

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ



PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ

doc. Ing. Helebrant František, CSc.

Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D.

Ing. Blata Jan, Ph.D.

Ostrava 2013



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

Název: PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ
Autoři: doc. Ing. Helebrant František, CSc., Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D.,
Ing. Blata Jan, Ph.D.
Vydání: první, 2013
Počet stran: 217
Náklad: 5
Jazyková korektura: nebyla provedena.



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



Název: Modernizace výukových materiálů a didaktických metod
Číslo: CZ.1.07/2.2.00/15.0463
Realizace: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

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

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3028-5



MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD
CZ.1.07/2.2.00/15.0463

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ

Úvod do problematiky

doc. Ing. Helebrant František, CSc.

Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D.

Ing. Blata Jan, Ph.D.

Ostrava 2013

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

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3028-5



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

OBSAH

1	ÚVOD DO PROBLEMATIKY	3
1.1	ÚVOD DO PROBLEMATIKY	4
1.2	Základní pojmy údržby	5
1.3	Provozní spolehlivost	5
1.3.1	Provozní spolehlivost a technický život objektu	6
1.3.2	Provozní spolehlivost:	6
1.4	Nástroj zajištění provozní spolehlivosti – údržba	8
2	PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM	10
3	POUŽITÁ LITERATURA	11



1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY



STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Základní pojmy údržby

Provozní spolehlivost

Nástroj zajištění provozní spolehlivosti – údržba



MOTIVACE:

Každá moderní výrobní společnost musí umět přijmout a implementovat nové metody a principy včetně řešení provozní spolehlivosti výrobních strojů, které povedou k růstu výkonnosti a produktivnosti, jinak nemají na dnešním trhu naději na přežití, tzn. chápat údržbu jako zdroj zisku a konkurenceschopnosti firmy, resp. výrobní společnosti. Musíme chápat údržbu, jako systémovou procesně technickou činnost tzn. lze tento proces identifikovat, optimalizovat, opakovat, rozšiřovat horizontálně i vertikálně, v opačném případě vždy začínáme znovu od nuly se stejnými chybami a vše musíme řešit v souvislostech provozního nasazení daných objektů.



CÍL:

Objasnění souvislostí vztahu údržba jako nástroj zajištění provozní spolehlivosti.



1.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Sedm klíčových kroků ke zlepšení systému údržby známého jako prediktivní údržba (PdM – Predictive Maintenance):

1. **Zaměřte se na měřitelné výsledky** – k získávání měřitelných dat využijte systém klíčových ukazatelů výkonnosti, které nutně analyzujte.
2. **Namísto technologie PdM se zaměřte na aktiva** – použijte přístup založený na sledování rizik, začněte s druhy selhání, ne PdM technologií.
3. **Přehodnoťte vztah zákazník dodavatel** – kupujte výsledek, nikoli slib a řešení na míru vašeho podnikání.
4. **Lepší chápání významu „monitoring“ versus „analýza** – monitorování je jen část celého procesu. Stejná pozornost musí být věnována jak monitoringu, tak následné analýze.
5. **Navrhněte proces kontinuity systému PdM** – zabývat se problémy dříve než se objeví za pomoci kvalifikovaných lidí využitím hybridních programů.
6. **Aplikujte proces a systém zaměřený na spolehlivost a PdM** – převod dat na informace a informací na konkrétní činy.
7. **Spolehlivost je zelená iniciativa** – dát důvěru věcem, které ve výsledku neklamou. Spolehlivost je udělání více za méně.

Následně z pohledu vztahu údržby a výrobního procesu se v obecné rovině, mimo u nás běžně používaných termínů, používá ve výrobních společnostech, kde jsou většinou nadnárodní majitelé, např.:

- způsobilost procesu a index způsobilosti stroje,
- 5S kroků v systému údržby TPM (Total Productive Maintenance - Totálně produktivní údržba),
- CEZ, resp. anglicky OEE (Overall Equipment Effectiveness – Celková efektivita zařízení),
- Kaizen- metoda trvalého zlepšování,
- cyklus PDCA (Plan – plánuj, Do – dělej, Check – kontroluj, Act – jednej),
- muda – jakékoliv plýtvání,
- emoční inteligence – vyjádření charakteru osobnosti, kompetence k výkonu funkce, atd.,
- a další nespécifikované.



