pro trvalé, pravidelné mazání různých strojů, strojních technologií. Progresivní rozdělovače jsou blokové rozdělovače s řadou volitelných jmenovitých dávek pro jednotlivé vývody, a to 0,10; 0,15 a 0,20 cm<sup>3</sup>/cyklus. Vývody z progresivního rozdělovače jsou situovány horizontálně. Maximální pracovní tlak je 16 MPa. Progresivní rozdělovač PMIA je kompaktní mazací prvek, sestávající z jednoho kusu, obsahující od 3 do 10 libovolných pracovních pístů, tedy maximálně 20 vývodů (2 vývody na jeden pracovní píst). Protilehlé vývody příslušející jednomu pístu lze spojit do jednoho vývodu (uvnitř tělesa progresivního rozdělovače) – obr. 108.b., čímž se dosáhne zdvojnásobení dodávaného množství dávky z jednoho vývodu. Přiváděním tlakového maziva do přívodu progresivního rozdělovače jsou postupně jednotlivé pracovní písty posouvány do svých dorazových poloh a současně je mazivo nacházející se pod písty vytlačováno z vývodů. Tato funkce se opakuje po takovou dobu, dokud je do progresivního rozdělovače přiváděno mazivo. Progresivní rozdělovač vybavený signalizací chodu má příslušný píst opatřen kolíkem, který se pohybuje společně s pístem a ten provádí mechanické spínání elektrického kontrolního obvodu. Při navrhování mazacího obvodu se doporučuje, aby vývody jednoho rozdělovače byly napojeny na mazaná místa s podobnými protitlaky, tak je vyloučeno i minimální kolísání jmenovité dávky.

#### 4. TRIBODIAGNOSTIKA

Při práci stroje nebo strojního zařízení se opotřebením uvolňují částice kovů nebo jejich sloučeniny. Tyto produkty jsou mazacím olejem vyplavovány z třecích míst a spolu s olejem cirkulují v mazací soustavě stroje. Se vzrůstajícím opotřebením se zvyšuje koncentrace těchto příměsí v oleji.

Tribotechnická diagnostika je jednou z metod bezmontážní technické diagnostiky využívající maziva jako média pro získání informací o dějích a mechanických změnách v technických systémech, u nichž jsou maziva aplikována. Jejím posláním je zjišťovat, vyhodnocovat a oznamovat výskyt cizích látek v mazivu, a to jak z hlediska kvantitativního, tak i kvalitativního. Vhodná interpretace výsledků z provedených zkoušek umožňuje nejen včasné upozornit na příznaky vznikající poruchy, ale v řadě případů umožní i lokalizaci místa vzniku mechanické závady, čímž vlastně navazujeme na kapitolu 2.6. (byla zmínka v ad. 5.).

Význam tribotechnické diagnostiky potom spočívá, že se stává účinným a objektivním nástrojem sledování procesu opotřebení mechanických systémů s předpokladem vhodného využívání maziv.

#### 4.1. Základní pojmy a úvod do problematiky

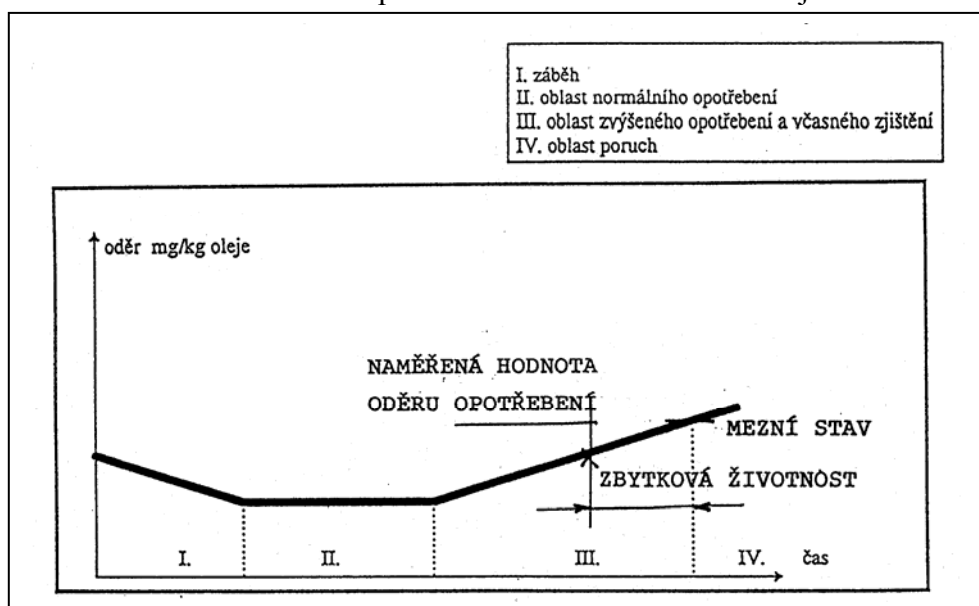
Sledování stavu opotřebení strojních zařízení, přesněji jednotlivých třecích uzlů strojního zařízení, se provádí na základě stanovení obsahu otěrových kovů v mazivu, přičemž důležitý je hlavně trend naměřených hodnot. Mazané třecí uzly se postupně opotřebovávají, cirkulující olej strhává stopové částice kovu a ty zůstávají v oleji ve formě suspenze. Odborným vyhodnocením množství, velikosti a tvaru těchto částic získáme obraz o druhu opotřebení a technickém stavu jednotlivých třecích uzlů. Správná interpretace výsledků umožňuje včas upozornit na příznaky vznikající poruchy, ale v mnoha případech pomáhá lokalizovat místo vzniku mechanické závady.

Sledováním změn kvality vlastního maziva dovoluje určení životnosti maziva zjištěním stupně jeho znehodnocení jak produkty tepelně-oxidačních procesů, tak i vnějšími nečistotami. Provádí se naměřením a vyhodnocením takových parametrů maziva jako viskozita, kyselost, bod vzplanutí, obsah nečistot atp. Zvýšené množství nečistot v oleji znamená nejen větší opotřebení mazaných částí, ale může způsobit i poruchy funkce mazací soustavy. Na základě stanovení životnosti maziv je možné stanovit optimální intervaly výměny maziv nebo vyměňovat maziva po dosažení mezních hodnot.

Takže tribodiagnostika plní tedy dva hlavní úkoly:

- c) sledování stavu opotřebení strojních zařízení,
- d) sledování degradace samotného maziva.

Degradační (postupná) forma vzniku poruchy (obr. 22) jednoznačně dává možnost určit, resp. prognózovat tzv. zbytkovou životnost (čas do nutné opravy) jak v bodové, tak intervalové podobě. Pro sledování nárůstu otěrových částic v mazivu, se jako sledovaný parametr používá počet a velikost otěrových částic v závislosti na čase, což je známá křivka pod označením – VANOVÁ KŘIVKA- obr. 109. Stejný průběh má i závislost vibrací na čase a intenzita poruch na čase u sledovaného objektu.



**OBR.109** Obecný průběh poškození vlivem opotřebení

Rozhodujícím faktorem tribotechnické diagnostiky (TTD) je v zásadě rychlost a přesnost provedeného rozboru. Potom lze v závěru této úvodní kapitoly uvést shrnutí v podobě volné definice:

**Tribodiagnostika** – je jednou z metod technické bezdemontážní diagnostiky, která využívá maziva k objektivizaci zjištění technického stavu sledovaného objektu a objektivizaci zjištění kvality vlastního maziva.

#### **4.2. Rozdělení metod tribodiagnostiky**

Jak bylo naznačeno v předchozí kapitole, z hlediska plnění úkolu, rozděluje metody TTD do dvou základních skupin:

##### **A. Sledování stavu opotřebení strojních zařízení**

Tuto skupinu metod je možné rozdělit do dalších dvou základních skupin:

- **Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů**
  - atomová spektrofotometrie
  - atomová emisní spektrofotometrie
  - atomová absorpční spektrofotometrie
  - polarografie a voltametrie
  - metoda RAMO
  
- **Metody pro hodnocení morfologie a distribučního rozdělení částic kovů**
  - částicová analýza neboli ferografie s vyhodnocením
    - feroskopickým (morfologie a chemické složení)
    - ferodenzimetrickým (distribuce vzhledem k velikosti)

##### **B. Sledování degradace samotného maziva**

Což je vlastně hodnocení fyzikálně chemických parametrů maziva. Z tohoto pohledu rozděluje oleje na oleje motorové a průmyslové. Takže následně mluvíme o sledování, resp. o

- aplikaci následujících testů
  - kinematická viskozita,
  - bod vzplanutí,
  - obsah vody,
  - číslo celkové alkality a kyselosti,
  - Conradsonův karbonizační zbytek,
  - kapková zkouška,
  - celkové znečištění,
  - mechanické nečistoty.

a o tzv.

- spektrální analýze olejů

Dosti často se setkáme v literatuře i praxi se zjednodušeným rozdělením

- jednoduché zkoušky pro provozní kontrolu maziv,

- standardní zkoušky pro přesné stanovení kvality maziv (ad. B)
- speciální metody pro celkovou diagnostiku maziv a strojního zařízení (ad. A)

### 4.3. Odběr vzorků pro analýzu

Vzorek musí představovat průměrné složení používaného maziva ve strojním zařízení. Vzorky by proto měla odebírat jedna osoba, nebo musí být vypracován přesný pracovní postup a jednotná metodika pro odběr. Pro odběr vzorku je vypracováno několik základních postupů, které jsou zakotveny v ČSN. Nejpresnější a pracovníčně náročná je ČSN 65 6207. Jedná se o odběr vzorků hydraulických kapalin, kde je nutné věnovat zvýšenou pozornost množství a velikosti nečistot.

Všeobecně se vzorky odebírají do čistých vzorkovnic o obsahu 300 ml. Odebraný vzorek se popíše a předá k rozboru. Popis musí být přesný a čitelný. O způsobu hodnocení rozhoduje tribotechnik, který je zodpovědný za vedení diagnostiky a mazacích služeb.

Zařízení musí být minimálně 20 minut v provozu z důvodu dokonalého promíchání a ohřátí oleje na provozní teplotu. Pak odpustíme cca 500 ml oleje do čisté nádoby a nalijeme zpět do zařízení. Po propláchnutí odběrných zařízení provedeme odběr cca 200 – 250 ml oleje. Odebraný vzorek označíme a předáme ke zkoušce. Takže mluvíme:

- o místě odběru,
- o okamžiku odběru,
- o intervalu odběru,
- o způsobu odběru,
- o uložení vzorku.

Příkladem je např. metodika uvedená heslovitě v bodech pro odběr motorového oleje, což samozřejmě platí i všeobecně.

1. Olej se odebírá při pracovní teplotě motoru (min. teplota oleje 65°C) max. 15 min. po zastavení motoru.
2. Odběr vzorku se provádí pomocí přípravku pro odběr (zpravidla formou odsávání) vzorku z olejové nádrže motoru stále stejným způsobem (např. otvorem pro kontrolní měрку).
3. Vzorek musí být odebrán před doplněním olejové náplně novým olejem.
4. Při odběru vzorku ani po něm se nesmí do vzorku dostat nežádoucí příměsi. Tento požadavek je nutno zabezpečit jak čistotou přípravku pro odběr vzorku, tak i čistotou vzorkovnice v níž bude vzorek uchováván do provedení analýzy.
5. Vzorkovnice musí být suchá, čistá, ihned po odběru musí být pečlivě uzavřena a označena štítkem, který obsahuje číslo vzorku.
6. Po odebrání vzorku je třeba provést neprodleně záznam všech potřebných údajů do knihy vzorků, pod příslušné číslo vzorku.

Každý odebraný vzorek (vzorkovnice) musí být při předání do laboratoře označen těmito údaji:

- číslo a název stroje
- mazané místo
- druh maziva
- datum odběru
- kdo odebral
- označení požadovaných rozborů

Nyní teprve může následovat vlastní vyhodnocení a otázkou zůstává účel rozboru , tzn. zda rozbor děláme pro využití:

- v mazacích službách – objektivní posouzení kvality (stavu) olejů, tzn. přechod z časového plánu výměn na výměny na základě laboratorního rozboru,
- v údržbě – resp. systému údržby, tzn. na základě objektivního určení technického stavu plánovat a řídit další průběh údržby, resp. výroby. V provozní praxi pak mluvíme o přechodu od preventivně korektivní na preventivně proaktivní údržbu s produktivním přínosem do výroby,
- v kontrolně inspekční a revizní činnosti – jsme v oblasti objektivizace detekování , specifikování, lokalizování poruchy a samozřejmě prognózování (predikování) zbytkové životnosti (bodové a intervalové), tedy vlastně doby do nutné opravy. Častěji mluvíme o objektivních prohlídkách metodami technické diagnostiky,
- v provozu – nejčastěji mluvíme o zproduktivnění výroby pomocí produktivního přínosu údržby (snížení prokazatelných nákladů na údržbu, snížení doby neplánovaných odstávek, snížení poruchovosti, zvýšení provozní spolehlivosti atd.)

Potom ve shrnutí můžeme uvést, že pro komplexnost vyhodnocení jsou nutné tyto základní údaje, resp. informace:

1. Identifikační údaje o stroji
2. Technická dokumentace
3. Provozní údaje mechanika stroje
4. Údaje o druhu maziva
5. Údaje o údržbě
6. Provozní údaje inspekčně diagnostické
7. Vzorek s průvodním štítkem
8. Devastovaný vzorek
9. Protokol o výsledcích testů ověřený vedoucím diagnostického střediska s popisem další činnosti
10. Příkazy vedoucího diagnostického střediska
11. Komunikace diagnostického střediska a laboratoře
12. Požadavek na mimořádný odběr vzorku
13. Protokol rozboru maziv
14. Výsledky AAS (AES) a ferogramy.

#### **4.4. Tribodiagnostika degradace maziva**

Stanovení jakosti čistých maziv při vstupní kontrole a zjištění stavu upotřebeného maziva během provozu, vzhledem k jeho další použitelnosti, patří k dalším podstatným úkolům tribotechnické diagnostiky. V závislosti na základním roztřídění např. olejů existují i adekvátní soubory kvalitních ukazatelů ke sledování nejdůležitějších fyzikálně-chemických vlastností.

Zatímco dosud je olej v nejrůznějších strojních zařízeních vyměňován po uplynutí závazně platných výměnných lhůt bez jakéhokoli vztahu k jeho užitným vlastnostem, realizace TTD umožňuje při kvalitní obsluze hospodárnější využití maziva.

#### 4.4.1. Tribodiagnostika degradace mazacího oleje

Stárnutí (degradace) oleje je v praxi běžným jevem a vzniká v důsledku jeho reakce se vzdušným kyslíkem. Rozsah a rychlost změn, způsobených oxidací závisí na chemickém složení maziva, na přítomnosti látek urychlujících nebo naopak zpomalujících oxidační reakce, ale hlavně na teplotě, která je vždy aktivačním činitelem při oxidačních reakcích, a to jak při vzniku, tak i jejich průběhu. Oxidace olejů je řetězovou reakcí.

Rozklad ropných olejů lze potom již pozorovat za normálního tlaku již při teplotách okolo 150°C, zejména obsahují-li sloučeniny s malou energií vazby. Ke zřetelnému rozkladu, hlavně při delším působení tepla dochází při teplotách 250÷300°C. Termická stabilita olejů je závislá na velikosti molekuly i na složení oleje.

##### 4.4.1.1. Hodnocení fyzikálně chemických parametrů mazacího oleje

Změny fyzikálních a chemických vlastností oleje, k nimž během exploatace dochází, si vynucují z hlediska tribotechnické diagnostiky sledování jednotlivých fyzikálně chemických parametrů oleje, které poskytují relativně přesný obraz o jeho okamžitém stavu i o možnostech jeho dalšího provozování v objektu. Provádění všech testů předepsaných jakostní specifikací oleje by bylo technicky i ekonomicky neúnosné. Vedle normalizovaných zkoušek pro hodnocení fyzikálně chemických parametrů maziva existuje celá řada tzv. smluvních testů, kterými lze do jisté míry normalizované zkoušky nahradit, neboť existuje dobrá korelace se zkouškami, které test nahrazuje.

Východiskem pro hodnocení dynamiky změn jednotlivých parametrů za provozu jsou parametry čistého oleje nalitého do objektu. Provozní degradace maziva je dynamický proces probíhající v reálném čase, mající své zákonitosti, které je nutno sledovat, identifikovat a kvantifikovat, tzn. sledovat rychlost změn v čase.

##### 4.4.1.1.1. Kinematická viskozita

Viskozita je v obecné rovině rozhodující vlastností maziva v oblasti hydrodynamického tření a je proto hlavním zkušebním údajem mazacích olejů a základem pro jejich třídění a výběr. Změny viskozity během exploatace oleje mohou probíhat dvěma směry :

- zvyšováním viskozity
- poklesem viskozity

Zvyšování je způsobeno meziprodukty oxidační povahy, produkty částečné oxidace oleje, vytvářením emulze těchto produktů s vodou, případně znečišťováním kondenzačními produkty. Snižování viskozity je způsobeno především tepelnou a mechanickou degradací aditiv, popřípadě záměnou olejů, u motorových olejů vniknutím paliva do mazacího systému.

Pokud je viskozita příliš nízká, dochází k meznímu až suchému tření s důsledkem nadměrného opotřebení, popřípadě zadření třecích ploch. Vysoká viskozita způsobuje ztráty energie vzhledem k velkému koeficientu tření. U olejů průmyslových je charakteristická závislost jejich viskozity na teplotě. Změna teploty o 1°C znamená změnu viskozity až o 5 %. Vlastní měření se provádí pro kinematickou viskozitu.

Kinematická viskozita patří mezi základní kvalitativní ukazatele olejů, charakterizuje mazivost a slouží k vzájemnému třídění. Při bezporuchovém provozu

maziva ve strojním zařízení viskozita vzrůstá zahušťováním oleje nečistotami a oxidačními produkty. V opačném případě klesá např. proniknutím paliva nebo jiných zředujících látek do mazací soustavy. Všechny uvedené změny se hodnotí, přičemž z diagnostického hlediska mají největší význam náhlé změny viskozity, které téměř vždy souvisejí s mechanickou závadou.

Pokud by viskozita byla příliš nízká, docházelo by ke smíšenému až suchému tření, jehož důsledkem bývá velké opotřebení, v mezních případech až zadření třecích ploch. Příliš vysoká viskozita naopak způsobuje ztráty energie vzhledem k velkému koeficientu tření.

Měření viskozity je možno provádět několika druhy viskozimetrů podle ČSN (viskozimetry typu Cannon-Fenske, Pinkevič, Ubbelohde, Cannon-Fenske-Opag, Kössler apod.) Všechny uvedené viskozimetry jsou kapilárního typu a kinematická viskozita zkoušeného vzorku se vypočítá podle vztahu :

$$v = c \cdot \tau \quad [\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde  $c$  je konstanta viskozimetru (uvedená ve zkušebním listě)  
 $\tau$  je aritmetický průměr doby průtoku viskozimetru

Ve všech případech jde o časově velmi náročná měření. Přesnost stanovení je zajištěna dle ČSN tak, že pouze u jednoho případu z 20 stanovení může dojít k převýšení stanovené hodnoty o 0,35 % aritmetického průměru. Při sériovém stanovení lze proměřit asi 40 vzorků za směnu. Pro provozní účely lze rovněž využít náhradní metodiky s příslušným přístrojovým vybavením.

K rychlému a pohotovému hodnocení se používá mnoho jednoduchých metod s konečným určením hodnoty, rozhodující o další použitelnosti oleje. Jedná se především o výtokové pohárky různé konstrukce, měřící dobu výtoku. Měřit lze při různých teplotách. Výsledek se odvozuje z grafických závislostí a přibližně určuje možnost dalšího použití oleje v provozu. Viskozita oleje by se během provozu neměla změnit víc než o  $\pm 20\%$ .

#### 4.4.1.1.2. Bod vzplanutí

Výše bodu vzplanutí bývá důležitým jakostním i bezpečnostním ukazatelem mnoho druhů čistých maziv, u upotřebených olejů pak pokles hodnot slouží ke stanovení přibližného obsahu zředujících a hořlavých látek. Hodnocení se provádí převážně podle ČSN 65 6212 (podle Clevlanda) a ČSN 65 6064 (podle Marcusona).

Bod vzplanutí je nejnižší teplota, při které zahříváním v předepsaném přístroji za podmínek zkoušky přechází z oleje do ovzduší nad hladinou oleje již tolik par, že vzniklá směs přiblížením plaménku vzplane a opět zhasne.

Měrnou jednotkou je stupeň Celsiovy stupnice [ $^{\circ}\text{C}$ ] a ke zkoušce je třeba asi 100 ml oleje. Výše bodu vzplanutí u čistých olejů závisí na jejich frakčním složení a přítomnosti nejtěkavějších podílů. Pohybuje se u motorových olejů v rozmezí od  $190^{\circ}\text{C}$  až po  $235^{\circ}\text{C}$ . Zkouška se provádí v kelímku na místě, které je chráněno od průvanu a je dostatečně tmavé, aby bod vzplanutí byl dobře viditelný.



V posledních letech se ve světě stále více dostávají do popředí automatické způsoby měření, kde celý postup je plně automatizován s tím, že se po dosažení bodu vzplanutí zůstane hodnota fixována na digitálním displeji nebo zapsána tiskárnou.

Po určení stavu a další životnosti maziva je znalost bodu vzplanutí důležitá hlavně u motorových olejů, kde se pomocí poklesu bodu vzplanutí stanovuje přibližně množství paliva v oleji.

Z hlediska vlastního provedení rozeznáváme u ropných výrobků :

#### □ **Bod vzplanutí v uzavřeném kelímku**

Podstata zkoušky : vzorek se zahřívá bez míchání v uzavřeném kelímku a v pravidelných teplotních intervalech se zavádí do kelímku na 2 s. zkušební plamének a zjišťuje se nejnižší teplota, při které vzplane a opět zhasne směs par se vzduchem, která se vytváří nad hladinou vzorku.

Podle předpokládaného bodu vzplanutí se zvolí :

- **Postup A** : kelímeček je umístěn ve vyhřívací lázni se vzdušnou komorou, tj. s prázdným prostorem mezi kelímečkem a vyhřívací kapalinou. Během zkoušky se udržuje teplota vyhřívací lázně na konstantní výši.
- **Postup B** : kelímeček se vkládá přímo do lázně ochlazené předem na teplotu asi 10°C pod předpokládaným bodem vzplanutí (nikoli však pod -35°C, aby neztuhla rtuť v teploměru). Teplota lázně se pak zvyšuje jejím zahříváním předepsanou rychlostí.

#### □ **Bod vzplanutí a hoření v otevřeném kelímku** (ČSN 656212)

Podstata zkoušky : spočívá v zahřívání vzorku v otevřeném kelímku předepsanou rychlostí do prvního vzplanutí par vzorku nad hladinou po přiblížení zkušebního plaménku. Při dalším zahřívání vzorku, při kterém páry vzplanou a hoří bez přerušení nejméně 5 s.

Mezní hodnota bodu vzplanutí pro nutnou výměnu oleje je přibližně o 20 – 25°C nižší než hodnota bodu vzplanutí nového oleje a pohybuje se tedy např. u motorových olejů v rozmezí 170 – 200 °C.

Bod vzplanutí v uzavřeném kelímku je důležitá požárně technická charakteristika. Je to nejnižší teplota vtažená na tlak 101,3 Pa, při níž vzorek hořlavé kapaliny zahříváný v předepsaném přístroji za podmínek stanovených touto normou vyvine tolik par, že jejich směs se vzduchem, která se vytváří nad hladinou vzorku, po přiblížení zkušebního plaménku vzplane a opět zhasne. Postupu podle normy lze použít především pro ropné výrobky a dále pro hořlavé kapaliny, jejichž normy jakosti se na tuto normu odvolávají a je nutné si také uvědomit, že existují teplotní hranice, kdy maziva ztrácejí postupně své původní funkční vlastnosti do té míry, že již nemohou nejen plnit na ně kladené úlohy, ale mohou být sama příčinou různých obtíží. Tyto teplotní hranice můžeme dát do souvislosti s fázovými změnami maziv. U kapalných maziv je to stanovení bodu zákalu, bodu tuhnutí, bodu vzplanutí a hoření, u plastických maziv bodu skápnutí, případně meze pevnosti.

#### 4.4.1.1.3. Obsah vody

Provádí se vždy ve dvou etapách . V první etapě se voda kvalitativně zjišťuje některou z jednoduchých metod, např. zahřátí malého množství oleje na rozpálené kovové podložce. Podle praskavého zvuku se usuzuje na přítomnost vody v porovnání s připravenými standardy. Teprve po zjištění obsahu vody se přistupuje ke kvantitativnímu stanovení některou z laboratorních metod. Pro účely tribotechnické diagnostiky se jeví jako nejvhodnější Fischerova titrační metoda, popřípadě stanovení vody coulometricky.

Přítomnost vody v mazacím a hydraulickém oleji je nežádoucí z několika důvodů, neboť způsobuje či podporuje:

- korozi součástí
- vypadávání aditivů
- pění oleje
- tvorbu emulze
- zvyšování viskozity
- snižování oxidační stability oleje
- tvorbu kalů

Voda nebo vlhkost vždy znehodnocují kvalitu maziva. Výskytu stopového množství kondenzující vody lze jen stěží zabránit a v oleji bývá často přítomna. Některé složky aditivovaných olejů mají k vodě značnou afinitu a sedimentací se z maziva vylučují. Voda tedy snižuje kvalitu mazacího filmu a značně zvyšuje korozi mazaných částí.

Určování mezní přípustné hodnoty obsahu vody v mazacím oleji vychází z všeobecně přijímaného názoru kdy se povoluje max. 0,2% hmotnostního obsahu vody.

#### □ Metody hodnocení obsahu vody

Přítomnost vody v oleji lze kvalitativně zjistit vizuálně , nebo též „prskací zkouškou“ podle ČSN 65 6231. Přesné kvantitativní stanovení vody v oleji se provádí potenciometrickou titrací, metodou podle K.Fischera, podle ČSN 65 0330. Další , i když méně přesnou a citlivou metodou, je metoda destilační.

##### • **Vizuální zkouška**

Princip zkoušky spočívá ve vizuálním posouzení správně odebraného a dokonale protřepaného vzorku oleje. Je-li ve vzorku obsažena voda v určité minimální koncentraci (0,025%), dojde k zakalení oleje, u vzorků bez obsahu vody je olej čirý. Použití metody předpokládá dostatečné zkušenosti pracovníka vzhledem ke zcela subjektivní podstatě metody. Zkouška je vhodná pro orientační posouzení přítomnosti vody u čerstvých olejů v provozních podmínkách.

##### • **Prskací zkouška**

Z dobře homogenizovaného vzorku se odebere kapátkem, stříkačkou, nebo tyčinkou malé množství oleje a 2 – 3 kapky se kápnou na předem vyhřátou (asi 180°C) zkušební plochu. Olej se na horké ploše rozptýluje do šířky a v případě, že vzorek neobsahuje ani stopy vlhkosti zůstává povrch skvrny zcela stejnorodý bez vzniku jakýchkoliv bublinek. Spodní mezí rozlišitelnosti při této metodě je obsah vody 0,02%, kdy se vytváří několik mikrobublinek s vířivým pohybem uvnitř skvrny. Při obsahu 0,1% vznikají drobné bublinky (0,5mm) po dobu 1 – 2 s., při obsahu 0,2% drobné bublinky (1mm) po dobu asi 3s.

Prskací zkouška je pro provozní podmínky velmi vhodná, zejména pro kvalitativní ohodnocení, zda je v oleji větší než stopové množství vody, bez možnosti přesné kvantifikace. Dosti často se setkáme se slangovým označením, zkouška žehličkou.

- **Coulometrická metoda**

Jedná se o přesnou metodu k určení stopových množství vody vypracovanou K.Fischerem a definovanou v ČSN 65 0330. V titrační nádobce se průchodem proudem uvolňuje jód  $J_2$ , který reaguje s vodou. Jeden mol jódu reaguje s jedním molem vody, takže 1mg vody je ekvivalentní náboji 10,71A.s. Při titraci je po zreagování veškeré vody generovaným jódem indikována koncentrace nadbytečného jódu v nádobce.

- **Destilační zkouška**

Umožňuje kvantitativní stanovení množství vody (od 0,02%), ale s menší citlivostí a přesností než u coulometrické metody. Provádí se destilace např. s xylenem podle ČSN 65 6062.

#### 4.4.1.1.4. Číslo alkality a kyselosti

Mezi parametry sledující provozní znehodnocování olejů v praxi patří i údaje o podílu chemických složek v oleji. Jejich obsah je ovlivňován provozními faktory, režimem zařízení, kvalitou oleje a jeho ošetřováním. V ropě bývají obsaženy naftenové kyseliny a menší měrou i mastné kyseliny a fenoly.

V průběhu provozní degradace olejů vznikají nižší a vyšší organické kyseliny. V mazacích olejích spalovacích motorů mohou být přítomny i minerální kyseliny jako produkty spalování. Volné minerální kyseliny působí korozivně a proto je jejich přítomnost v olejích nežádoucí, zvláště z těchto důvodů, že způsobují chemické opotřebení. Z těchto skutečností vyplývají dva negativní důsledky:

- zvýšení korozivnosti oleje jako důsledek vyšší kyselosti,
- špatná funkce oleje jako důsledek nesprávné viskozity.

Vzhledem k tomu, že číslo kyselosti je jediný ukazatel postihující stárnutí průmyslových olejů, je potřeba jeho stanovení věnovat náležitou pozornost.

U průmyslových olejových náplní dochází daleko rychleji ke znečištění než ke stárnutí.

#### □ Stanovení přítomnosti kyselin a zásad rozpustných ve vodě dle ČSN 65 6071

Metoda je založena na vytřepání kyselin a zásad rozpustných ve vodě z ropných výrobků vodou nebo vodným roztokem lihu. Hodnota pH vodního výtřepku se stanoví pH metrem nebo se určí jeho reakce indikátorem.

#### □ Stanovení čísla kyselosti dle ČSN 65 6070

Metoda je založena na titraci kyselých sloučenin, obsažených ve zkoušeném výrobku alkoholickým roztokem hydroxidu draselného na barevný indikátor. U světlých výrobků se stanoví kyselost vyjádřena v mg KOH/100cm<sup>3</sup>, u olejů číslo kyselosti v mg KOH/g.

- Číslo celkové kyselosti (TAN) informuje o nárůstu látek kyselého charakteru, které mohou korozivně napadat materiál;

- Číslo celkové alkality – TBN (Total Base Number) je ukazatelem celkové alkality maziva, tedy obsahu organických a anorganických látek zásadité povahy, tzn. schopnost neutralizace kyselých zplodin.

**Číslo celkové alkality** se označuje zkratkou **TBN** (Total Base Number) a jeho stanovení titrační metodou je normováno ČSN 65 6069. Číslo celkové alkality ( $\text{mg KOH.g}^{-1}$ ) udává množství kyseliny chloristé, vyjádřené počtem miligramů hydroxidu draselného, které je třeba k neutralizaci všech zásaditých složek, přítomných v 1 g vzorku oleje.

Ukazatel vyjadřuje celkovou alkalitu maziva, tedy obsah všech organických i anorganických látek zásadité povahy. U čistého oleje udává velikost alkalické rezervy, u upotřebených vzorků stupeň jejího vyčerpání a tedy další životnost maziva. Hodnota informuje, zda olej ještě disponuje účinnými detergentně disperzními vlastnostmi a zda má schopnost neutralizovat kyselá zplodiny (např. spalování) s korozivními účinky. Z praktického hlediska je TBN např. u motorového oleje mírou schopností aditivovaného oleje udržet motor v čistém stavu.

Co se týká limitní hodnoty pro výměnu oleje, uvádí se většinou, že by TBN nemělo klesnout pod 50% hodnoty čistého oleje. Jiné kritérium říká, že hodnota TBN během provozu nesmí být nižší než hodnota čísla celkové kyselosti TAN, tedy aby nedošlo ke korozivnímu napadení vnitřních částí motoru.

**Číslo celkové kyselosti (TAN)** je definováno jako množství KOH v mg, spotřebované na neutralizaci všech kyselých složek obsažených v 1 gramu analyzovaného vzorku oleje. Jeho hodnota informuje o nárůstu látek kyselého charakteru, vznikajících v důsledku termooxidačních a jiných reakcí oleje. Kyselá složky oleje ve větším množství mohou korozivně napadat citlivé ložiskové materiály, zejména ložiskový bronz.

Čísla celkové alkality a kyselosti se stanovují potenciometrickou titrací. Přesnost obou parametrů je stanovena max.  $\pm 10\%$  stanovené hodnoty.

Pro stanovení čísla kyselosti se používá také přibližná metoda, dovolující určit, zda číslo kyselosti zkoušeného oleje překročilo nebo nepřekročilo předem zvolenou hodnotu. Podstatou metody je neutralizace kyselých složek oleje hydroxidem alkalického kovu. Při zkoušce se smíchají stejné objemy oleje a zkušební roztoku, směs se důkladně protřepe a nechá se 15 minut stát. Během této doby se směs rozdělí na dvě vrstvy. Pro výsledek zkoušky je podstatné zbarvení horní vrstvy. Pokud je modrá, případně modrozelená, je číslo kyselosti zkoušeného oleje nižší než mez daná koncentrací hydroxidu ve zkušebním vzorku. Jestliže se barva horní vrstvy změní na zelenou, je číslo kyselosti oleje přibližně rovno dané mezi a pokud je horní vrstva zbarvena žlutozeleně až žlutě, číslo kyselosti oleje danou mez přesáhlo. Tato metoda je spolehlivá a dostatečně přesná. Lze ji používat jak v laboratoři, tak v provozu jako diagnostickou rychlometodu.

#### 4.4.1.1.5. Conradsonův karbonizační zbytek

Conradsonův karbonizační zbytek (CCT) je náchylnost k tvorbě uhlíkatých zbytků při vysokých teplotách. Vysoké CCT při provozu oleje charakterizuje zvýšenou tvorbu úsad (tzn. např. zanášení pístních kroužků u spalovacích motorů apod.). Jedná se o hmotnostní podíl zbytku po termickém rozkladu produktu bez přístupu vzduchu za předepsaných podmínek. Hodnota se vyjadřuje v hmotnostních procentech a přesnost je  $\pm 10\%$  stanovené hodnoty. Je nutné počítat s vysokou časovou náročností (cca 1,5 hod. na vzorek) takže dosti často se používá automatických přístrojů, které vyhodnocují účelnost vzorků najednou.

Vlastní CCT zkoušeného ropného produktu (x) v procentech se pak určuje

$$x = \frac{A_1}{A_2} \cdot 106$$

kde  $A_1$  je hmotnost CCT [g]  
 $A_2$  navážka vzorku [g]

Dosti často je vedle parametru CCT určován i obsah popela (ČSN 65 6063), což je hmotnostní podíl, který vznikne termickým rozkladem za přístupu vzduchu.

#### 4.4.1.1.6. Kapková zkouška

Je orientační metoda pro zjištění stupně znečištění oleje. Výsledky nejsou jednoznačné, ale devizou je rychlost a jednoduchost. Provádí se nanesením kapky zhomogenizovaného oleje na vypnutý filtrační papír a sledování tmavosti, rozsahu a struktury vsáklé kapky oleje do papíru, je měřítkem znečištění.

**Kapková zkouška** je tedy jednoduchým testem k rychlému získání obrazu o současné kvalitě upotřebeného oleje. Poskytuje informaci o velikosti znečištění maziva, o jeho detergentně-disperzních vlastnostech a přítomnosti vody nebo vlhkost. Při hodnocení výsledků nutno přihlédnout k jejímu spíše orientačnímu charakteru, vyžadujícímu v ne zcela jednoznačných případech podrobnější laboratorní rozbor, který pak s konečnou platností rozhodne o možnosti dalšího užívání nebo výměny zkoušeného oleje.

##### □ Princip metody

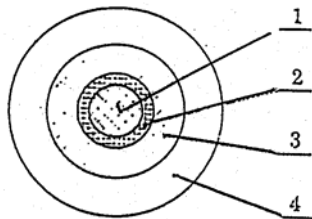
Kapková zkouška se provádí nanesením kapky oleje na filtrační nebo chromatografický papír. Základem metody je sledování tmavosti a rozsahu vsáknutí olejové kapky do pórezního papíru. Má-li sledovaný olej ještě dobrou detergentní účinnost, skládá se vytvořená skvrna v ideálním případě ze čtyř základních a charakteristických kruhově soustředěných zón (obr. 110).

V centrální zóně (1) se soustřeďují největší částice a její neprůsvitnost charakterizuje znečištění maziva v přímém vztahu k obsahu karbonových látek a ostatních nerozpustných nečistot.

Tenčí okrajová zóna (2) zprvu udává rozlohu kapky před jejím úplným vsáknutím a tento úzký prstenec, ohraničující střední část, představuje nejzadnější vnější pásmo velkých karbonových částic.

Různě tmavou difúzní zónu (3) tvoří karbonové částice menší než-li 0,5 $\mu$ m a hodnotí se její detergentně - disperzní vlastnosti oleje. Zmizení této oblasti u olejů signalizuje nebezpečí tvorby karbonových úsad v motoru.

Poslední vnější průsvitná olejová zóna (4) již neobsahuje nečistoty a její obvykle nažloutlé zbarvení souvisí s původní barvou maziva, velikostí oxidačních změn oleje, nebo s přítomností oxidačně narušených frakcí paliva.



**OBR. 110** Rozložení zón v chromatogramu upotřebeného aditivovaného motorového oleje

#### □ Pracovní postup

Před zkouškou je třeba vzorek oleje důkladným protřepáním zhomogenizovat a na vypnutý speciální filtrační papír se tenkou kovovou tyčinkou nanese kapka oleje. Vodorovná poloha podloženého archu papíru umožňuje pravidelné rozprostření skvrny v kruhové ploše. Aby se vyloučilo možné rozstříknutí oleje, nemá být kapka spuštěna z větší výšky než 5 mm. Důležitým předpokladem správného hodnocení je též stejná velikost jednotlivých kapek a vytvořených skvrn, dosahovaná nanesením vždy až třetí rovnoměrné kapky.

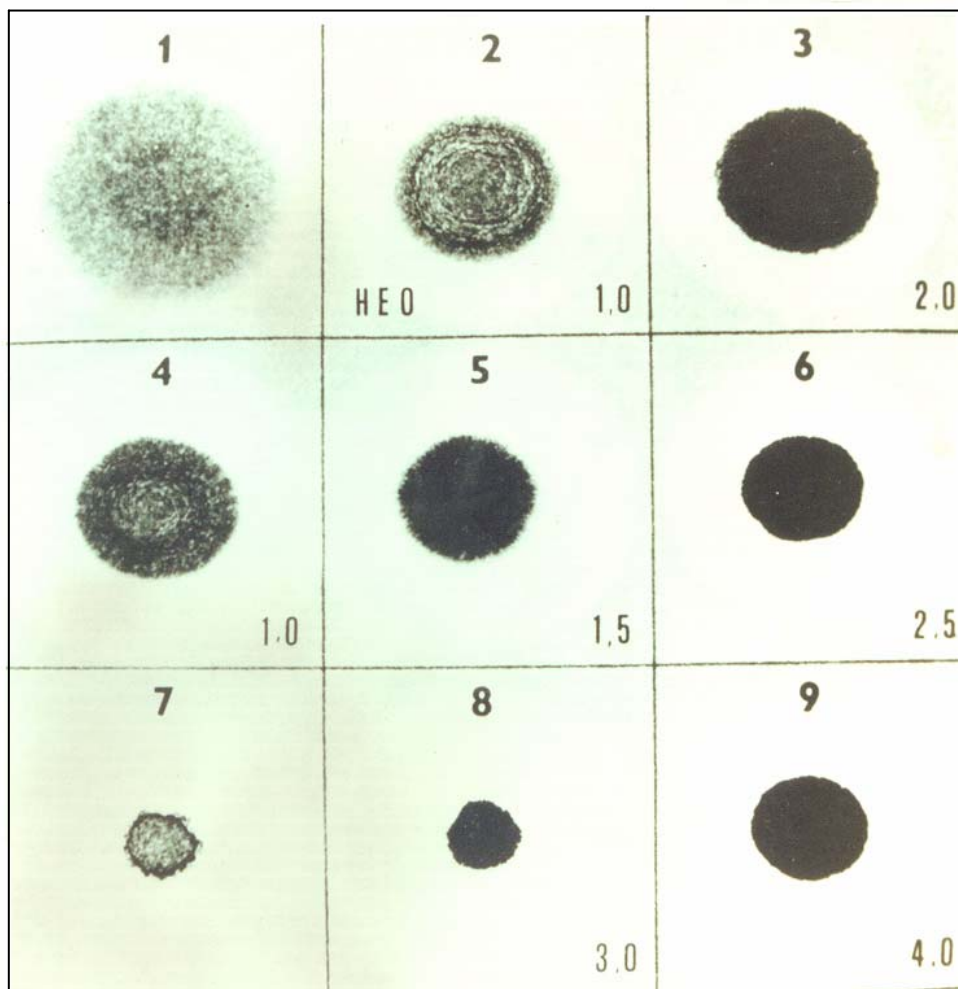
Velikost skvrny a její charakter dále ovlivňuje doba zrání a teplota oleje. Čas potřebný alespoň k částečnému vsáknutí oleje nebývá kratší než 20 minut, ovšem dokonalá stabilizace vzniklého obrazce nastává až po několika hodinách.