1.2 ZÁKLADNÍ POJMY ÚDRŽBY

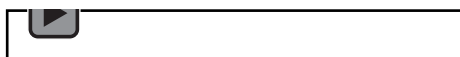
ČSN EN 13 306:2002 – Terminologie údržby

Nezákladnější pojmy z dané normy:

- **Údržba** – kombinace všech technických, administrativních a manažerských činností během životního cyklu objektu zaměřených na jeho udržení ve stavu nebo jeho navrácení do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci.



Audio 1.1 Údržba



- **Strategie údržby** – metoda managementu používaná k dosažení cílů údržby.
- **Udržovatelnost** – schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo být vrácen do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy a zdroje.
- **Zajištěnost údržby** – schopnost údržbářské organizace mít v daném časovém okamžiku nebo v daném časovém intervalu správné zajištění údržby na místě, kde je nutné provést požadovaný údržbářský zásah.
- **Zajištění údržby** – zdroje, služby a management nutné k provádění údržby. Další najdete v již zmíněné normě.

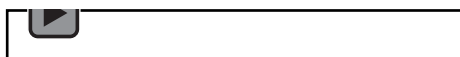
1.3 PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST

Definice provozní spolehlivosti:

„Vlastnost výrobku (stroje), která mu umožňuje plnit určené funkce v mezích přípustné tolerance při daných provozních podmínkách a požadované době provozu“ a následně teprve mluvíme o dílčích znacích spolehlivosti jako funkčnost, bezpečnost, bezporuchovost, udržovatelnost, pohotovost, zajištěnost údržby apod. nám jednoznačně vyplývá, že zabezpečení provozní spolehlivosti je nutno chápat jako systémový problém řešení všech procesů a činností ve svých vzájemných vazbách a souvislostech – systémově procesní chápání údržby, jako nástroje zajištění provozní spolehlivosti.