**Kapková zkouška** se provádí s olejem teploty asi 20°C (obvyklá teplota teplotní místnosti), takže horký olej se zprvu nechá zchladnout. Kapka horkého a podstatně méně viskozního oleje se sice na papíře okamžitě vsakuje, ale během několika málo vteřin je vzniklý obrazec podstatně menší, nezřetelný, skvrna je daleko ostřeji ohraničena a všechny charakteristické znaky, které se za studena vytvářejí jen pozvolna, zde docela chybí. Počínaje teplotou 90°C se též ztrácí speciální odlišení vlhkosti.

U skvrn odpovídajících nejrůzněji upotřebeným vzorkům olejů většinou nenalzáme ideální uspořádání se všemi výše uvedenými zónami ani absolutní podobnost s případy, uvedenými v následující kvalitativní stupnici. (obr. 111). V praxi naopak dochází ke značným nepravidlostem v uspořádání skvrn, což zvyšuje potřebu zkušeností a nutnost opatrnosti při konečném hodnocení.

Celkově se hodnotí stupněm tmavosti skvrny, přičemž zřetelnosti napomáhá prosvícení papíru světelným zdrojem. Vzniklé skvrny lze porovnávat s předem vybranými vzorky, u nichž byly laboratorně stanoveny nerozpustné látky v HEO a karbonizační zbytek. Potom mírnému znečištění odpovídá trojice skvrn (1,2,4) na obr. 111, kde navíc vzorek (2) představuje srovnávací vzorek laboratorně stanovené nerozpustnosti v HEO (hexan, etanol, a kyselina olejová). Středně znečištěné jsou skvrny (3 a 5) a trojice neprůsvitných skvrn (6,8,9) představuje silně znečištěný olej (nutná výměna). Skvrna (7) ukazuje na přítomnost vody, tzn. úzká skvrna ostře ohraničená s vně roztřepenou a nedokonale kruhovou čarou.

Vlastní zkouška je jen orientačním testem a v případě nevýrazného výsledku je nutné provést stanovení karbonizačního zbytku a látek nerozpustných v HEO v laboratoři.



**OBR. 111** Příklady olejových skvrn kapkové zkoušky uspořádané do stupnice hodnocení

□ **Látky nerozpustné v HEO**

Zkouška je určena pro kvantitativní stanovení množství látek v exploatovaných např. aditivovaných motorových olejích. Nerozpustné látky podle této zkoušky jsou všechny tuhé částice obsažené ve vzorku, které jsou nerozpustné ve směsi HEO (97% n – hexan, 2% etanol, 1% kyselina olejová).

Zkouška je založena na principu ředění vzorku oleje rozpustidlovou směsí HEO a separaci NRL (nerozpustné látky) odstředěním až do vyčerení roztoku. Množství NRL se zjistí po slití čirého roztoku a po vysušení zvážení a vyjadřuje se ve hmotových procentech (%hm). Z výsledku zkoušky lze usuzovat na stupeň degradace oleje a na možnost jeho další exploatace.

$$NRL(\%hm) = \frac{(b - a) \cdot 100}{c}$$

%hm – procenta hmotnostního

kde a je hmotnost prázdné odstředovací nádoby [g]

b je hmotnost odstředovaného vzorku [g]

c je navážka roztoku [g]

#### 4.4.1.1.7. Celkové znečištění

Celkové znečištění patří ke smluvním zkouškám a jeho vyjádření závisí na principu používané metody. Přístroje pro hodnocení celkového znečištění jsou často součástí diagnostických souprav pro provozní diagnostiku. Umožňuje vyhodnotit celkové znečištění oleje mechanickými nečistotami a zplodinami termooxidačních reakcí a dalšími nečistotami. Vezmeme-li jako příklad hydraulické obvody, jejichž citlivost na znečištění je velmi vysoká, tak zdroje nečistot lze rozdělit do čtyř kategorií:

- a) nečistoty primární - nečistoty nádrže, potrubí, hydraulických prvků, hydraulické kapaliny; typickými nečistotami tohoto druhu jsou otřepy a třísky vzniklé při montáži šroubení, přetoky pryžových dílců, prach písek, vlákna z čistících prostředků, okuje ze sváření, barvy, rozpouštědla, zbytky proplachovací kapaliny apod.;
- b) nečistoty z okolí – nečistoty vniklé dovnitř soustavy okolí po povrchu písnice nebo nedostatečně těsným plnicím, popř. odvodušňovacím otvorem nádrže (písek, prach, mikroorganismy);
- c) nečistoty vzniklé z obvodu – nečistoty vzniklé cirkulací hydraulické kapaliny nebo provozem jednotlivých prvků; jsou to produkty koroze, eroze a opotřebení;
- d) nečistota vzniklé z hydraulické kapaliny – nečistoty vzniklé samovolným vypadnutím aditivů z oleje (detergenty, disperzanty, protioděrové přísady, antioxidanty a další), polymery vzniklé interakcí mezi aditivy, pryskyřice a laky vzniklé chemickými změnami působení tlaku, teploty a mikroorganismů.

Největším nebezpečím pro hydraulické prvky jsou pevné nečistoty. Částice menší než kritická vůle, procházející mezi součástmi hydraulického prvku velkou rychlostí a způsobující erozní opotřebení. Částice větší než kritická vůle mohou způsobit ucpaní štěrbin, což zapříčiňuje v sacích částech vznik kavitace. Částice stejné velikosti jako kritická vůle jsou nejnebezpečnější, protože způsobují zadíraní hydraulických prvků porušením mazacího filmu. Potom je možno konstatovat, že celkové znečištění patří ke smluvním zkouškám a jeho vyjádření závisí na principu používané metody.

Potom určitě bude k pochopení, že k určení celkového znečištění se používá nejen celá řada metod vhodných pro danou problematiku, ale že pak mluvíme o následujících pojmech:

- celkové znečištění
- mechanické nečistoty
- kód čistoty

a svým způsobem stanovení nečistot je vlastně obsah předchozích kapitol, které se zabývaly přesně specifikovanými nečistotami (voda, uhlíkaté zbytky, apod.) a především kap. 4.4.1.1.6., která má v úvodu jednoznačně uvedeno - orientační metoda pro zjištění stupně znečištění oleje.

#### □ Metody stanovení mechanických nečistot

metoda A - pro výrobky s obsahem mechanických nečistot od 2 do 50 mg ve 100 cm<sup>3</sup> výrobku



metoda B- pro výrobky s obsahem mechanických nečistot nad 50 mg ve 100 cm<sup>3</sup> výrobku

Tyto metody neplatí pro totálně upotřebené ropné oleje a hydraulické kapaliny, pro oleje a hydraulické kapaliny obsahující grafit, molybdendisulfid a podobné přísady a pro emulze.

- **METODA A**

### **Podstata metody**

Metoda je založena na filtraci vzorku za podtlaku membránovým ultrafiltrem a stanovení obsahu mechanických nečistot z hmotnostního přírůstku ultrafiltru.

- **METODA B**

- podstata založená na metodě A
- podstata je v mikroskopickém stanovení velikosti a počtu částic nečistot- ČSN 65 6081, a používá se ke stanovení počtu a velikosti částic nečistot ve světlých ropných produktech, hydraulických olejích a kapalinách. Neplatí pro kapaliny s přídavkem pevných maziv, jako grafitu, siričukumolybdeničitého apod. Vzorky obsahující vodu nelze zkoušet podle této normy.

Ke stanovení obsahu mechanických nečistot se také používá princip filtrace oleje v daném rozpouštědle podle ČSN 65 6219. Při zkoušce se filtruje vzorek rozpuštěný v xylenlikové směsi buď filtračním kelímkem pokrytým souvislou vrstvou azbestu, nebo papírovým filtrem. Množství zachycených nečistot se zjistí váhově.

Zvlášť vhodný způsob stanovení mechanických nečistot pro hydraulické oleje se současným stanovením jejich velikosti a počtu umožňuje přístroj HIAC PC 320, který pracuje na optickém principu. Stanoví se množství částic větší než je stanovená prahová hodnota, nebo množství částic mezi dvěma sousedními prahy. Digitální výstup výsledků umožňuje automatické zpracování naměřených hodnot počítačem, popřípadě mikroskopické vyhodnocování čistoty oleje na membránovém ultrafiltru., tzn., že jsme u metody A.

Nečistoty v olejích jsou nežádoucí zejména v hydraulických systémech, kde mohou působit nefunkčnost hydraulických systémů. Mechanické nečistoty by měly být co nejmenší a v mazacích systémech, kde by se měly zcela vyloučit mechanické nečistoty zadržujícího se charakteru (kovový oděr, sloučeniny křemíku apod.) Hydraulické i mazací oleje by měly být provozovány v klasifikačních třídách čistoty dle ISO 4406 a ČSN 65 6206, určených výrobcem stroje nebo zařízení.

- **Měření množství a velikosti nečistot  
(stanovení kódu čistoty ČSN 65 6206, ISO 4406-87)**

Tato norma stanoví kód pro definici množství pevných nečistot v kapalinách používaných v hydrostatických prvcích všech oborů. Norma může být použita pro stanovení kódu čistoty i jiných druhů kapalin. Kód čistoty odpovídající stupni znečištění se skládá ze dvou čísel dovolující rozlišit velikost částic nečistot a jejich distribuci takto:

- a) první řada čísel reprezentuje počet částic rovných nebo větších než 5  $\mu\text{m}$  v 1 ml kapaliny.
- b) druhá řada čísel reprezentuje počet částic rovných nebo větších než 15  $\mu\text{m}$  v 1 ml kapaliny.

Kódová čísla jsou přiřazena ke zjištěnému počtu částic rovných nebo větších než 5  $\mu\text{m}$  a 15  $\mu\text{m}$  v 1 ml kapaliny. Např. kód čistoty 18/13 M značí, že v 1 ml vzorku kapaliny je 1 300 až 2 500 částic rovných nebo větších než 5  $\mu\text{m}$  a 40 až 80 částic rovných nebo větších než 15  $\mu\text{m}$ . Stanovení počtu částic bylo provedeno mikroskopicky. Další přehled je na obr. 112.

ISO 4406  
Třída čistoty 21/18

Velikost částice	Množství částice
> 5 $\mu$	1.000.000-2.000.000
>15 $\mu$	130.000- 250.000



zvětšeno 50x



zvětšeno 100x

**OBR. 112** Kód čistoty podle ISO 4406, třída čistoty 21/18

#### □ Celkové znečištění

Patří ke smluvním zkouškám a jeho vyjádření je závislé na principu používané metody.

- Měření změn dielektrických vlastností oleje – vyhodnocuje celkové znečištění mechanickými nečistotami a zplodinami termooxidačních reakcí.

- Založené na fotodenzimetrii – vyhodnocuje také celkové znečištění a princip je v měření zeslabení záření procházející vzorkem. Nejznámější přístroje nesou označení TCM-H (fotodenzimetrie bílého světla – citlivé na mechanické nečistoty) a CCT – infra (fotodenzimetrie infračervená na vlnové délce karbonizačního zbytku, tzn. termooxidační produkty).

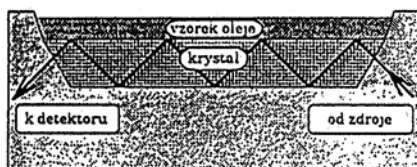
#### 4.4.1.2. Spektrální analýza mazacích olejů

Pro spektrální analýzu olejů se využívá infračervená spektrometrie (což se někdy i nesprávně používá k označení této metody), což je optická nedestruktivní analytická metoda. Patří do skupiny metod molekulové spektrometrie. Interakce infračerveného záření s molekulami nebo charakteristickými skupinami molekul způsobuje jejich excitaci na vyšší vibrační hladiny (absorpční spektrometrie). Tím se pohltí záření s určitými hodnotami energie a ve spektru vznikají tzv. vibrační absorpční pásy.

Poloha (vlnočet – je převrácená hodnota vlnové délky) pásů odpovídá charakteristickým skupinám obsaženým ve sloučeninách, proto se někdy střední infračervená oblast (a hlavně její oblast kolem  $1000\text{ cm}^{-1}$ ) nazývá „oblast otisků prstů“. Pomocí těchto pásů lze většinu sloučenin jednoznačně identifikovat.

V současné době prožívá infračervená spektrometrie významnou generační změnu v podobě zavádění IČ spektrometrie s Fourierovou transformací (FT-IR). Ve srovnání se starší disperzní IČ spektrometrií se vyznačuje vysokou citlivostí, o dva řády vyšším průchodem energie a neporovnatelně vyšším poměrem signálu k šumu. Tyto vlastnosti umožňují získat velice kvalitní spektra pomocí reflexních nástavců.

U moderních přístrojů se používá metoda tlumené totální reflexe (ATR – Attenuated Total Reflectance). Princip je patrný z obrázku 113.



**OBR. 113** Princip metody ATR

Krystal selenidu zinečnatého ZnSe tvoří dno nádoby, olej se nanáší v tenké vrstvě na jeho povrch. Záření se odráží uvnitř krystalu a přitom proniká do vzorku, do hloubky 1 – 2  $\mu\text{m}$ . Ve vzorku se absorbuje záření vlnových délek odpovídajících molekulárnímu složení vzorku. Takovýchto odrazů bývá 10 – 12 a optické uspořádání zabezpečuje konstantní dráhu paprsku ve vzorku, což je nutná podmínka pro kvantitativní využití metody.

Touto metodou lze z jednoho vzorku, během velmi krátké doby (méně než 1 min.) stanovit v oleji např. :

- obsah oxidačních, nitračních a sulfatačních produktů
- úbytek antioxidačních, antikoročních a detergentních přísad
- obsah vody a glykolů
- pokles bázecké rezervy

- obsah paliva
- u vznětových mororů obsah karbonu

Při použití moderních přístrojů je se vzorkem velmi snadná manipulace. Vzorek oleje není třeba předem nijak upravovat. Při použití horizontální ATR se olej pomocí teflonové stěrky nanese na povrch krystalu selenidu zinečnatého a rozetře se. Před měřením dalšího vzorku se povrch krystalu otře papírovým kapesníkem a dočistí vatou smočenou v organickém rozpouštědle, nejčastěji v cyklohexanu. Ze zobrazení spektra čerstvého a použitého oleje získáme diferenční spektrum, využitelné pro stanovení obsahu paliva, glykolu, vody a oxidačních produktů v exploatovaném oleji.

#### 4.4.1.3. Změna kvality mazacího oleje

I když v této fázi textu už není určitě nutné, tak z pedagogických důvodů a v zájmu ucelenosti musíme znovu připomenout, že při provozu dochází ke změnám kvality mazacího oleje. Vlastní stav se zhoršuje vlivem tepelného a mechanického namáhání, a tak zůstává otázkou jaké existují regenerační procesy, kterými jsme schopni prodloužit, resp. zmírnit časový průběh degradace oleje.

Určitě je logické, že podstatou regeneračních procesů je vlastně obnova vlastností mazacího oleje. Vlastní obnova je ve své podstatě možná ve třech rovinách

- doplňování oleje v průběhu provozu
- výměna celé olejové náplně
- čištění olejové náplně, což je možná jak po stránce :
  - fyzikální – olej zbavujeme nerozpustných příměsí (kovový oděr, prach, nečistoty, voda, oxidační nečistoty apod.) nebo z oleje odpařitelných (benzín, emulgovaná voda apod.). Tzn. mluvíme v termínech usazování nečistot, přečišťování (filtrování) odstředování, absorpci, destilaci.
  - Chemické - chemické čisticí pochody olej zbavují rozpustných látek vzniklých oxidací a termickými pochody (pryskyřice, asfalty, organické kyseliny) tzn. nasazení takových čisticích pochodů jaké je nutné v souvislosti s rafinací olejů.

#### **POZNÁMKA** ke kap. 4.4.1.

Pokud bychom chtěli řešit tuto kapitolu komplexně, tak by zde měla být řešena problematika řezných (obráběcích) kapalin, mazání při tváření kovů atd, atd. Je určitě zřejmé, že každá oblast by potřebovala ke zpracování samostatnou knihu, že není v silách autorů řešit sice celou širší dané problematiku, ale v oborech činnosti která náleží do předmětů jiných studijních oborů.

Z těchto důvodů uvádíme pouze stručnou poznámku k řezným kapalinám, čímž získáme jakýsi základní náhled na řešení tribodiagnostické problematiky v tomto oboru.

Rezné kapaliny jsou prostředky, které se používají při obrábění kovů. Vytvářejí prostředí, ve kterém probíhá řezný proces, na který působí jako chladivo, mazivo a čisticí prostředek. Řezné kapaliny jsou jedním z rozhodujících faktorů, které ovlivňují produktivitu a ekonomiku obrábění.

- **Rozdělení řezných kapalin :**

Podle chladicího nebo mazacího účinku a svého složení třídíme řezné oleje takto:

1. vodní roztoky
2. vodní emulze
  - klasické, na bázi minerálního oleje,
  - částečně syntetické mikroemulze
  - syntetické mikroemulze,
3. ropné oleje
  - bez přísad pro lehké operace,
  - s přísadami – vysoce kvalitní řezné oleje,
4. syntetické oleje
  - vysoká životnost a ekologie nasazení

Nasazení jednotlivých druhů kapalin je závislé na způsobu aplikace a náročnosti obráběcích operací. V průběhu provozu je nutné se o tyto kapaliny systematicky starat a průběžně diagnostikovat.

U vodních roztoků a vodních emulzí sledujeme především :

- koncentraci emulze
- hodnocení pH
- množství bakterií
- pěnovost emulze

U řezných olejů zase sledujeme

- viskozitu oleje
- číslo kyselosti
- pěnovost
- obsah vody
- obsah nečistot

Rozhodující při provozu je kromě systematického sledování i provádění údržby těchto kapalin. Jedná se o doplňování jako formu regenerace, odstraňování nečistot filtrací, sledování růstu bakterií a jejich likvidaci apod.

U řezných olejů je nutné dodržovat čistotu – systematicky filtrovat a v průběhu provozu nepřekračovat provozní teplotu oleje. Při dodržování těchto základních předpokladů je provozní nasazení dlouhodobé a ekonomické. Likvidace všech těchto kapalin musí probíhat podle platných norem a předpisů tak, aby nedocházelo k narušení životního prostředí.

#### **4.4.2. Tribodiagnostika degradace plastického maziva**

Na úvod ještě jednou uvedeme, že plastická maziva (mazací tuky) jsou koloidní podskupiny gelů, někdy solí nebo rosolů. Makroskopicky jsou máslovité, vláknité, houbovitě anebo zrnité. Skládají se z kapalně fáze, kterou vytváří mazací olej a z tuhých částic disperzní látky.

Plastická maziva se vyrábějí z ropných olejů (ve speciálních mazivech může tvořit základní složku i syntetický olej), jejich zpevnování je kovovými mýdly a jinými

látkami na příslušnou konzistenci. Na dosažení určitých konkrétně požadovaných vlastností mohou obsahovat i přídavné anorganické látky, např. MoS<sub>2</sub>, grafit, ZnO, Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> a jiná plniva.

Plastická maziva se vzhledem na jejich vlastnosti používají omezeněji než mazací oleje. Všeobecně jsou určena na krátkodobá mazání s delšími mazacími intervaly, s výjimkou valivých ložisek, při kterých se dotěšňovací schopnost plastických maziv využívá na dlouhodobé, někdy na životnostní mazání.

Volba druhu plastického maziva závisí od :

- rozsahu teplotního použití,
- stálosti proti hnětení,
- odolnost proti vodě,
- ochranných schopností proti korozi,
- provozní trvanlivosti v závislosti na teplotu použití.

Při jejich používání je nutno zohlednit skutečnost, že plastická maziva různých druhů se nemusí navzájem snášet. Mohou se rozrušit a tím způsobit vážné poškození, takže na obr. 114 najdeme základní rozdělení plastických maziv převzaté z [1].

#### 4.4.2.1. Hodnocení plastických maziv

Charakteristickou veličinou vyjadřující vlastnosti plastických maziv je penetrace, která vyjadřuje stupeň tuhosti plastických maziv a rozděluje se do devíti konzistenčních stupňů 00 až 7. Penetrace je hloubka vniknutí normalizovaného zkušebního kužele vlivem vlastní hmotnosti do vzorku maziva při teplotě 25°C za definovaný čas. Hloubka se měří v desetínách milimetrů. Konzistence je tedy základní klasifikační parametr plastického maziva a je vyjádřením stupně jeho tuhosti. Konzistence je závislá zejména na druhu a množství zpevňovačů, a je klasifikována podle stupnice zavedené organizací National Lubricating Grease Institut (NLGI) už zmíněné v kap. 3.1.2. ad.2. Zařazení do jednotlivých klasifikačních stupňů je závislé na velikosti penetrace (vniknutí) normalizovaného kužele za daných podmínek do plastického maziva.

<b>Stupně konzistence NLGI</b>	
<i>Stupeň konzistence NLGI (klasifikační stupeň dle ČSN 65 6301 (0,1 mm))</i>	<i>Penetrace dle ČSN 65 6307</i>
000	445 až 475
00	400 až 430
0	355 až 385
1	310 až 340
2	265 až 295
3	220 až 250
4	175 až 205
5	130 až 160
6	85 až 115 (klidová penetrace)

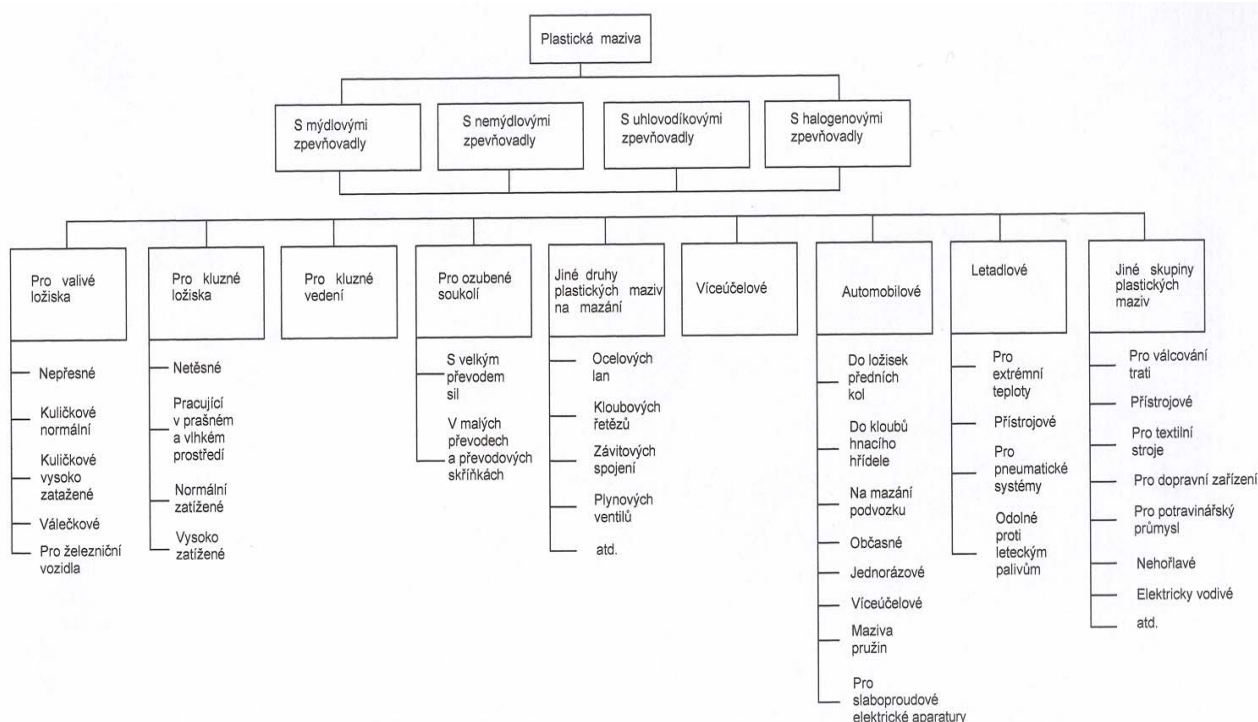
Vlastní klasifikace plastických maziv je už dle ISO 6743/9							
Označení			Pracovní teplota °C		Odolnost proti vodě a ochrana proti korozi	Vysokotlaké vlastnosti	Konzistence NLGI
Systém	třída	typ	Min.	Max.			
ISO	L	X	Symbol 1	Symbol 2	Symbol 3	Symbol 4	Symbol 5

L – maziva, X – plastická maziva

Označení plastických maziv se také provádí podle DIN 51502

Další důležitou vlastností je teplota odkápnutí (kap. 2.5.1. ad. 3). Tato hodnota určuje teplotu, při které přechází plastické mazivo do kapalného stavu. Podle stálosti se plastická maziva dělí na :

- tepelně stálá maziva, jejichž struktura se vlivem teploty nerozrušuje anebo po ochlazení se opět obnoví
- mechanicky stálá maziva, jejichž reologické vlastnosti se v rozrušeném i v nerozrušeném stavu jen málo odlišují
- koloidně nestálá maziva, která se rozpadávají na viskózní fázi a nerozpuštěný koloid – xerogel.



OBR. 114 Rozdělení plastických maziv

## 4.5. Tribodiagnostika opotřebení strojních systémů

Skupina metod pro stanovení koncentrace otěrových kovů obsahuje takové analytické postupy, které umožňují stanovit celkovou koncentraci jednotlivých kovů obsažených ve vzorku oleje. Všechny vycházejí z jednoduché skutečnosti, že mazivo resp. olej po jisté době provozu v jakémkoliv mechanickém zařízení odráží technický stav zařízení a podmínky provozu.

Opotřebením uvolněné částice kovů nebo jejich sloučeniny jsou vyplavovány z třecích míst a cirkulují v mazací soustavě (kap. 4.1.), takže problematika objektivního určení technického stavu sledovaného objektu se převádí na zjištění koncentrace otěrových kovů ve vzorcích oleje.

### 4.5.1. Rozdělení metod

Pro stanovení koncentrace otěrových kovů se používá řada metod. Jejich základní hrubé rozdělení najdeme v kap. 4.2., tzn. že nejčastěji mluvíme o následujících metodách :

- **Atomová spektrofotometrie** – dovoluje určit přítomnost a koncentraci naprosté většiny prvků periodické doustavy v mazivu.
- **Polarografie** – dovoluje určit přítomnost a koncentraci většiny (s výjimkou např. Si) prvku periodické soustavy v mazivu.
- **Metoda RAMO** – dovoluje určit koncentraci čtyř základních prvků v mazivu

A pro hodnocení morfologie a distribučního rozdělení částic se používá :

- **částicová analýza** neboli ferografie – základní myšlenkou při aplikaci ferografie je skutečnost, že každá tribologická jednotka produkuje při své činnosti různé druhy otěrových částic a tyto částice jsou vždy charakteristické pro určitý režim opotřebení. Předmětem částicové analýzy je jednotlivé typy částic separovat, identifikovat a kvantifikovat tak, aby bylo možno stanovit převládající režim opotřebení příslušného strojního zařízení.

Nasazení pro provozní praxi je především otázkou sledovaného objektu, ale lze říci, že nejširší užití nachází atomová spektrometrie a následně ferografie.

### 4.5.2. Atomová spektrofotometrie

Spektrofotometrie je analytická metoda zjišťující kvalitativní popř. i kvantitativní složení zkoumaného vzorku rozbořením spektra. Rozlišujeme spektrofotometrii emisní a absorpční (v některé lit. lze nalézt i označení fluorescenční). V atomové spektrofotometrii se dodá atomu (tepelnou, elektromagnetickou, chemickou nebo elektrickou formou) energie, která se konvertuje různými atomickými procesy na energii světelnou.

Při vlastní volbě je nutno zvážit specifika vlastností jednotlivých metod. Všechny metody emisní spektrofotometrie mají přednost, že jedno měření určí kvalitativní i kvantitativní analýzu vzorku, ale oproti absorpčním metodám je nižší selektivita, přístrojová technika je složitější a podstatně dražší.



Atomová spektrofotometrie specifikuje velikost otěrových částic jejichž velikost je řádově desítky až desítky mikrometrů. Dnes nejrozšířenější metodou je plamenová atomová absorpční spektrofotometrie.

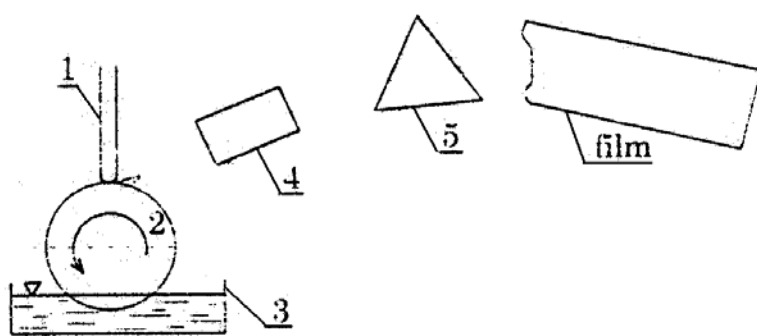
#### 4.5.2.1. Atomová emisní spektrofotometrie

Atomová emisní spektrofotometrie (AES) zkoumá záření, které vysílají vzbuzené (excitované) atomy nebo molekuly, jež do tohoto stavu uvádíme dodáním energie (teplem plamene, elektrického oblouku apod.). Úkolem emisní spektrální analýzy je určit kvalitativní a kvantitativní složení vzorku ze spektra tohoto vzorku. Spektrem rozumíme uspořádaný soubor frekvencí (vlnových délek) záření, které vzorek v konkrétním zdroji vysílá. Kvalitativní složení vzorku je dáno počtem a hodnotami charakteristických frekvencí. Kvantitativní složení poměrným rozdělením intenzity záření na tyto frekvence.

Vlastní přístroje pro AES se skládají ze zdroje, spektrálního přístroje na oddělení jednotlivých frekvencí, soustavy čoček zprostředkující vedení záření a detektoru, s jehož pomocí měříme tok záření připadající na jednotlivé frekvence (viz. obr. 115).

Pod pojmem zdroj rozumíme ve spektrální analýze jednak bezprostřední zdroj záření, kde převádíme vzorek do plynného stavu a budíme jeho složky, jednak zdroj budící energie. Podle přiváděné energie rozdělujeme zdroje na plamenové a elektrické. U moderních přístrojů pro AES se používají elektrické zdroje a podle jejich konkrétního provedení rozdělujeme metody emisní spektrofotometrie na :

- AES – RDE atomovou emisní spektrofotometrii s rotační diskovou elektrodou (obr. 115)
- OES – ICP optickou emisní spektrofotometrii s indukčně vázaným plazmatem,
- OES – DCP optickou emisní spektrofotometrii s plazmatem stejnosměrného proudu



- 1 – protielektroda,  
 2 – uhlíkový kotouč jako rotační disková elektroda,  
 3 – nádoba s analyzovaným vzorkem, 4 – optická soustava,  
 5 – rozkladový hranol

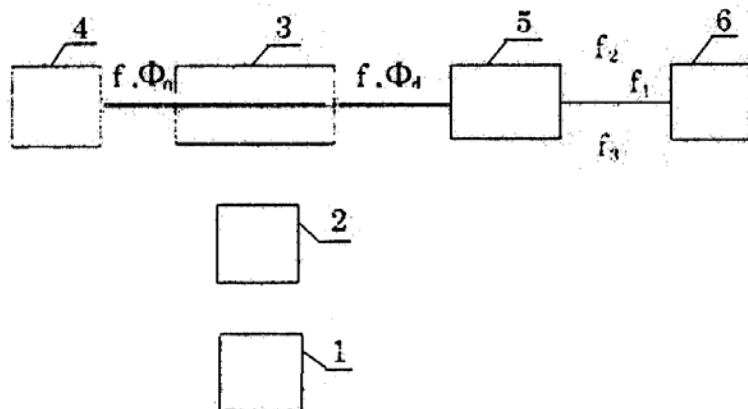
**OBR. 115** Principiální schéma AES – RDE

#### 4.5.2.2. Atomová absorpční spektrofotometrie

Atomová absorpční spektrofotometrie (AAS) vychází ze všeobecně formulovaného zákona formulovaného Kirchhoffem (1860), že každý prvek je schopen absorbovat světlo téže vlnové délky, které emituje. V AAS se tedy měří zeslabení paprsku při průchodu analytickým prostředím.

Atomová absorpce je proces při kterém dochází k absorpci volných atomů prvku na vlnové délce charakteristické pro tento prvek. Abychom mohli sledovat atomová spektra musíme měřený prvek převést do plynného stavu. K této tzv. atomizaci se převážně používá dvou postupů, podle nichž se AAS dělí na :

- plamenovou AAS, při které se vzorek ve formě aerosolu zavádí do plamene (základní schéma na obr. 116.)
- AAS – ETA s elektrotermickou atomizací, založené na odpařování vzorku z odporové vyhřívané podložky



**OBR. 116** Základní schéma přístroje pro atomovou absorpční spektrofotometrii (AAS)

1 – vzorek obvykle ve formě roztoku, 2 – zařízení pro úpravu a transport vzorku do atomizátoru (zmlžování roztoku pro plamenovou AAS, dávkování do ETA), 3 – atomizátor a zároveň měrná kyveta (plamen, píčka pro ETA), 4 – zdroj světla (dutá katoda),  $f_1$  – rezonanční linie zvolená pro měření,  $f_{2,3}$  – ostatní linie vyzařované zdrojem,  $\Phi_0$  – tok vyzařovaného světla,  $\Phi_d$  – tok světla po průchodu kyvetou, 5 – monochromator (separace rezonanční linie  $f_1$ ), 6 – měření signálu a zpracování dat.

### 4.5.3. Částicová analýza – ferografie

Praktické poznatky získané při stanovování koncentrace otěrových prvků ukázaly, že tyto metody nejsou vždy postačující k přesnému posouzení stavu strojního zařízení a k posouzení průběhu opotřebení, protože k tomu je nutno znát kromě celkové koncentrace i počet, tvar a velikost otěrových částic. V tribotechnické praxi se prosazuje metoda částicové analýzy – ferografie.

#### 4.5.3.1. Podstata ferografie

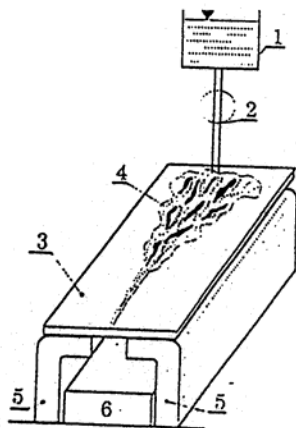
Koncem 60. let byla v USA vyvinuta nová metoda pro stanovení otěrových částic kovů v olejích – ferografie. Je to diagnostická metoda spočívající v separaci magnetických a paramagnetických otěrových částic ze vzorku oleje na skleněné (plastové) transparentní podložce nebo v precipitační trubici, které jsou umístěné v silném magnetickém poli.

Její reprodukovatelnost je nižší než u řady jiných analytických metod. Na rozdíl od nich však umožňuje indikovat a lokalizovat poruchu objektu ještě před vnějšími projevy poruchy.

Filozofie ferografie se opírá o tři základní poznatky :

1. Každá tribologická jednotka produkuje při daném režimu otěrové částice zcela určitého tvaru a velikosti. Se změnou triborežimu stroje následkem začínající poruchy, nebo při počínajícím mezním opotřebením, dochází k markantním změnám v množství, tvaru a velikosti částic.
2. Se stoupající intenzitou opotřebením stroje se mění současně dva tribologické fenomény :
  - a) roste velikost otěrových částic, přesněji objem částic, které označujeme jako velké, tzv. L – částice s rozměrem 15  $\mu\text{m}$  a mění se podstatně i poměr mezi těmito částicemi a částicemi menšími než 15  $\mu\text{m}$ , tzv. S – částicemi
  - b) mění se morfologie částic, objevují se částice charakterizující druh opotřebením a může se měnit chemické složení částic.
3. Morfologie, velikost a počet částic se při změně režimu mění s dostatečně velkým předstihem před měřitelnými projevy opotřebením, takže změněný režim může být monitorován mnohem dříve, než je to možné jinými metodami.

Základ je ve vytvoření ferografické stopy zkoušeného oleje ve speciálním přístroji – ferografu (obr. 117). Nařazený roztok stéká po šikmé podložce, umístěné v magnetickém poli. Velké částice se usazují na počátku podložky a dále se usazují postupně podle své velikosti a tvaru.



Jak je vidět na obrázku, vytéká zředěný vzorek oleje z nádobky (1) přes dávkovací zařízení (2) na dokonale vyčištěnou, nakloněnou skleněnou desku – ferografickou podložku (3), pod níž jsou umístěny pólové nástavce (5) silného magnetu (6). V oleji obsažené částice kovů vytvářejí na skleněné podložce stopu (4). Na jejím počátku jsou částice velké min. 15  $\mu\text{m}$ , dále pak velikost částic klesá, až na konci stopy jsou usazeny submikronické částice. Stopa se promyje rozpouštědlem, zbaví se zbytků oleje a vysuší. Takto upravená stopa na transparentní podložce se nazývá – ferogram.

**OBR. 117** Funkční schéma ferografu

Vyhodnocení ferogramu může být provedeno dvěma způsoby :

- a) feroskopicky (určí se morfologie, chemické složení)
- b) ferodenzimetricky (určí se distribuce vzhledem k velikosti)

## Přístroje pro ferografii

V současné době se používají dva typy ferografií :

- a) analytický – umožňující feroskopii a většinou i ferodenzimetrii
- b) s přímým odečtem – umožňují ferodenzimetrii (přímočtoucí analyzátor – rychlometoda)

### 4.5.3.2. Feroskopické vyhodnocení

Feroskopické vyhodnocení spočívá v mikroskopické prohlídce ferogamu při bichromatickém osvětlení. Morfologie částic je závislá na druhu tření a podává specifické informace o povrchových vrstvách jednotlivých částí strojního zařízení, které jsou ve vzájemném pohybu a z nichž otěrové částice vznikají. Tvar částic tedy umožňuje stanovit druh opotřebení vyskytujícího se v kluzných dvojicích.

**Částice adhezivního oděru** – částice tvoří šupinky vločkovitého tvaru. Jsou to tzv. jednorozměrné částice, jejichž šířka a délka se příliš neliší (5 – 15  $\mu\text{m}$ ). Tloušťka těchto částic je velmi malá (0,25 – 0,75  $\mu\text{m}$ ). Pokud tyto adhezivní částice pokrývají větší část ferografické stopy a jejich velikost  $L$  nepřesáhne 15  $\mu\text{m}$ , můžeme být se stavem opotřebení spokojeni.

**Částice abrazivního otěru** – jsou charakteristické dlouhým lineárním rozměrem a přitom velmi malou tloušťkou. Délka se pohybuje v desítkách až stovkách, tloušťka v desetinách mikrometrů.

**Částice vzniklé únavovým opotřebením** – jsou typické především pro převodové systémy. Vzniklé částice mají typický trojrozměrný tvar, délka, šířka a hloubka částic mají nepříliš rozdílné rozměry. Jejich povrch není hladký, vykazuje řadu nerovností a rýhování.

Bichromatické osvětlení a použití barevných filtrů dovolují další podrobnější zkoumání otěrových částic. Ferogram je zespoda osvětlem odraženým světlem přes červený filtr. Tím dochází k barevnému rozlišení charakteristických částic. Částice, které světlo odrážejí (kovy), se jeví jako červené, částice průhledné, které světlo propouštějí se jeví jako zelené. Ty, které světlo ani neodrážejí ani nepropouští jsou černé. Částice průsvitné světlo zeslabují a jeví se jako žlutozelené (tab. 10).

Rozmístění částic v magnetickém poli dopřesňuje původ částic. Železné částice jsou seřazeny ve směru magnetických siločar, neželezné leží napříč nebo mimo „řetízky“ železných částic. Neželezné částice dělíme do skupin podle barvnosti. Patří sem zlatožluté zářící částice slitin mědi a zinku a žlutě až bronzově zářící částice slitin mědi a cínu. Barvu těchto částic zjišťujeme na feroskopu s vyjmutým červeným filtrem.

## TABULKA Č. 10

### ROZLIŠENÍ ČÁSTIC V BICHROMATICKÉM OSVĚTLENÍ

Materiál částice	Osvětlení			Poloha na ferogramu
	Horní – červený Dolní – zelený	Dolní – zelený	Bez filtrů	
Hliník	Jasně červená zářící	bílá	bílá	mimo řetízky
Měď	červená zářící	zářivě zlatožlutá	zářivě zlatožlutá	mimo řetízky
Mosaz	červená zářící	světle žluzá slámová	světle žlutá slámová	mimo řetízky
Bronz	červená zářící	žlutá bronzově zářící	bronzová	mimo řetízky
Rez	světle červená až oranžová	hnědošedá	hnědošedá	částečně pokrývá řetízky
Litina	hnědočervená až černá, zářící plošky	černá, bílé až světle žluté plošky	černá bílé až světle žluté plošky	řetízkuje
Ocel	červené zářící plošky	černá, slámově žluté plošky	černá, slámově žluté plošky	řetízkuje

#### Metoda HFA

Zvýšení rozlišovacích možností při vyhodnocování ferogramu lze dosáhnout použitím metody HFA (High Fever Analysis), tzv. vysokoteplotní analýzou. Její princip spočívá ve využití povrchové interference dopadajícího světla po vyžhání ferogramu na předem zvolenou teplotu a umožňuje podle charakteristického zbarvení rozlišovat různé druhy železných částic (litina, uhlíková nebo legovaná ocel atd.). Zásady pro vyhodnocení HFA jsou uvedeny v tab. 11.