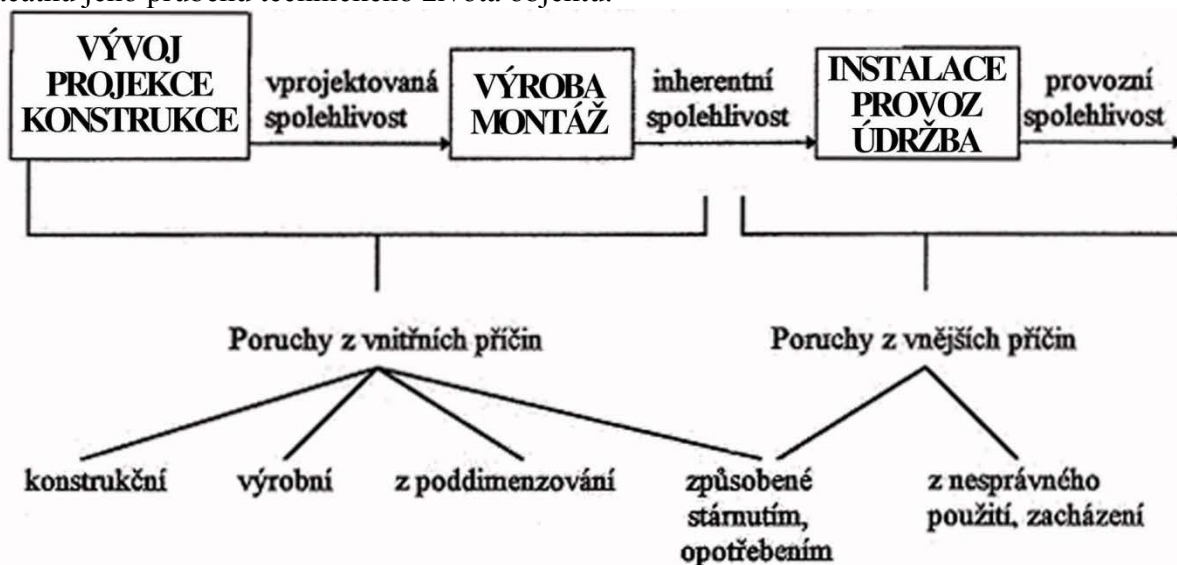


Audio 1.2 Definice provozní spolehlivosti



1.3.1 Provozní spolehlivost a technický život objektu

Provozní spolehlivosti se prolíná celým průběhem technického života každého provozovaného objektu, že prvopočátek provozní nespolehlivosti už může začínat na samém začátku jeho průběhu technického života objektu.



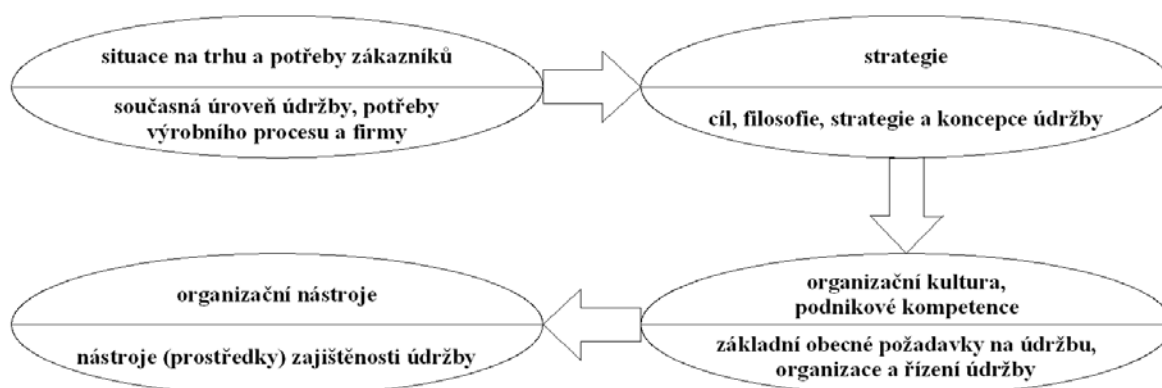
Obr. 1 Provozní spolehlivost a technický život objektu [2]

1.3.2 Provozní spolehlivost:

- nejvýznamnější a nejdůležitější etapa technického života stroje, neboť ze stroje se stává výrobní prostředek, tzn., přináší hodnoty.
- musí existovat zpětná vazba ze sledování provozní spolehlivosti, která povede až k inovační rekonstrukci nespolehlivého konstrukčního uzlu nebo jeho části.

Požadavky na provozní spolehlivost

Chceme-li naplnit již uvedenou nutnost systémově procesního pojmání údržby jako nástroje zajištění provozní spolehlivosti, tak jsme nuceni používat takové postupy a procesy, které umožní realizovat stanovené cíle, strategie a koncepce na obr. 2.



Obr. 2 Základní postup stavby efektivní firmy a údržby [2]

Definování základních obecných požadavků na údržbu:

- **Procesní přístup** - funkčnost a způsobilost při vynaložení optimálních nákladů je účinnější při řízení údržby jako procesu.
- **Systémový přístup** – účinnost a efektivnost údržby je zvyšování i řízením vzájemně souvisejících procesů.
- **Řízení údržby** – vrcholové vedení údržby musí prosazovat a vytvářet prostředí v souladu s celkovou strategií a koncepcí řízení výroby.
- **Zapojení všech pracovníků** – údržba je věcí každého pracovníka, nejen pracovníků údržby (od top managementu až po posledního pracovníka).
- **Změna myšlení postojů** – v chápání a pojmání údržby včetně přístupu ke zvyšování kvalifikaci a dovednosti z pohledu údržbářských prací.
- **Rozhodování postavené na jistotě faktů** – analýzy údajů s předem definovanou jistotou a jejich využití v informačních systémech pracujících v reálném čase nutném k rozhodnutí.
- **Neustálé zlepšování** - jak údržbářskými procesy po stránce technické (např. demontážní a montážní postupy, vybavenost, správné zásady tribologie apod.), tak organizačně.
- **Prosazování výhodných dodavatelských vztahů** – řešit údržbu centralizací prací, integrací do výroby (autonomní údržba), ale také vyčleněním (externí - outsourcovaná údržba).