## TABULKA Č. 11

### VYHODNOCOVÁNÍ HFA (VYSOKOTEPLTNÍ ANALÝZY)

Materiál částice	Teplota žhání			
	330°C	400°C	480°C	540°C
Ocel uhlíková nízce legovaná	modrá	světle žlutá	-	-
Vysoce legovaná nerezavějící ocel	-	beze změn některé částice nažloutlé	slámově žlutá, místy skvrny modré	žlutá až bronzová, modré skvrny
Litina, středně legovaná ocel	slámově žlutá až bronzová	tměvě bronzová, modré skvrny	-	-
Nikl a jeho slitiny	-	-	bronzová s modrými plochami	modrá až modrošedá

Nemagnetické prvky – Ag, Cr, Al, Zn, Cd, Mg, Ti aj. změnu zbarvení nevykazují. Mimo železných částic se na ferogramu nacházejí i částice neželezné. Částice barevných slitin (Cu + Zn, Cu + Sn) se jeví v bichromatickém osvětlení zářivě červené a po vyjmutí červeného filtru se odlišují podle barvy. Další skupinou neželezných kovů tvoří částice bílé, které nelze na optickém mikroskopu rozlišit. Lze je částečně identifikovat s využitím mikrochemické analýzy.

#### 4.5.3.3. Ferodenzimetrické vyhodnocení

Ferodenzimetrické vyhodnocení je založeno na hustotě pokrytí podložky částicemi v exaktně definovaném místě stopy. Přesné určení místa pro měření denzity ferogramu je závislé na usazování částic charakterizujících režim opotřebení. Prakticky se jedná o měření světla procházejícího ferografickou stopou v místě usazování charakteristických částic – velkých L a malých S. Pomocí naměřených hodnot denzity lze vypočítat tzv. index intenzity opotřebení

$$I_0 = D_L^2 - D_S^2$$

kde  $D_L$  ..... denzita v místě usazování velkých částic

$D_S$  ..... denzita v místě usazování malých částic

Částice typu L jsou větší než 15  $\mu\text{m}$ , většinou se jejich velikost pohybuje v desítkách až stovkách  $\mu\text{m}$ . Tyto částice se tvoří při nepříznivém režimu opotřebení vyvolaném např. přetěžováním stroje, vibracemi, rázy v zatížení, ale také nesprávným druhem nebo nedobrým stavem použitého maziva, jeho teplotou, tlakem apod.

Částice typu S se tvoří při normálním režimu opotřebení, např. při adhezivním opotřebení. Jsou to částice menší než 15  $\mu\text{m}$ , většinou však to jsou submikronické částice šupinkového typu.

Změna v triborežimu strojního zařízení se trvale a v předstihu (před trvalou změnou technického stavu) odráží ve změně poměru L : S částic, neboť při zhoršeném triborežimu zákonitě narůstá poměr L : S ve prospěch velkých částic, zatímco při běžném normálním triborežimu převládá tvorba S částic. Změna v poměru L : S částic probíhá v předstihu dostatečně časově velkém, aby se této okolnosti dalo použít pro prevenci poruch.

Vlastní snímání ferografické stopy pro vyhodnocení její hustoty se technicky provádí odečítáním hodnoty propustnosti (transmitance) na ferogramu. Mezi fotometricky zjištěnou hustotou  $F_d$  a povrchem plochy ferogramu pokryté částicemi L a S platí vztah :

$$F_d = \log \frac{A_c}{A_c - A_1}$$

kde  $F_d$  je fotodenzita ferogramu [%]

$A_c$  je celková snímaná plocha, tj. 100 %

$A_1$  je procento plochy pokryté částicemi L, resp. S

Tento parametr, jehož vypovídací hodnota nebyla příliš vysoká, byl nahrazen kvalitativně lepším vyjádřením, tzv. normovaným indexem opotřebení  $J_s$ . Tento index se vypočítá složitějším postupem vycházejícím z předpokladu normálního rozložení veličin  $A_L$  a  $A_S$  ve ferografických měřeních. Normovaný index opotřebení je podstatně stabilnější a je do značné míry nezávislý na náhodných vlivech. Dílčího rozšíření se dočkal zejména ve spojení s přímočtoucími ferografy.

Jako kvalitativní měřítko pro posouzení režimu opotřebení se využívá při denzimetrickém hodnocení parametr PLP, charakterizující podíl velkých částic ve zkoušeném vzorku.

$$PLP = \frac{D_L}{D_L - D_S} \cdot 100 \quad [\%]$$

a měrná koncentrace otěrových částic v jednotce objemu zkoumaného oleje WPC

$$WPC = \frac{D_L - D_S}{V} \cdot 100 \quad [\% \cdot \text{ml}^{-1}]$$

Novou kvalitu v oblasti ferografického vyhodnocování přineslo zavedení ferometru fy REO, který umožňuje měřit denzitu v nejdůležitější části ferogramu. Přístroj s krokem 0,3mm proměřuje denzitu na prvních 25 mm ferografické stopy – tedy oblasti z hlediska rozložení částic nejdůležitější. Naměřenými hodnotami lze proložit např. s využitím metody nejmenších čtverců parabolou, jejíž parametry jednoznačně popisují příslušné rozložení částic na ferogramu a tudíž změny režimu opotřebení stroje.

Přístroj, ferograf s přímým odečtem byl vyvinut vzhledem k tomu, že při větším množství vzorků je práce s analytickým ferografem zdouhavá a pokud nejde o vzorek s informací o změně rychlosti opotřebení, také zbytečná. Princip zůstává stejný, jen místo sklíčka je použita skleněná trubička, kterou vzorek protéká. Ve dvou charakteristických místech, kde se usazují velké (15 a více  $\mu\text{m}$ ) a malé částice (1 – 2  $\mu\text{m}$ ), jsou napevno zabudována zdroje záření a čidla, která snímají úbytek intenzity záření. Ten je přímo úměrná stupni pokrytí stěny trubičky částicemi. U řady přístrojů je intenzita záření snímána infradetektory, digitalizována a vyvedena na displej ve formě počtu malých ( $D_S$ ) a velkých ( $D_L$ ) částic.

Pro vyhodnocení se používají index intenzity opotřebení  $I_o$ , parametr PLP charakterizující podíl velkých částic ve zkoušeném vzorku a měrná koncentrace otěrových částic v jednotce objemu zkoumaného oleje, parametr WPC.

#### 4.5.4. Další metody

Do této kapitoly jsme zařadili metody, jak už byla zmínka, jejichž provozní využití je nižší (v podstatě nulové) než u metod uvedených v kap. 4.5.2. a 4.5.3.

##### 4.5.4.1. Polarografie

Patří k tzv. polarografickým metodám, jež jsou založené na studiu elektrolýzy se rtuťovou elektrodou a na interpretaci měřením vzniklých křivek intenzity proudu a napětí. Rtuťové kapkové elektrody poprvé použil při elektrolýze v roce 1922 Prof. Jaroslav Heyrovský.

Polarizace, polarizační účinky se velmi výrazně projevují při elektrolýze a vlastně změna potenciálu elektrody způsobená prostým proudem. Podstatou polarografie je zjišťování závislosti proudu na plynule zvětšovaném napětí při elektrolýze prováděné mezi polarizovatelnou a nepolarizovatelnou elektrodou. Závislost proudu na vloženém napětí zobrazuje polarografická vlna, charakterizovaná kvantitativně výškou vlny, tzn. každý prvek (látka) vytváří svoji vlnu, čímž vzniká polarografické spektrum, tzn. určíme přítomnost daného ořezového kovu.

#### 4.5.4.2. Voltametrie

Klasická polarografie je založena na použití kapající rtuťové kapkové elektrody. Novější polarografické přístroje už pracují se stacionární rtuťovou kapkou, což je označováno jako voltametrické metody a využívají citlivější pulsní polarografie.

#### 4.5.4.3. Metoda RAMO

Pro přibližné stanovení čtyř základních kovů (Fe, Cu, Pb a Al) přímo v provozních podmínkách byla vyvinuta metoda RAMO (rychlá analýza motorových olejů). Jedná se o selektivní kvantitativní extrakci ořezových kovů z upotřebeného oleje do vodní lázně a jejich následné vizuální fotometrické stanovení.

### 4.6. Příklady provozních měření

Cílem této kapitoly je na vybraných příkladech provozních diagnostických měření rozšířit pohled na předchozí kapitoly.

Jako relativně samostatná kapitola je zde zařazena diagnostika hydraulických obvodů, kterou považujeme jako svým způsobem specifický diagnostický objekt, proto jsme považovali za nutné na úvod uvést nezbytný základní výklad.

#### 4.6.1. Diagnostika hydraulických obvodů

Hydraulické obvody jsou relativně složitou skupinou používanou u řady strojních systémů a na jejich dobrém technickém stavu závisí jejich funkčnost. Vlastní stanovení, resp. určení technického stavu celého hydraulického obvodu, nebo jeho jednotlivých prvků je problém těžko realizovatelný a v dnešní době bez použití prostředků technické diagnostiky ani možný. Pro identifikaci technického stavu hydraulických obvodů se dají využít dva druhy diagnostických signálů.

- signály vyvolané fyzikálními jevy, které jsou pro jeho funkci podstatné a podmiňují jeho činnost, tzn. parametry hydraulického obvodu (tlak, průtok, otáčky, moment atd.)
- signály, které označujeme jako průvodní, které nepodmiňují činnost, ale jejich vznik je zákonitý a často i nežádoucí, tzn. vibrace, hluk, změna teploty, znečišťování kapaliny apod.

Na základě uvedeného můžeme uvést základní rozdělení metod technické diagnostiky hydraulických obvodů :

- Měření parametrů včetně účinnosti – metody parametrické
- Měření vibrodiagnostické a akustické – metody vibroakustické
- Měření termodynamických veličin – metody termodynamické
- Analýza pracovní kapaliny – metody tribotechnické



#### 4.6.1.1. Parametrické metody

Jedná se o metody principiálně jednoduché a názorné, takže patří k nejpoužívanějším. Některá literatura používá i označení „palubní diagnostika“, tzn. sledování těchto parametrů přímo na řídicím pultě, resp. panelu velínu apod. Jedná se nejčastěji o následující hlavní parametry – tlak, průtok, otáčky, kroutící moment při dané teplotě pracovní kapaliny. Z těchto údajů je možno vypočítat účinnost a srovnat se štitkovými údaji resp. udávanými technickými parametry.

Pokud neměříme kroutící moment je pro měření nutná relativně jednoduché měřicí technika. Nevýhodou je pouze skutečnost, pokles parametrů se projevuje relativně pozdě, tzn. porucha je už v pokročilém stádiu nebo se neprojevuje parametricky vůbec. Určitý problém nastává při měření průtoku, nutnost rozpojení hydraulického obvodu (pokud není speciálně upraven), tzn. nebezpečí úniku kapaliny a vniknutí nečistot.

Vlastní hodnocení technického stavu hydraulických prvků a obvodů je možné :

- na zkušebně – přejímací a kontrolní zkoušky
- na stroji – provozní diagnostika a to nejen ve statickém, ale i dynamickém režimu.

**Měření ve statickém režimu** – i když žádný hydraulický obvod nepracuje v ustáleném stavu, tak lze při jeho diagnostice statického režimu využít, tzn. na chování daného systému nemá rozhodující vliv velikost setrvačných sil a stlačitelnost hydraulické kapaliny

**Hodnocení hydrogenerátorů** – využívá závislosti celkové účinnosti hydrogenerátoru ( $\eta_c$ ) na tlaku ( $p$ ) při daných otáčkách ( $n = \text{konst.}$ )

**Hodnocení rotačních hydromotorů** – využívají se shodné parametry jako u hydrogenerátorů

**Hodnocení přímočarých hydromotorů** – využívá se zmenšení síly, rychlosti přímočarého pohybu, ale většinou se měří pouze těsnost přímočarého hydromotoru

**Hodnocení tlakových ventilů** – nelze v obvodu překročit velikost tlaku pro různý průtok, tzn. určení  $p = f(Q)$

**Hodnocení filtrů** – závislost tlakového spádu ( $\Delta p$ ) na filtru při zvyšujícím se průtoku filtrem ( $Q$ )

**Měření v dynamickém režimu** – provádí se tehdy, když se projevují rázy, chování obvodu je nestabilní apod. Měření jsou podstatně náročnější, není možno provádět pouhé odečítání hodnot parametrů, nýbrž je nutný časový záznam naměřených hodnot. Nejčastěji se používají pro měření tlakových ventilů, kde hodnotíme velikost tlakové špičky ( $\Delta p$ ), která by měla být co nejmenší a čas útlumu ( $t$ ).

#### 4.6.1.2. Termodynamické metody

Dané metody vychází ze zákona o zachování energie, tzn. ztráty na hydraulickém prvku se projeví zvýšením teploty protékající hydraulické kapaliny. Určujeme tedy rozdíl teplot před a za prvkem, který se stává diagnostickým parametrem

nesoucí značné informace o technickém stavu a je poměrně jednoduše měřitelným (dnes se provádí i měření na povrchu prvků, resp. potrubí).

Cílem termodynamických metod je jako u parametrických metod stanovit základní diagnostický parametr daného prvku (účinnost, tlakový spád apod.), ale při využití jiných vstupních veličin (teplot, teplotních spádů).

#### 4.6.1.3. Vibroakustické metody

Pro diagnostiku hydraulických obvodů se především využívá vyhodnocování emitovaného ultrazvukového signálu sledovaným objektem (ultrazvuková aktivní metoda), i když je možno využít i kmitání (vibrace) rotujících částí ke zjištění především stavu ložisek. Podstatně širší využití tedy skýtá u hydraulických obvodů oblast ultrazvuku, neboť emise ultrazvuku patří k jeho typickým projevům.

Ultrazvukový signál vzniká při proudění kapaliny přes hydraulické odpory, jako projev vzniklých kavitačních procesů. Prudké zanikání kavitačních bublin způsobených rázy vyvolávající emisi ultrazvukového signálu v oblasti desítek až stovek Hz. Vlastní aplikace je možná také k rozpoznání netěsností. Značnou předností je snímání signálu na povrchu objektu.

V praxi potom nacházíme použití pro :

- tlakové ventily – při jejich činnosti dochází ke škrcení kapaliny, takže vznik kavitačních procesů je zákonitý, a je samozřejmě doprovázen emisí ultrazvukového signálu. Na velikost signálu mají vliv tyto parametry – teplota, tlakový spád, velikost tlaku v odpadní větvi a samozřejmě průtok
- škrtkové ventily – pracují v režimu kde je vznik kavitačních procesů opět zákonitý. Na vlastní velikost emitovaného signálu má mimo průtoku, teploty a tlaku v odpadu také vliv geometrie průtočného průřezu.
- přímočaré hydromotory – při dobrém stavu by nemělo docházet k vnitřním průsakům kolem pístu a tím by neměly kavitační procesy vzniknout.
- jednosměrné ventily – při dobrém technickém stavu nesmí v nepropustném stavu pronikat žádná kapalina, čímž je emise ultrazvukového signálu nulová
- rotační hydrogenerátory a hydromotory – zde se emise ultrazvukového signálu využívá k hodnocení stavu mechanických součástí, především ložisek, ale lze využít i oblast slyšitelných frekvencí (vibrací)

Vyhodnocení naměřených hodnot u všech uvedených prvků hydraulického obvodu se provádí na základě trendové analýzy, tzn. sledování změny velikosti signálu v čase při daném měřicím intervalu. Jako srovnávací parametr je referenční hodnota střední modulační složky ultrazvukového signálu.

#### 4.6.1.4. Tribodiagnostické metody

Využití těchto metod je poněkud jiné než např. u spalovacích motorů, pohonných jednotek, resp. jejich převodovek apod. Vzhledem k rozlehlosti hydraulických obvodů, značném množství kapaliny v obvodu a shodném materiálovém složení většiny třecích dvojic, se hodnocení opotřebení provádí velmi obtížně, tak se využívá zejména k analýze kvality hydraulické kapaliny, zejména její čistoty.

Stav kvality hydraulické kapaliny zásadním způsobem ovlivňuje provozní spolehlivost a životnost hydraulických systémů. Proto využití tribodiagnostiky s prostředky přečišťování přináší značné ekonomické úspory.

Olej je charakterizován zpravidla kinematickou viskozitou při 40°C a 100°C, viskozitním indexem, bodem vzplanutí a bodem tuhnutí. Vyrobené oleje nemají obsahovat vodu a je limitován obsah mechanických nečistot. Dále se u olejů hodnotí termooxidační stálost, anilinový bod (který dovoluje posoudit snášenlivost oleje k jednotlivým druhům pryžových těsnících materiálů) a povrchové vlastnosti (deemulgační charakteristika, deemulgační číslo, odlučivost vzduchu), které reagují i na stopová množství nežádoucích příměsí).

Jakost hydraulického oleje se v průběhu provozování stroje mění a použitelnost hydraulického oleje limitují zejména tři hlavní faktory :

- a) chemické stárnutí
- b) obsah mechanických nečistot
- c) obsah vody

Stanovení těchto faktorů je proto z provozního hlediska velmi důležité, i když často nelze provést analýzu přímo u uživatele, ale vzorky odebrané ze strojů se analyzují na specializovaných pracovištích.

#### **4.6.2. Vybrané příklady provozních měření**

##### **□ Odběr vzorku**

Vzorek musí představovat průměrné složení používaného maziva ve strojním zařízení. Pro odběr vzorku je vypracováno několik základních postupů, které jsou zakotveny v ČSN. Nejpřesnější a pracově náročná je ČSN 65 6207. Jedná se o odběr vzorků hydraulických kapalin, kde je tedy nutné věnovat zvýšenou pozornost množství a velikosti nečistot. Všeobecně se vzorky odebírají do čistých vzorkovnic o obsahu 300 ml. Strojní zařízení musí být minimálně 20 min. v provozu z důvodu dokonalého promíchání a ohřátí oleje na provozní teplotu. Pak odpustíme cca 500 ml oleje do čisté nádoby a nalijeme zpět do zařízení. Po propláchnutí odběrných zařízení provedeme odběr cca 200 – 250 ml oleje. Odebraný vzorek popíšeme a předáme ke zkoušce. Popis vzorku musí být přesný a čitelný. Na odběru vzorku závisí výsledek diagnostiky, a proto je nutné věnovat mimořádnou pozornost.

##### **□ Hodnocení olejů**

Po odběru vzorku je nutné provést předběžnou vizuální prohlídku oleje.

Posoudíme :

- barvu oleje
- přítomnost volné a vázané vody
- viditelné mechanické nečistoty
- zápach oleje (zředění palivem, přepálený olej v hydraulických zařízeních apod.)

Dále podrobíme olej laboratorním testům. Zde už dělíme oleje podle jejich použití. Základní rozdělení je na oleje motorové, průmyslové a speciální. Doporučené mezní jakostní ukazatele je nutné posuzovat velmi pečlivě a pro jednotlivá zařízení je

dále rozšiřovat. Hodnoty, které doporučujeme pro jednotlivé oleje, vycházejí z dlouholetých provozních zkušeností. Uvedené parametry je nutno považovat za doporučené pro všeobecnou orientaci a nebrat je dogmaticky pro všechna zařízení a oleje.

#### 4.6.2.1. Diagnostika motorových olejů

Ještě jednou než uvedeme některé výsledky měření, tak uvádíme doporučenou tabulku vybraných parametrů pro hodnocení motorových olejů (tab. 12).

### TABULKA Č. 12

#### MOTOROVÉ OLEJE

Název parametru	Benzinové motory	Naftové motory
Viskozita – zvýšení - snížení	max. o 20 % max. o 15 %	max. o 25 % max. o 20 %
Obsah paliva	max. 5 %	max. 5 % menší motory max. 7 % velké motory
Bod vzplanutí	min. 140°C	min. 200°C menší motory min. 170°C velké motory
Karbonizační zbytek (CCS)	max. 4 % hm.	max. 4 % hm.
Látky nerozp. v HEO	max. 1,5 % hm.	max. 2,5 % hm.
Obsah vody	max. 0,2 % hm.	max. 0,2 % hm.
Obsah glykolu	negativní	negativní
TBN	min. 3 mg KOH/g	min. 2,5 mg KOH/g
Kapková zkouška		
Zbytkové prvky : Fe	max. 100 ppm	max. 100 ppm
Al	max. 40 ppm	max. 40 ppm
Cu	max. 40 ppm	max. 40 ppm
Pb	max. 40 ppm	
Si	(pro bezolov. benzin) max. 20 ppm	max. 20 ppm

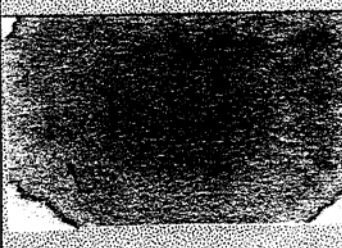
## Protokol číslo 39 / 99

**Hodnocení motorového oleje**                      **MOGUL FORTE 5W - 40**

**Olej ověřen ve vozidle**                              **1239 - 511**

**Počet ujetých kilometrů**                              **14 650 km**

**Vzorek předán k hodnocení pracovníky**    **ŠKODA, a.a.s. Mladá Boleslav**

<b>Kinematická viskozita při 40 ° C</b>	<b>78,23</b>	<b>mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup></b>
<b>při 100 ° C</b>	<b>12,43</b>	<b>mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup></b>
<b>Viskozitní index</b>	<b>157</b>	
<b>Bod vzplanutí</b>	<b>198</b>	<b>° C</b>
<b>CCR</b>	<b>2,76</b>	<b>% hm.</b>
<b>Látky nerozpustné v HEO</b>	<b>0,39</b>	<b>% hm</b>
<b>Voda</b>	<b>nepřítomna</b>	
<b>Přítomnost glykolu</b>	<b>negativní</b>	
<b>Obsah prvků</b>	<b>železo</b>	<b>48,09 ppm</b>
	<b>měď</b>	<b>10,46 ppm</b>
	<b>hliník</b>	<b>15,72 ppm</b>
	<b>chrom</b>	<b>9,222 ppm</b>
	<b>křemík</b>	<b>ppm</b>
<b>Mechanické nečistoty</b>	<b>ISO</b>	<b>17/14</b>
	<b>NAS</b>	<b>9</b>
	<b>mg/ 100 ml</b>	<b>200</b>
<b>Kapková zkouška</b>		

### **Hodnocení provedené zkoušky č. 39/99**

Dodaný vzorek oleje MOGUL FORTE 5W-40 byl ověřován ve vozidle 1239-511. Výměna oleje byla provedena po 14 650 km. Byl použit čistič oleje DONIT. Olej prokázal dobré vlastnosti. Olej neobsahuje vodu ani glykol. Olej obsahuje jen mírně zvýšené množství karbonizačního zbytku a látek nerozpustných v HEO, má velmi dobré detergentně-disperzní vlastnosti. Mírně zvýšené je i množství zbytkových prvků. Tlaková ztráta čističe oleje se v průběhu zkoušky mírně zvýšila, viz graf. obr. 118. Čistota oleje je velmi dobrá, ISO – 17/14. Motorový olej MOGUL FORTE 5W-40 je ve velmi dobrém technickém stavu. Olej splňuje předepsané jakostní ukazatele.

### **Hodnocení provedené zkoušky č. 36/99**

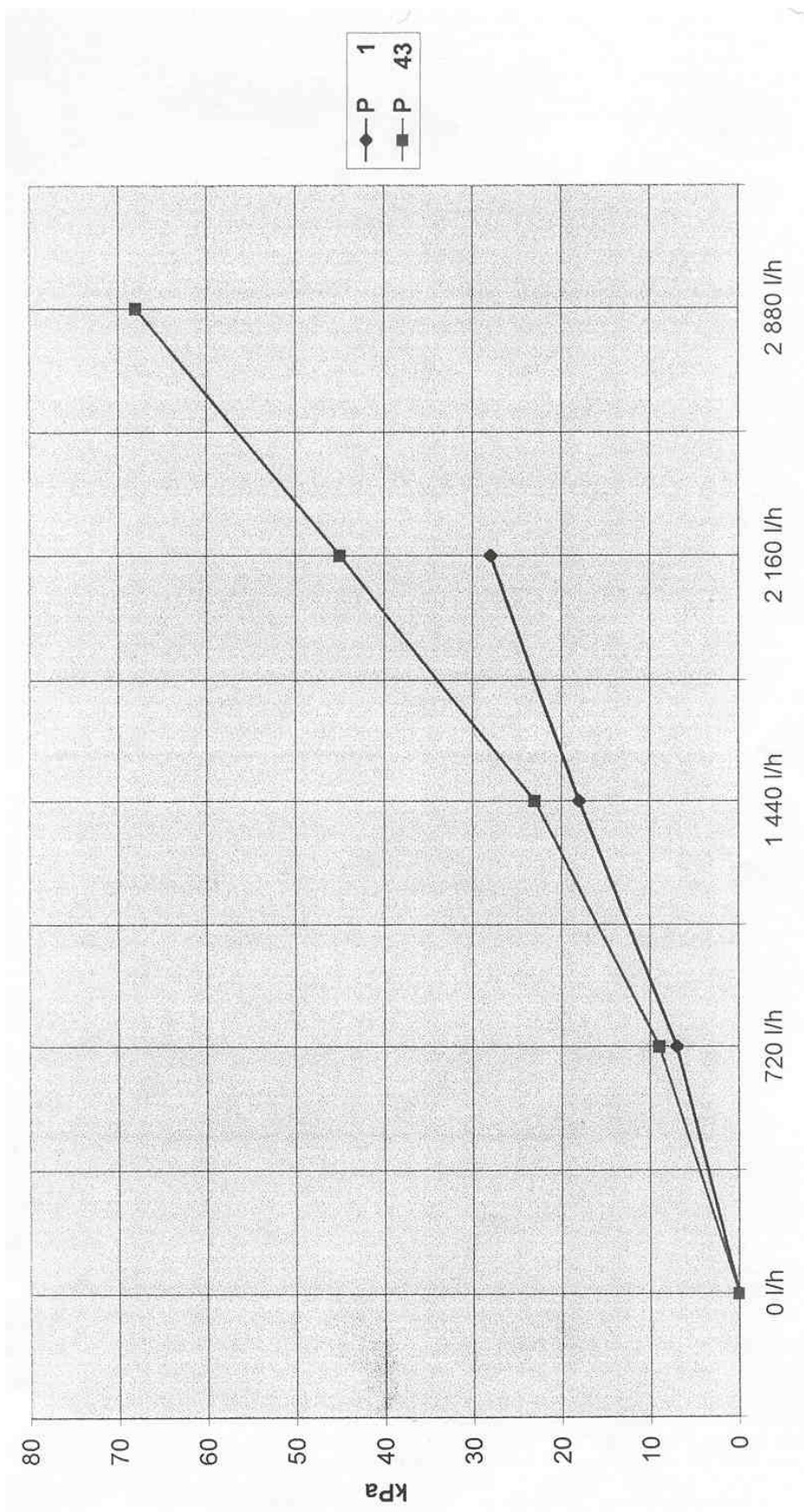
Dodaný vzorek oleje MOGUL FORTE 5W – 40 byl ověřován ve zkušebně ŠKODA AUTO a.s., č. motoru AMD 000 137. Výměna oleje byla provedena po 400 hod. Olej neobsahuje vodu ani glykol. Olej obsahuje vyšší množství karbonizačního zbytku a látek nerozpustných v HEO, přesto má dobré detergentně – disperzní vlastnosti. Olej obsahuje vysoké množství železa a mírně zvýšené množství mědi a hliníku. Čistota oleje je průměrná, ISO – 18/15. Motorový olej MOGUL FORTE 5W – 40 je i přes výše uvedené nedostatky ve svých základních parametrech v dobrém technickém stavu.

### **Hodnocení provedené zkoušky vzorek č. 334/199/2000**

Dodaný vzorek má dobrou viskozitu a bod vzplanutí. Obsahuje však stopy vody a má vysoký CCR. Olej obsahuje větší množství sazí. Opotřebení podle obsahu Fe je na hranici – vysoké opotřebení. Olej obsahuje větší množství mechanických nečistot, což je zřejmě způsobeno špatnou funkcí olejových filtrů. Na to, že s olejem bylo najeto 5 500 km je ve velmi špatném stavu. Hlavní příčinu je třeba hledat v technickém stavu motoru.

Na obr. 119 je ukázka hodnocení kinematické viskozity při 40°C pro různé druhy olejů v grafické podobě v závislosti na ujetých km, tak jak bylo změřeno u skutečného motoru automobilů. Z daného obrázku si určitě každý udělá závěry sám a určitě budou postaveny na poklesu viskozity během provozního nasazení.


Obr. 120, pak ukazuje průběh nárůstu Fe v závislosti na počtu ujetých kolometrů u stejných druhů olejů, jako na obr. 119. I zde není určitě nutný další komentář. Tabulka č. 13 je výsledkem sledování tribodiagnostických parametrů uvedeného objektu. Další tabulka č. 14 nám pomůže při hodnocení motorových olejů při provozu s bioplynem.



**OBR. 118** Tlaková ztráta čističe oleje KNECHT 561 F

## Protokol číslo 36 / 99


**Hodnocení motorového oleje**                      **MOGUL FORTE 5W - 40**  
**Olej ověřen ve vozidle**                              **č. motoru AMD 000 137**  
**Počet ujetých kilometrů**                              **výměna po 400 hod.**  
**Vzorek předán k hodnocení pracovníky**      **ŠKODA, a.a.s. Mladá Boleslav**

<b>Kinematická viskozita při 40 ° C</b>	92,46	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
<b>při 100 ° C</b>	14,80	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
<b>Viskozitní index</b>	168	
<b>Bod vzplanutí</b>	180	° C
<b>CCR</b>	3,36	% hm.
<b>Látky nerozpustné v HEO</b>	0,57	% hm
<b>Voda</b>	nepřítomna	
<b>Přítomnost glykolu</b>	negativní	
<b>Obsah prvků</b>	<b>železo</b>	106,6 ppm
	<b>měď</b>	12,05 ppm
	<b>hliník</b>	17,01 ppm
	<b>chrom</b>	9,095 ppm
	<b>křemík</b>	ppm
<b>Mechanické nečistoty</b>	<b>ISO</b>	18/15
	<b>NAS</b>	10
	<b>mg/ 100 ml</b>	460
<b>Kapková zkouška</b>		



## Protokol číslo 334 / 199 / 2000

Hodnocení motorového oleje : **MOGUL DIESEL DTT**  
 Olej ověřen ve vozidle : **HYUNDAI H 100**  
 Počet ujetých kilometrů : **5 500 km po předchozí opravě motoru**  
 Vzorek předán k hodnocení : **P. Křížem**

Kinematická viskozita při 40 ° C při 100 ° C	107,00	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
Viskozitní index		
Bod vzplanutí	214	° C
CCR	4,10	% hm.
Voda		stopy
Přítomnost glykolu		negativní
Obsah prvků	železo	92,0 ppm
	měď	15,0 ppm
	hliník	16,0 ppm
	chrom	2,0 ppm
Mechanické nečistoty	ISO	21/18
	NAS	12
	mg/ 100 ml	
Kapková zkouška		

Čelákovice, dne 9. 6. 2000

Hodnocení provedeno :

laboratoře KORAMO a TRIFOSERVIS

Hodnocení zpracoval :


Mgr. Eva Švecová

**TRIFO SERVIS**  
 Rumunská 1457  
 250 88 Čelákovice

  
 Vladislav Marek

## Protokol číslo 592 / 307 / 2000

**Hodnocení motorového oleje :** MOGUL OPTIMAL 10W - 40  
**Olej ověřen ve vozidle :** HYUNDAI H 1, AKA 66 - 04 (diesel)  
**Počet ujetých kilometrů :** po najetí 10 000 km ( ? )  
**Vzorek předán k hodnocení :** p. Vernerem, P. Křížem

Kinematická viskozita při 40 ° C	68,77	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
při 100 ° C	10,23	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
Viskozitní index	134	
Bod vzplanutí	218	° C
CCR		% hm.
Voda	stopy	
Přítomnost glykolu	negativní	
Obsah prvků	železo	62 ppm
	měď	9 ppm
	hliník	61 ppm
	chrom	26 ppm
Mechanické nečistoty	ISO	17/14
	NAS	9
	mg/ 100 ml	
Kapková zkouška		

Čelákovice, dne 20.10. 2000

Hodnocení provedeno :

Hodnocení zpracoval :

laboratoře KORAMO a TRIFOSERVIS

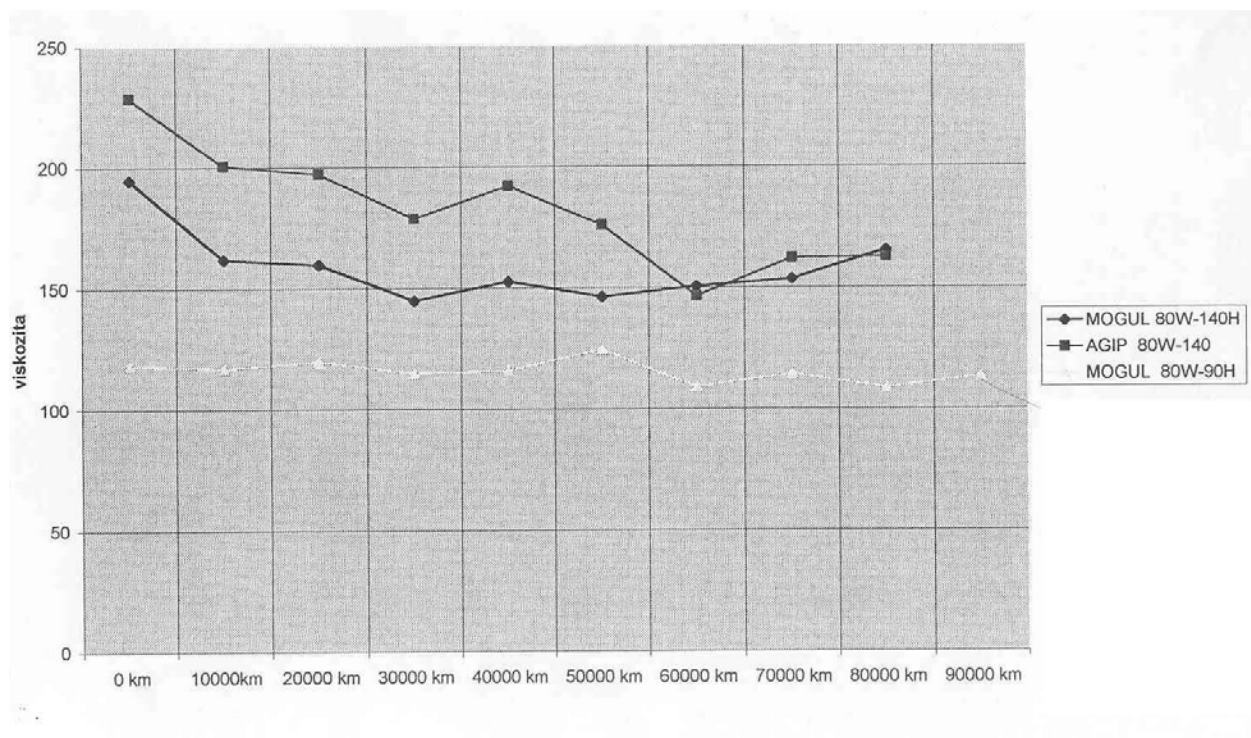
Mgr. Eva Švecová

**TRIFO SERVIS**

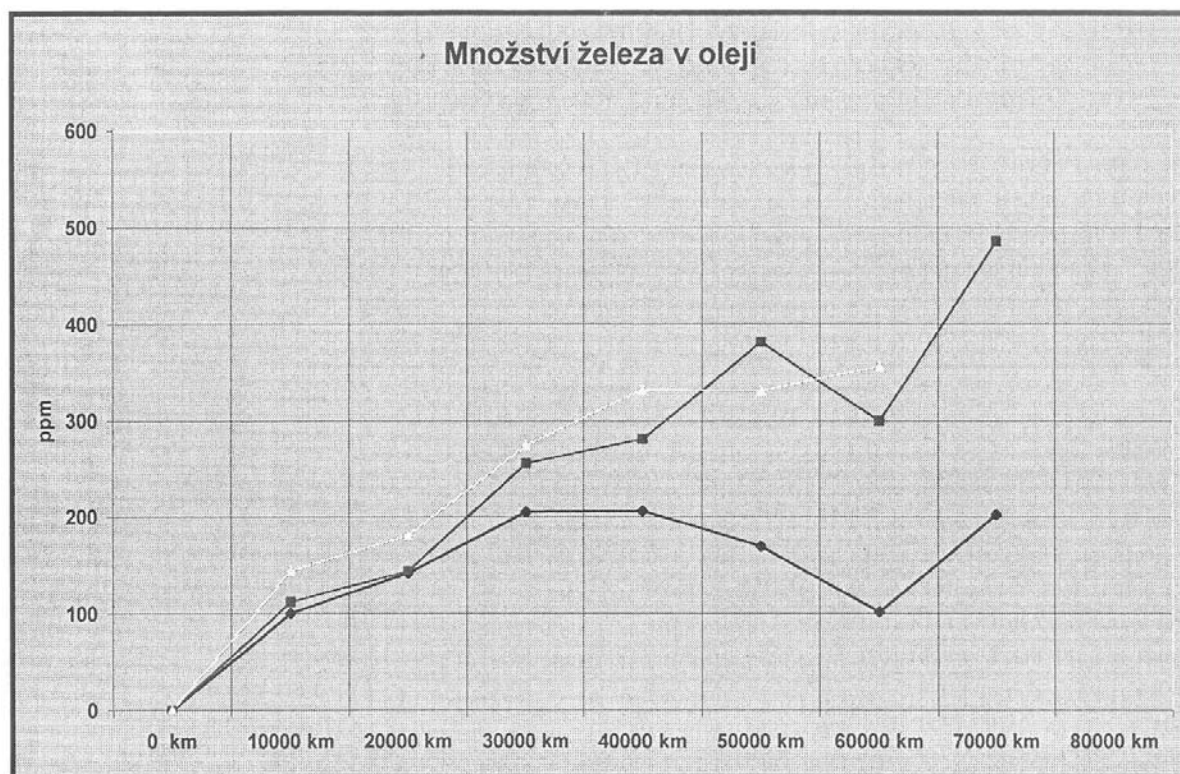
Rumunská 1457

250 88 Čelákovice

*Vladislav Marek*



**OBR. 119** Kinematická viskozita 40°C



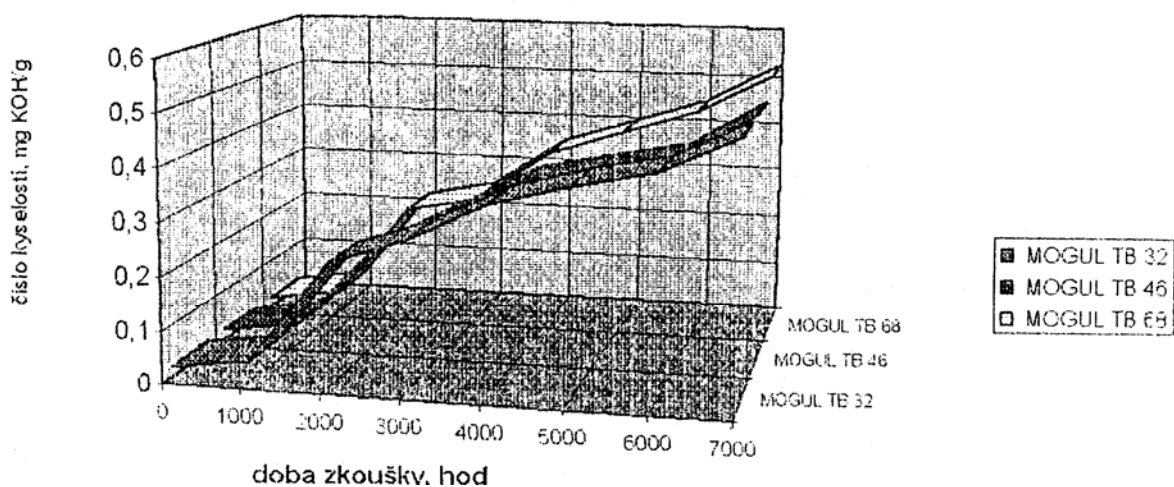
**OBR. 120** Množství železa v oleji

## TABULKA Č. 13

MOTOR LIAZ M 1.2, MŠ 640, PROVOZ TIR, OLEJ MOGUL DTT

Průběh km	Viskozita	Bod.vzpl.	HEO	TBN	Voda	Fe	Cu	Al	Si
10 000	11,76	195	1,3	11,6	stopy	26,3	< 1	< 3	< 20
20 000	11,42	186	1,3	11,4	stopy	31,3	< 1	< 3	< 20
30 000	11,54	189	1,35	11,3	stopy	32,8	< 1	< 3	< 20
40 000	11,4	190	2,05	11,1	stopy	48,5	2,4	< 3	< 20
50 000	11,4	185	2,01	11,1	stopy	51,4	2,6	< 3	< 20
60 000	11,45	185	2,25	11,1	stopy	56,2	2,6	< 3	< 20

Pro zvýšení informovanosti uvádíme na obr. 121 průběh oxidační stability vedených olejů a v tab. 15 pak hodnoty diagnostických parametrů (Fe, Cu) k hodnocení technického stavu motorů lokomotiv



**OBR. 121** Oxidační stabilita olejů MOGUL TB (podle ASTM D 943)

## TABULKA Č. 14

### HODNOCENÍ OLEJŮ V PROVOZU S BIOPLYNEM

	A			B			C			D			E		
	0h	500h	700h	0h	500h	700h	0h	500h	700h	0h	500h	700h	0h	500h	700h
Viskozita 100°C [mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]	13,5	14,6	14,4	11,8	12,1	12,6	11,7	11,5	11,7	14,1	17,5	/	14,5	13,9	14,4
TAN [mg.KOH/g]	2,0	3,3	3,9	1,8	3,9	4,6	1,9	2,7	5,1	2,1	7,0		2,2	2,7	3,3
TBN [mg.KOH/g]	5,7	3,1	2,1	5,4	2,3	1,9	8,0	4,5	3,7	5,2	1,8		5,7	2,4	1,9
Popel [%hm.]	0,71	0,70	0,68	0,75	0,75	0,79	1,08	1,0	0,9	0,7	0,65		0,45	0,54	0,54
Karb. Zbytek	1,03	1,19	1,16	0,8	1,21	1,41	1,5	1,6	1,79	1,05	1,7		0,60	0,82	0,90
Obsah Fe [ppm]	/	5,0	5,0	0	3,0	5,5	0,	12	16	0,	28		0	2,5	2
Cu [ppm]	/	2,0	10,0	0	1,5	13,0	0	13	24	0	39		0	7	8

## TABULKA Č. 15

### HODNOCENÍ MOTORŮ LOKOMOTIV

Povolené množství železa (ppm)			
LOKO	dobry	neuspokojivy	havarijni
T 679	0 – 10	20 – 30	nad 40
T 478	0 – 20	30 – 40	nad 50
T 466	0 – 10	20 – 30	nad 40
T 435	0 – 10	20 – 30	nad 40
T 669	0 - 20	30 – 50	nad 60
T 286	0 – 10	20 – 30	nad 40

#### 4.6.2.2. Diagnostika průmyslových a speciálních olejů

Zase v úvodu uvádíme tabulku pro hodnocení průmyslových olejů (tab. 16), resp. jejich základních diagnostických parametrů a některé vybrané poznámky k diagnostice turbinových olejů

##### TABULKA Č. 16

##### PRŮMYSLOVÉ OLEJE

Viskozita	± 20 %
Číslo kyselosti	max. 1 až 1,5 mg KOH/g
Obsah vody	max. 0,2 % max. 0,1 % u vysokotlaké hydrauliky
Látky nerozpustné v toulenu	max. 1 % hm.
Obsah zadíracích nečistot	nepřítomny

#### □ Diagnostika turbinových olejů

Tribotechnická diagnostika turbinových olejů v provozu velkých soustrojí, a to předně turbokompresorů, parních a plyných turbin, je nezbytná pro zajištění bezporuchového provozu. Olejové hospodářství obsahuje 3000 až 60 000 litrů oleje. To je důležitý faktor, který může ekonomicky i ekologicky ovlivnit provoz těchto zařízení.