Což lze ve svém shrnutí uvést jako řešení:

- **Maximalizace provozní spolehlivosti** – tzn. splnění nejzákladnějších požadavků každého uživatele, resp. dosažení nejvyšší možné úrovně, čímž zajistíme nutný systémový a procesní přístup k údržbě.

A při respektování obecně platných formulací platí pro [4]:

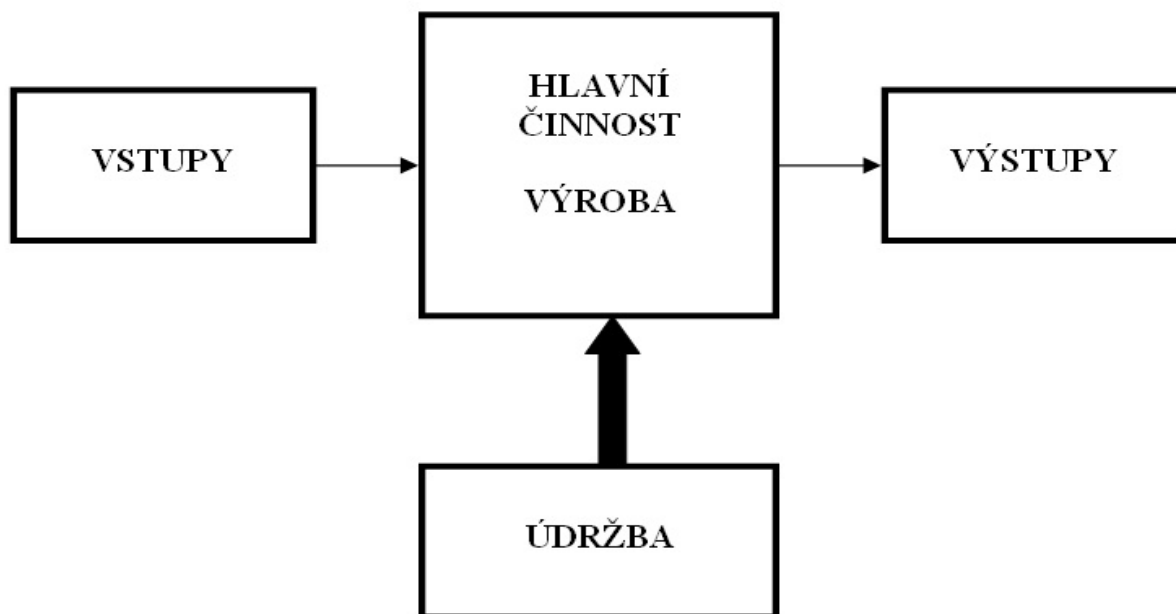
- **Cíl údržby** – je dán potřebou takového režimu péče o hmotný majetek, který poskytuje skutečný objektivní obraz a je nápomocen zlepšit celkovou efektivnost zařízení, řeší problémy údržby strojů a zařízení jednou pro vždy, včetně dopadu na produktivitu.
- **Filosofie a strategie údržby** – systém principu pro organizování a provádění údržby, je postavena na pojetí údržby jako celopodnikového problému, který pomocí souboru aktivit vedoucích k provozování strojů a zařízení za optimálních podmínek a změně pracovního systému tyto podmínky zajišťuje, což zahrnujeme pod pojmem – maximalizace efektivnosti výrobního zařízení.
- **Koncepce (politika, program) údržby** – popis vztahu mezi místy údržby, stupni rozčlenění objektu a stupni údržby, které mají být použity pro údržbu objektu.



A plném si uvědomění následujícího obecně platného faktu „Údržba je prostředkem k ovládání a snižování rizika provozu“.

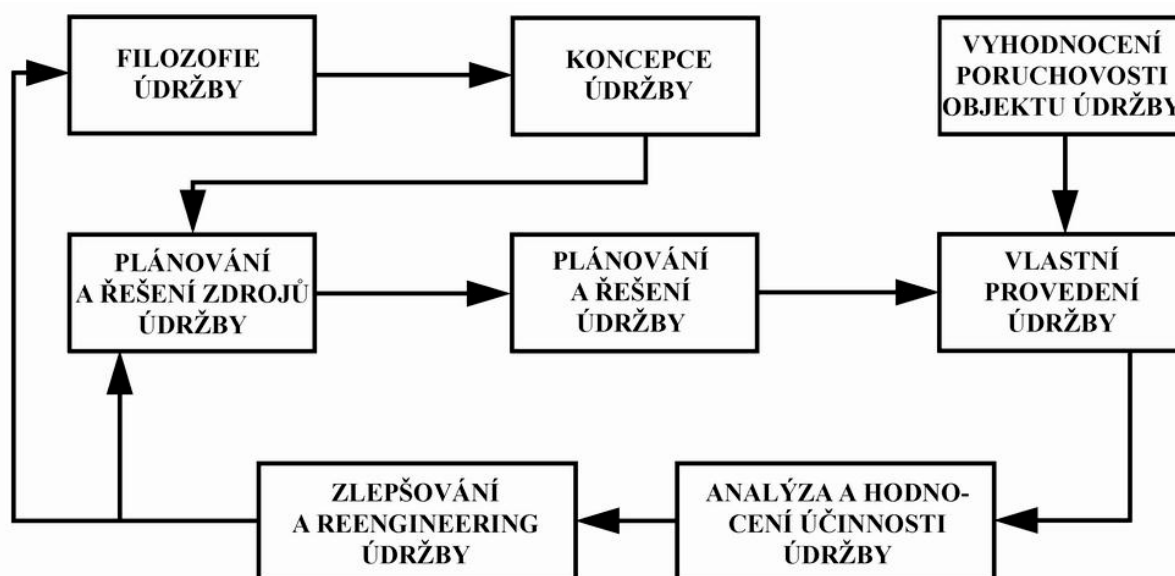
1.4 NÁSTROJ ZAJIŠTĚNÍ PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI – ÚDRŽBA

Každá výroba má svůj výrobní proces, který je zabezpečován výrobními stroji (technická aktiva – majetek) a údržba zajišťuje péči resp. správu majetku. Pokud budeme hlavní činnost pojímat jako „černou skříňku“, tak nikdy nemůžeme porozumět významu a úloze údržby ve výrobním procesu.



Obr. 3 Hodnotový tok výrobní společnosti [3]

Údržba je nutným hodnotovým tokem, který je bezpodmínečně nutným pro hlavní hodnotový tok – tzn., řešíme procesně technickou činnost, která má základní procesy, tak jak je uvedeno na obr. 4.



Obr. 4 Základní procesy realizace údržby [2]

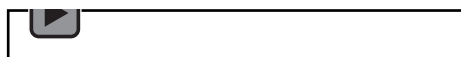
Každý správně vyprojektovaný a implementovaný systém údržby musí být postaven na:

ZÁSADĚ 3 P

- PREVENTIVNOST **(provedení v pravý čas - v předstihu)**
- PROAKTIVNOST **(hledání příčinnosti poruchy)**
- PRODUKTIVNOST **(je nedílnou součástí výroby, tzn. řešení produktivity)**



Audio 1.3 Systém - rozdělení



Údržba ve své komplexnosti je velmi náročný obor a velmi široký obor mající mnoho oblastí a podoblastí, integrující a bezpodmínečně nutný pro každý výrobní proces.

Chceme-li dosáhnout požadované provozní spolehlivosti, tak musíme mít stále na mysli „Provozní spolehlivost přinese snížení nákladů, ale snížení nákladů nepřinese provozní spolehlivost“, a že „Provozní spolehlivost je cíl pro údržbu, nikoliv ztráta práce pro údržbáře“.