Turbinové oleje jsou vyráběny z vysoce jakostních rafinovaných ropných olejů. Oleje obsahují přísady proti oxidaci, korozi, pění a pro snížení bodu tuhnutí. Oleje u těchto soustrojí jsou v provozu řadu let a při cca 10 % doplňování oleje ročně se celková výměna provádí při generálních opravách, tj. cca po 10 až 15 letech.

Na základě dlouhodobého sledování velkého množství turbokompresorů, parních a plynových turbin bylo prokázáno, že uplatnění TTD a sledování opotřebení rozhodujících uzlů není prakticky proveditelné. Velké množství oleje a dobrá filtrace neumožní přesné stanovení zbytkových prvků. Tím se velmi těžko určuje otěr ložisek, opotřebení čerpadel a převodovek. U těchto soustrojí je proto výhodné sledovat kvalitu oleje a zajišťovat jeho maximální čistotu. Jeho plná připravenost pak zajistí bezporuchový a dlouhodobý provoz. To vyžaduje pravidelné odběry vzorků oleje a jejich hodnocení. Na základě statistických údajů je pak možné přesně určovat, kdy je nutné oleje filtrovat, zbavovat vody, doplňovat přísady, popř. provést výměnu olejové náplně.

Z provozního hlediska je možno jednoznačně konstatovat, že oleje mají dlouhodobou životnost. Nejčastější závady jsou v pronikání vody do oleje a ve zvýšeném množství mechanických nečistot. Základním problémem jsou nová soustrojí uváděna do provozu nebo zařízení po generální opravě. Zde je nutné dodržet přesné postupy proplachu, aby došlo k odstranění nečistot a zbytků konzervačních prostředků z okruhu. Při nedodržení pracovních postupů dochází často ke zhoršení demulgační schopnosti oleje a ke tvorbě pryskyřičnatých kalů. Celkově lze jednoznačně konstatovat, že oleje jsou dlouhodobě provozovány a v celém olejovém systému dochází k minimálnímu počtu poruch.

S těmito poznámkami souvisí i tabulka č. 17, která ukazuje návrh kontroly olejových náplní při provozu velkých točivých strojů (např. ČEZ, TRANSGAS).

Uvedené hodnoty jsou všeobecně uznávány a také odpovídají předpisům, resp. normám ASTM, DIN apod.

## TABULKA Č. 17

### NÁVRH KONTROLY OLEJOVÝCH NÁPLNÍ V PROVOZU VELKÝCH TOČIVÝCH STROJŮ

Průběžné kontroly :	Termín kontroly	Hodnoty
1. Vzhled	denně	Vizuální kontrola – nesmí být žádná změna olej čirý, bez zápachu, vody a sedimentů
2. Barva	denně	Vizuální kontrola, nesmí dojít k výrazné změně
3. Číslo kyselosti	za 3 měsíce	Zvýšení max. o 0,2 mg KOH/g
4. Kinematická viskozita	za 6 měsíců doporučené hodnoty	Rozdíl od původní $\pm 10$ až 15 % (26 – 40 mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> /40°C) (TB 32) (38 – 60 mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> /40°C) (TB 46)
5. Bod vzplanutí	1 x ročně	Min. 180°C
6. Obsah vody	za 3 měsíce	Max. 0,05 % (500 ppm)
7. Deemulgace	za 6 měsíců	Max. 800 s
7.a Deemulgační char.	za 6 měsíců	Max. 30 min.
8. Látky nerozpust. v hexanu	za 6 měsíců	Max. 0,1 %
9. Obsah přísad *)	1 x ročně	Obsah přísad nesmí poklesnout pod 25 % původního obsahu
10. Mechanické nečistoty	za 6 měsíců	Kód čistoty podle ČSN 65 6206, max. 18/16
11. Koroze	za 6 měsíců	nepřítomna

\*) kontrolu provádí výrobce oleje

Další stránky této kapitoly pak ukazují výsledky vybraných měřicích protokolů a obr. 122 a obr. 123 ukazují výsledky monitorování čistoty oleje u vzorku daného počtu stejných typů turbin. Tab. 18 shrnuje základní údaje pro hodnocení čistoty olejů a tab. 19 ukazuje vliv čistoty hydraulických olejů na prodloužení životnosti hydraulických systémů Life Extension method (LEM) – Hydraulic Systems.

Další sled obrázků a tabulek ukazuje některé vybrané výsledky tribodiagnostických měření na velkstrojích pro povrchové dobývání hnědého uhlí (kolesová rýpadla). Obr. 124 průběh závislosti obsahu Fe na provozu u převodovek pohonu kola kolesového rýpadla KU 800. Obr. 125 pak ukazuje defakto totéž, ale pro Fe, Cu a Pb s pravidelným měřicím cyklusem měření a jiný pohon kola. Tab. 20 pak ukazuje hodnoty pro hodnocení vybraných olejů (měření je staršího data, tak není označení v souladu s dnes používanými) používaných v olejových náplních objektů provozovaných na hnědouhelných povrchových dolech. Tab. 21 ukazuje vyhodnocení celé řady pohonných jednotek u kolesového rýpadla K 1000 a obr. 126 ukázkou možného výstupu ferografie pro daný objekt.

# Protokol číslo 99030

Název maziva : **MOGUL TB 46**  
Vzorek dodal : **TRANSGAS, Strážovice**  
Místo odběru : **TS - 9**  
Datum odběru : **30.3. 1999**

## Zpráva o rozboru

Jakostní ukazatelé	Jednotka	Naměřená hodnota	Zkušební metoda
Kinematická viskozita / 40 <sup>0</sup> C	mm <sup>2</sup> /s	46,20	ČSN 656216
Bod vzplanutí OK	<sup>0</sup> C	216	ČSN 656212
Číslo kyselosti	mgKOH/g	0,029	ČSN 656070
Deemulgační číslo	s	280	ČSN 656230
Obsah vody	ppm	< 500	ČSN 656062
Urychlená koroze na Cu (100 <sup>0</sup> C/3 hod.)	-	1b	ČSN 656075
Látky nerozpustné v n-heptanu	% hm.	-	ČSN 656255
Obsah antiox.přísady	% hm.	60	IČ spektrometr
ISO		17/14	ČSN 656206 ISO 4406/87
NAS		8	NAS 1638 ISO 11218

Hodnocení provedeno : 22.4. 1999  
Hodnocení zpracoval : Vladislav Marek



# Protokol číslo 610/312/2000

Název maziva : TB - 46 S  
Vzorek dodal : CHEMOPETROL  
LITVÍNOV, divize energetiky  
Místo odběru : TG - 5  
Datum odběru : 3.10. 2000

## Zpráva o rozboru

Jakostní ukazatelé	Jednotka	Naměřená hodnota	Zkušební metoda
Kinematická viskozita / 40 <sup>0</sup> C	mm <sup>2</sup> /s	46,21	ČSN 656216
Bod vzplanutí OK	<sup>0</sup> C	216	ČSN 656212
Číslo kyselosti	mgKOH/g	0,053	ČSN 656070
Deemulgační číslo	s	150	ČSN 656230
Obsah vody	ppm	166	
Urychlená koroze na Cu (100 <sup>0</sup> C/3 hod.)	-	1a	ČSN 656075
Obsah antiox.přísady	% hm.	84	IČ spektrometr
ISO		17/14	ČSN 656206 ISO 4406/87
NAS		9	NAS 1638 ISO 11218

Hodnocení provedeno : laboratoře KORAMO a TRIFOSERVIS  
Hodnocení zpracoval : Mgr. Eva Švecová

TRIFO SERVIS  
Rumunská 1457  
250 83 Čelákovice

  
Vladislav Marek  
ředitel

V Čelákovících dne 26.10. 2000

# PROTOKOL číslo 339/2000

Zákazník : **FILTAKLEEN**  
**Jan Zajíček**  
**Pod Mlýnkem 101/8, Praha 6**

Druh oleje : **HYDRAULICKÝ OLEJ HM**

Vzorky ze závodu : **ŠKODA AUTO, a.s.**  
**Mladá Boleslav - provoz M - 2**

Strojní zařízení : **KARL KLINK 1**  
**I.Č. 45412 - 005, středisko 2211**

Odběr provedl : **Jan Zajíček**  
Vzorek dodán k rozboru : **2. června 2000**

## HODNOCENÍ OLEJŮ

	před filtrací	po filtraci	jednotky
Kinematická viskozita při 40 <sup>0</sup> C	-	48,63	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
Obsah vody	0,18	0	% hm.
Čistota oleje dle ISO 4406	22/20	18/15	
NAS 1638	> 12	10	

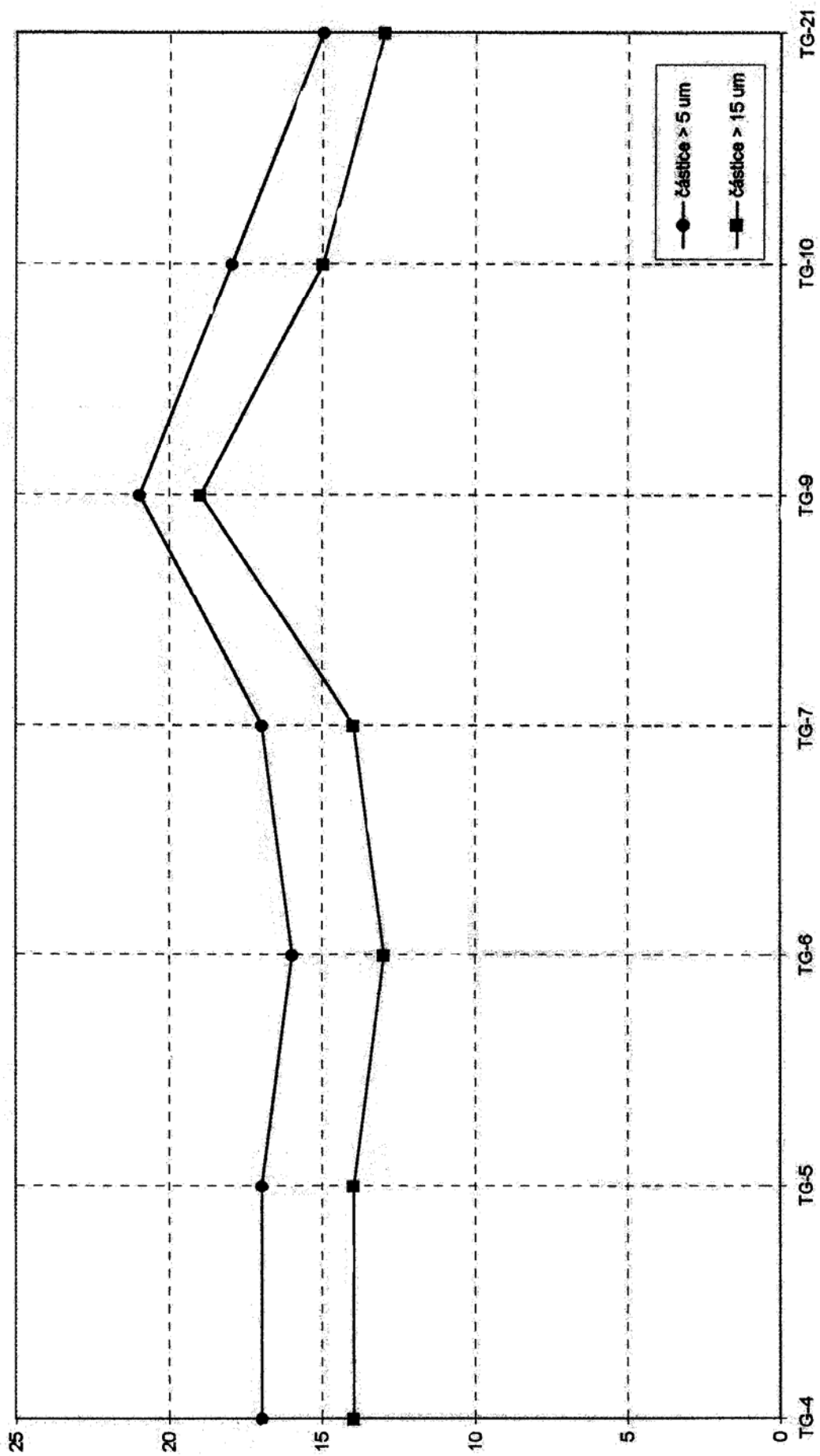
**Hodnocení :** **OLEJ PO FILTRACI SPLŇUJE PODMÍNKY PRO BEZPORUCHOVÝ PROVOZ**

**Hodnocení provedeno :**  
**Hodnocení zpracoval :**  
**Čelákovice, 6.6. 2000**

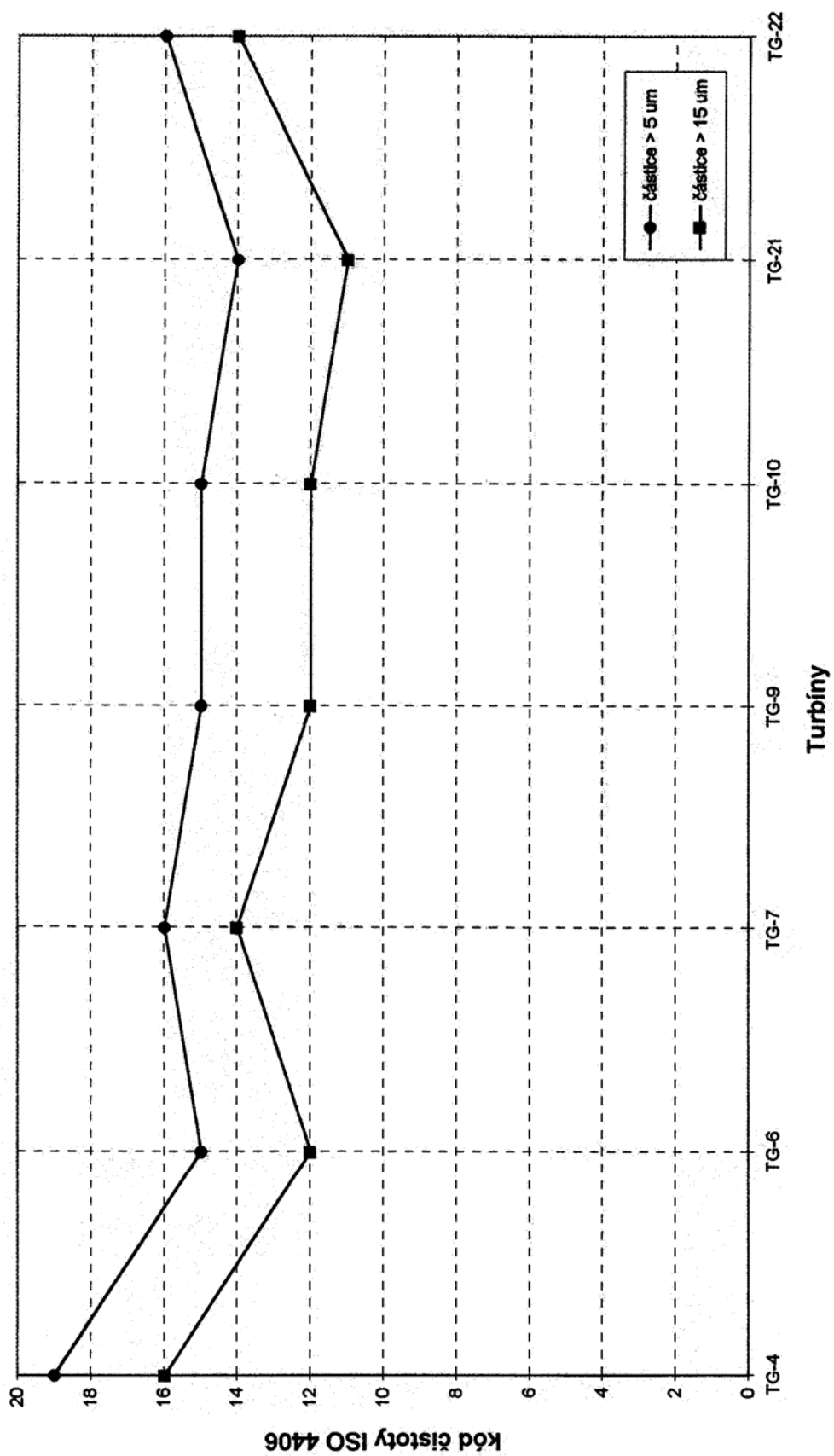
**laboratoře TRIFOSERVIS**  
**Mgr. Eva Švecová**

**TRIFO SERVIS**  
Rumunská 1457  
250 83 Čelákovice

  
**Vladislav Marek**  
ředitel



OBR. 122 Monitorování čistoty oleje v turbínách – ½ roku 1998



OBR. 123 Monitorování čistoty oleje v turbínách – konec roku 1998

## TABULKA Č. 18

### HODNOCENÍ ČISTOTY OLEJŮ

Hodnocení čistoty olejů		
ISO 4406	ČSN 65 6206	
Počet částic v 1 ml kapaliny		
větších než	5 μm	
větších než	15 μm	
Nově se doplňuje větších než 2 μm		
Čistota oleje	18/16	19/17/15
-----		
Jako doplňková metoda		
NAS 1638	ISO 11218	
Množství nečistot ve 100 ml kapaliny		
Větší než	2 μm	
Větší než	5 μm	
Větší než	15 μm	
Větší než	25 μm	
Větší než	50 μm	
Značení tříd čistoty	000 až 12	

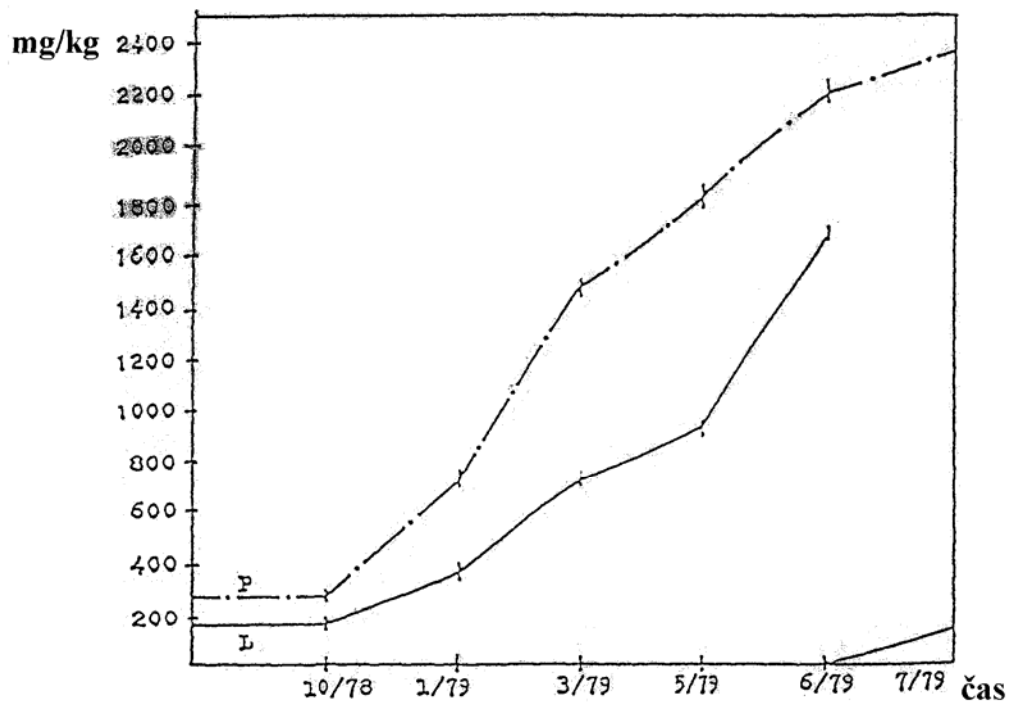
## TABULKA Č. 19

### PRODLOUŽENÍ ŽIVOTNOSTI (LEM) HYDRAULICKÝCH SYSTÉMŮ

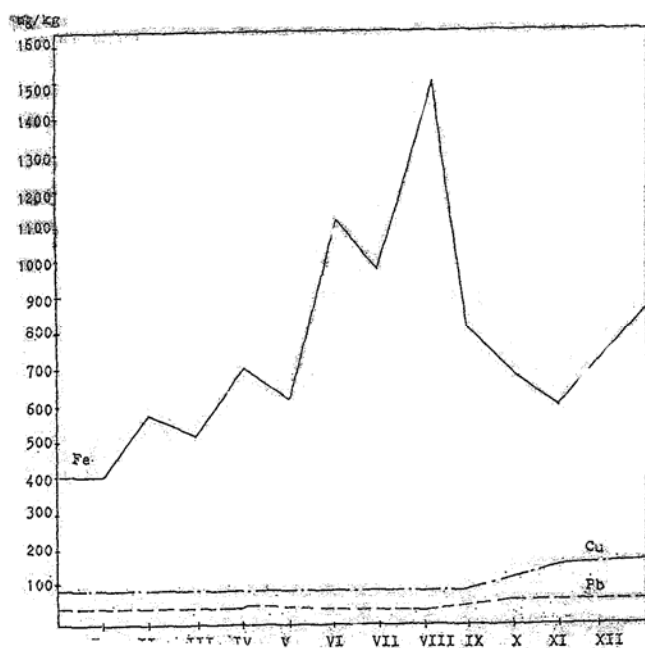
Faktor prodloužení (LEF)										
Běžné stroje – ISO kód čistoty	A/B	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	26/23	23/21	22/19	21/18	20/17	20/17	19/16	19/16	18/15	18/15
	25/22	23/19	21/18	20/17	19/16	19/15	18/15	18/14	17/14	17/14
	24/21	21/18	20/17	19/16	19/15	18/14	17/14	17/13	16/13	16/13
	23/20	20/17	19/16	18/15	17/14	17/13	16/13	16/12	15/12	15/11
	22/19	19/16	18/15	17/14	16/13	16/12	15/12	14/11	14/11	14/10
	21/18	18/15	17/14	16/13	15/12	15/11	14/11	14/10	13/10	13/10
	20/17	17/14	16/13	15/12	14/11	13/11	13/10	13/9	12/9	12/8
	19/16	16/13	15/12	14/11	13/10	13/9	12/9	12/8	11/8	11/8
	18/15	15/12	14/11	13/10	12/9	12/8	11/8	-	-	-
	17/14	14/11	13/10	12/9	12/8	11/8	-	-	-	-
	16/13	13/10	12/9	11/8	-	-	-	-	-	-
	15/12	12/9	11/8	-	-	-	-	-	-	-
	14/11	11/8	-	-	-	-	-	-	-	-
13/10	11/8(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	
12/9	11/8(2)	-	-	-	-	-	-	-	-	

(1) Faktor prodloužení = 1,8

(2) Faktor prodloužení = 1,45



**OBR. 124** Průběh závislosti obsahu Fe na provozním čase u převodovek pohonu kola kolesového rypadla KU 800 (P – pravá převodovka, L – levá převodovka)



**OBR. 125** Průběh závislosti obsahu oděrových kovů (Fe, Cu, Pb) na čase provozu získaný pomocí AAS (atomová absorpční spektroskopie)

## TABULKA Č. 20

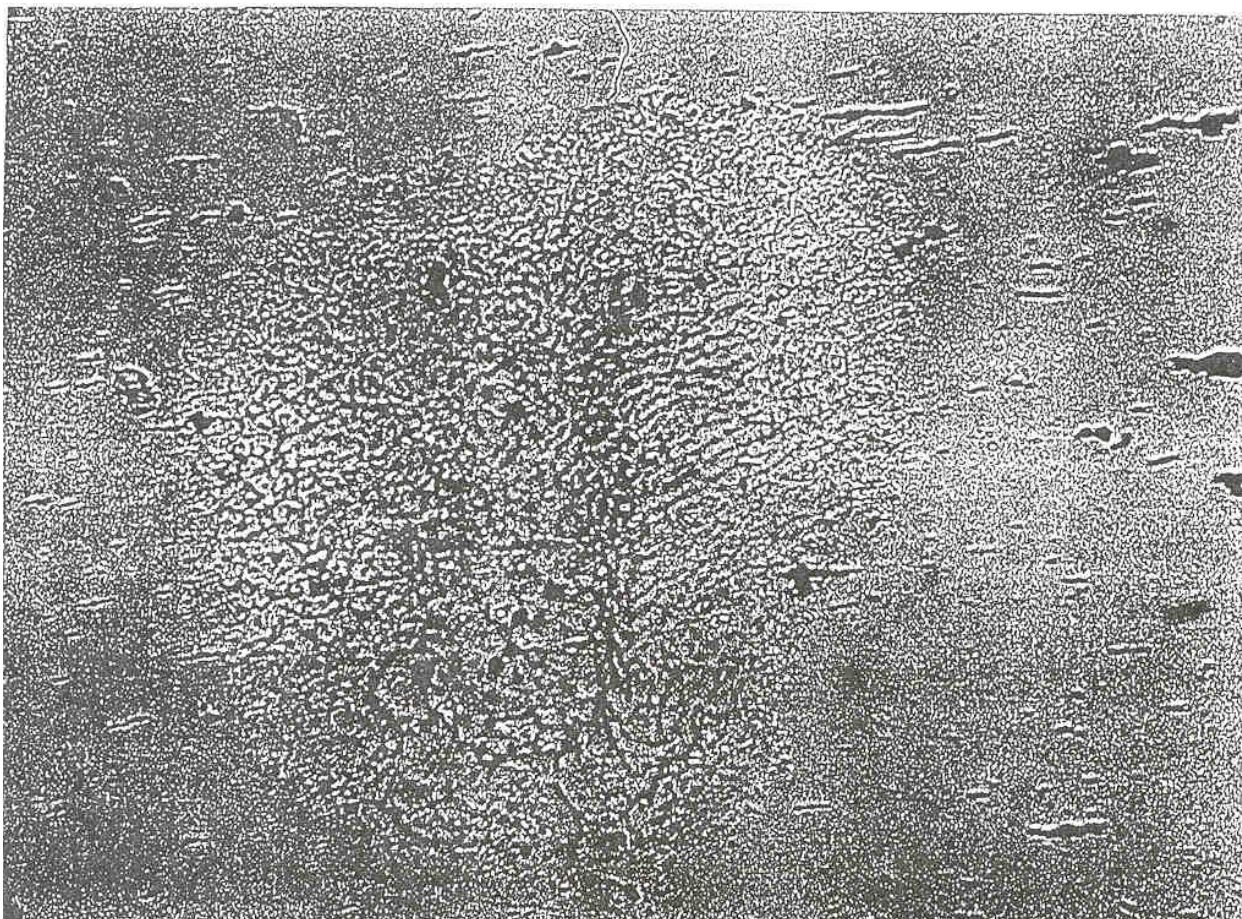
LIMITNÍ HODNOTY JAKOSTI PRŮMYSLVÝCH OLEJŮ V PROVOZU,  
URČENÉ NA ZÁKLADĚ STATISTICKÉHO ZPRACOVÁNÍ

Druh	Kinetická viskozita 40°C mm <sup>2</sup> /sec.	Kinetická viskozita 100°C mm <sup>2</sup> /sec.	Číslo kyselosti mg KOH/g	Obsah vody pp <sup>tu</sup> max.	Požadavky na čistotu olejů: ISO 4406 (ČSN 656206)
Mogul Kompresor K100	-	11,0 – 14,4	1,5	10 000	19/15
Mogul Kompresor K150	-	15,0 – 19,4	1,5	10 000	18/15
Mogul Trans PP80	-	7,5 – 11,0	-	10 000	19/15
Mogul Trans PP90	-	14,5 – 17,9	-	10 000	19/15
Mogul HM 22	18,7 25,3	-	1,5	500	v rozmezí tříd
Mogul HM 32	27,2 36,8	-	1,5	500	19/15 až 16,4
Mogul HM 46	39,1 52,9	-	1,5	500	↓
Mogul HV 32	27,2 36,8	-	1,5	500	
Mogul HV 46	39,1 52,9	-	1,5	500	
Mogul N 22	18,7 25,3	-	1,5	500	
Mogul N 32	27,2 36,8	-	1,5	500	
Mogul N 46	39,1 52,9	-	1,5	500	

## TABULKA Č. 21

OBSAH ODĚROVÝCH KOVŮ V OLEJI VYBRANÝCH OBJEKTŮ NA  
VELKOSTROJI

stroj	Označení vzorku součást strojních mechanismů	Druh oleje	Obsah kovů v mg/kg		
			Fe	Cu	Pb
K 1000	pojezd č. 1	PP 7	28	7,4	18,6
	pojezd č. 2	PP 7	43	14,8	28,7
	pojezd č. 3	PP 7	69	3,9	-
	pojezd č. 4	PP 7	90	2,8	8,5
	pojezd č. 5	PP 7	47	3,3	-
	pojezd č. 6	PP 7	89	4,0	-
	pas č. 1	PP 7	100	10,1	19,2
	pas č. 2	PP 7	59	3,6	7,2
	pas č. 3	PP 7	172	5,9	14,7
	pas č. 4	PP 7	9	4,2	8,4
	převodovka otoče pravá	PP 7	39	10,1	-
	převodovka otoče levá	PP 7	24	2,9	-
	výsuv pravá	PP 7	4	1,4	4,8
	výsuv levá	PP 7	4	1,9	4,7
	výsuv hlavní	PP 7	3	0,9	-
	převodovka zdvihu kolesáku	PP 7	32	9,6	7,3
	převodovka zdvihu nákladáku	PP 7	53	11,1	-
	kolesová skříň	PP 7	39	7,4	-
	hydraulika teleskop	PP 7	1	6,4	-
	kolesová převodovka	PP 7	8479	409	-



**OBR. 126** Vyhodnocení ferogramu – převodovka vykládacího výložníku pásového zakladače (výrazná gelová částice)

#### 4.7. Multiparametrická diagnostika a tribodiagnostika

Základem každé predikce prognózy zbytkové životnosti je objektivní znalost technického stavu sledovaného objektu s co nejvyšší jistotou rozhodnutí. Multiparametrický přístup umožní odhalit závady nezjistitelné při použití pouze jedné měřicí (diagnostické) metody a tím zvýšit jistotu rozhodnutí o technickém stavu se všemi návaznými pozitivy.

Multiparametrický přístup k provozní diagnostice strojů a zařízení spočívá v použití několika měřících, resp. diagnostických metod, což umožňuje nejen zvýšení jistoty rozhodnutí o technickém stavu, ale zároveň zlepšuje detekci a diagnostiku závad. Použití tohoto multiparametrického přístupu umožní odhalit závady nezjistitelné při použití pouze jedné měřicí (diagnostické) metody.

Formulujeme-li cíl multiparametrické diagnostiky pomocí řetězce závislostí, můžeme uvést :

zvýšení jistoty		zvýšení		zvýšení
určení zbytkové životnosti	→	provozní spolehlivosti	→	vprojektované spolehlivosti



Při řešení dané problematiky je potom otázka zvyšování jistoty rozhodnutí při určení zbytkové životnosti strojů a zařízení vlastně nutným výstupem, což naplňuje definici provozní spolehlivosti : provozní spolehlivostí rozumíme vlastnost stroje, která umožňuje plnit určené funkce v mezích přípustné tolerance při daných provozních podmínkách a při požadované době provozu.

Vlastní multiparametrická diagnostika má dvojí možný postup :

□ **Multiparametrická diagnostika při použití alternativních diagnostických metod**

Typickým příkladem tohoto postupu je např. diagnostika defektu na vnějším kroužku valivého ložiska. Každý valivý element během svého průchodu narazí na defekt, tzn. způsobí vznik opakovaného vibračního signálu. Amplituda tohoto signálu je ovšem tak malá, že při použití metody měření celkových vibrací se vlastně ve spektru celkových vibrací vybuzených strojem ztrácí (je nečitelná, nemá žádnou vypovídací schopnost). Následně je nutné použít multiparametrickou diagnostiku např. využití následujících vibrodiagnostických metod :

- ENV AVE – průměrná hodnota obálky
- ENV PEAK - špičková hodnota obálky
- SEE - spektrální emitovaná energie

Daný postup v aplikaci na tribodiagnostiku znamená ve své podstatě kombinaci nasazení použití jakýchkoliv metod ze skupiny ke :

- sledování stavu opotřebení strojních zařízení
- sledování degradace samotného maziva

□ **Multiparametrická diagnostika při použití několika metod technické bezdemontážní diagnostiky**

Jedná se o nasazení kombinace vhodných metod technické bezdemontážní diagnostiky. Jedná se např. o kombinaci vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky. Je ovšem možná celá řada kombinací např. :

- vibrodiagnostika + tribodiagnostika + termodiagnostika
- vibrodiagnostika + tribodiagnostika + optická defektoskopie
- vibrodiagnostika + optická defektoskopie
- vibrodiagnostika + výkonové parametry a další

Uvedený nastíněný postup nám umožňuje provádět preventivní kroky ke zvýšení provozní spolehlivosti pomocí řízení údržby v celém svém komplexu.

## **5. VÝZNAM TRIBODIAGNOSTIKY V KOMPLEXNÍM HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU STROJŮ A ZAŘÍZENÍ**

Degradační forma (postupná) vzniku poruchy jednoznačně dává možnost určit, resp. prognózovat tzv. zbytkovou životnost (čas do nutné opravy) jak v bodové tak intervalové podobě, což s hodnocením kvality (degradace) mazací náplně nám jednoznačně přináší značné ekonomické přínosy (zvyšuje produktivnost) a samozřejmě umožňuje podstatné změny v koncepci a realizaci systému údržby.

Odrazem těchto změn je komplexnost v řešení hodnocení provozovaného stroje, resp. řešení provozní spolehlivosti a životnosti. Jinými slovy lze říci, že z pohledu systémového chápání je nutno pojmout hodnocení opotřebení (tribologii, tribotechniku, tribodiagnostiku) jako nedílnou součást hodnocení provozní spolehlivosti, resp. ve zpětné vazbě řešení vyprojektované spolehlivosti tzn. spolehlivosti v obecné rovině.

Jednoznačně lze říci že tribodiagnostika má ve všech provozech velice významné postavení, ale je nutné si uvědomit její vypovídací schopnost, kterou nelze hodnotit bez podrobnějšího rozboru provozních podmínek, jednotlivých strojů, uzlů a zařízení.

## LITERATURA

- [1] BLAŠKOVIC, P. – BALLA, J. – DZIMKO, M. : Tribológia. ALFA Bratislava 1990, 360 s
- [2] ŠTĚPINA, V. – VESELÝ, V. : Maziva v tribologii. VEDA Bratislava 1985, 407 s.
- [3] Kol. : Tribotechnika. SNTL Praha 1984, 297 s.
- [4] PARKUNOV, D. N. : Tribotechnika. Mašinstrojenie Moskva 1985, 424 s.
- [5] Kol. : Molykote. Dow Corning GmbH München 1991, 552 s.
- [6] MATĚJOVSKÝ, V. – NĚMEC, K. J. – NOVÁK, K. : Spalovací motory III. ČVUT Praha 1990, 159 s.
- [7] ZEIGLER, J. : Údržba zařízení VŠB Ostrava 1993, 272 s.
- [8] DOLEČEK, V. : Ekologie v oblasti maziv a pohonných hmot. RSV Most, 1992 23 s.
- [9] DOLEČEK, V. : Názvosloví v tribotechnice a tribologii. RSV Most 1993
- [10] ŠAFR, E. : Technika mazání. SNTL Praha 1970 (druhé doplněné vydání) 381 s.
- [11] Kol. : Tribotechnické činnosti v provozní praxi. DT ČSVTS Praha 1990, 135 s.
- [12] Kol. : Tribotechnika v teorii a praxi (I. a II.). DT ČSVTS Praha 1989, 392 s.
- [13] Prevenci při montáži valivých ložisek SKF – produkt information 302, č. publikace PI 302 Tj Praha 1978, 7 s.
- [14] Selhání ložisek a jejich příčiny. SKF 1990, 50s
- [15] Metodická příručka tribotechniky. DÚ Komořany, 1990, 27 s.
- [16] VINŠ, J. : Kluzná ložiska, SNTL Praha 1971, 373 s.
- [17] FROHLICH, J. : Technika uložení s valivými ložisky, SNTL – ALFA Praha 1980, (druhé upravené vydání), 448 s.
- [18] STRAKA, B. : Motorové oleje a tribotechnická diagnostika naftových motorů. NADAS Praha 1986, 247 s.
- [19] BOLEK, A. – KOCHMAN, J. – a kol. : Části strojů – 1. svazek. SNTL Praha 1989, 775 s.
- [20] Sborníky konferencí TRIBOTECHNIKA 1985 – 1991
- [21] Tribotechnické informace. Česká strojnická společnost – Ústřední sekce tribotechnika, roky 1991 – 1993 a další
- [22] Tribologia – ročníky 1991 – 1992, Polský odborný časopis
- [23] Kol. : Příručka SKF pro údržbu ložisek. SKF 1991, Publication 4100CS, reg. Č. 70.3000. 1993 – 12
- [24] BEČKA, J. : Tribologie. ČVUT Praha 1997, ISBN 80-01-01621-8, 211 s.
- [25] SIKORA, A. – HEJMAL, Z. : Provozní diagnostika ženíjní techniky. VA Brno 1993, 274 s.
- [26] FALZ, E. : Grundzüge der Schmierechnik, Springer V. Berlin 1931
- [27] FLEISCHER, G. – GRÖSSER, H. – THUM, H. : Verschleiß und Zuverlässigkeit. Verlag Technik Berlin 1980.
- [28] KRAGELSKIJ, I.V. : Reibung und Verschleiß. Verlag Technik, Berlin 1971
- [29] KRAGELSKIJ, I.V. – DOBIČIN, M.N. – KOMBALOV, V.S. : Osnovy rasčetov na trenije i iznos. Mašinstrojenije Moskva 1977
- [30] VOCEL, M. – DUFEK, V. a kol. : Tření a opotřebenění strojních součástí. SNTL Praha 1976.
- [31] WUTTKE, W. : Tribophysik : Reibung und Verschleiß von Metallen. Fachbuchverlag Leipzig 1986.

- [32] FORMÁNEK, J. : Rozbor a posuzování motorových paliv minerálních olejů a tuků. Jednota čs. matematiků a fyziků Praha 1931
- [33] Centrální mazací systémy – ŠPONDRA CMS, s.r.o. Brno 2000
- [34] TriboTec – centrální mazání. TRIBOTEC, s.r.o. Brno 2000
- [35] HELEBRANT, F - MAREK, V. – DOLEČEK, V. : Studijní podklady pro certifikaci odborné způsobilosti pracovníků v oblasti tribodiagnostiky. ATD ČR Zlín 1999, IČO 15527701, ISSN 1210-311-x, č.j. 01/400-33/99, 180 s.
- [36] KOPÁČEK, J. : Technická diagnostika hydraulických mechanismů. SNTL Praha 1990, 159 s., ISBN 80-03-00308-3
- [37] SINAY, J. a kol. : Rizika technických zariadení – manažerstvo rizika. TU Košice – VSŽ a.s. Košice 1997, 212 s. ISBN 80-967.783-0-7
- [38] SPALEK, J. : Smarowanie przemyslowych przekladni zebatych. Politechnika Slaska, Instytut Mechanizacji Gornictwa, Gliwice, úkol BW – 542, RGO - 2000-12-13
- [39] MAREK, V. – HELEBRANT, F. : Tribotechnická diagnostika : In. Mezinárodní vědecká konference TD 2000 – DIAGON 2000, VUT v Brně, FT Zlín 2000, s. 207 – 211, ISBN 80 – 214 – 1578 - 9