Otázky:

1. Základní pojmy a požadavky na údržbu ve vztahu ke hmotnému majetku?
2. Provozní spolehlivost a technický život objektu?
3. Objasněte zásadu 3P v údržbě?
4. Procesy realizace údržby?



2 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

Každý výrobní proces je zabezpečován výrobními stroji a údržba zajišťuje péči resp. správu hmotného majetku. Údržba je tedy nutným hodnotovým tokem, který je bezpodmínečně nutným pro hlavní hodnotový tok – tzn., řešíme **procesně technickou činnost**, která má své základní procesy.



3 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] FAMFULÍK, J.: Teorie údržby, VŠB – TU Ostrava 2006, 1.vydání, 136 s., ISBN 80–248–1029–8
- [2] HELEBRANT, F.: Konstrukce velkostrojů a jejich spolehlivost – II. Provozní spolehlivost. I. vydání, MONTANEX, a.s. Ostrava, 2004. 89 s. ISBN 80–7225–149–X
- [3] HELEBRANT, F.: Technická diagnostika a spolehlivost – IV. Provoz a údržba strojů. VŠB – TU Ostrava 2008, 130 s., ISBN 978-80-248-1690-6
- [4] ČSN EN 13 306:2002 – Terminologie údržby Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví Praha, 32 s.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ

Prostředky zajištění údržby

doc. Ing. Helebrant František, CSc.

Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D.

Ing. Blata Jan, Ph.D.

Ostrava 2013

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

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3028-5



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

OBSAH

1	PROSTŘEDKY ZAJIŠTĚNOSTI ÚDRŽBY	3
1.1	Údržba - procesně technická činnost.....	4
1.2	Tribologie a tribotechnika.....	6
1.3	Technická diagnostika	7
1.4	Maintenance Manager – manažer údržby.....	8
1.5	Manažerství rizika a bezpečnost provozu.....	9
1.6	Informační systémy v údržbě.....	10
1.6.1	Volba strategie řízení systému údržby.....	10
1.6.2	Výběr informačního systému pro řízení údržby.....	11
1.6.3	Implementace informačního systému pro řízení údržby	12
1.6.4	Provoz informačního systému údržby	14
1.6.5	Hodnocení a zlepšování systému údržby na základě analýz dat z ISÚ.....	14
1.7	Logistika a údržba	15
1.8	Neuvedené prostředky zajištění údržby.....	16
2	PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM	18
3	POUŽITÁ LITERATURA	19



1 PROSTŘEDKY ZAJIŠTĚNOSTI ÚDRŽBY



STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Údržba - procesně technická činnost
Tribologie a tribotechnika
Technická diagnostika
Maintenance Manager – manažer údržby
Manažerství rizika a bezpečnost provozu
Informační systémy v údržbě
Logistika a údržba



MOTIVACE:

Pojímání údržby jako procesně technické činnosti musí vést i k procesnímu pohledu na údržbu ve výrobní společnosti. Ještě než přistoupíme k definování základních procesů činnosti údržby, tak uvádíme pohled na údržbu z hlediska jejího základního obsahu, který nejvýrazněji ovlivňuje vnitřní členění údržby:

- **Autonomní údržba** (udržování) – čištění, mazání, dodržování zásad „Návodu k udržování“ apod. – snižuje rychlost opotřebení.
- **Opravy** – opatření k opětovnému vytvoření požadovaného stavu – odstraňuje následky opotřebení.
- **Kontrolně inspekční a revizní činnost** – odborné prohlídky, nasazení metod technické diagnostiky, revize vyhrazených technických zařízení apod. – zjišťuje stav opotřebení.



CÍL:

Základní seznámení s nástroji, resp. prostředky zajištění údržby.



1.1 ÚDRŽBA - PROCESNĚ TECHNICKÁ ČINNOST

Definování procesů činnosti údržby

Procesy představující naprostý základ činnosti údržby.

1. Vyvolání zásahu - informace o potřebě.
2. Provedení zásahu – kde, kdo, jak, včetně záznamu.

Procesy znalostní o správě majetku, jeho vazbách a souvislostech (Know – how Management).

3. Informace o objektu – dokumentace, demontážní a montážní postupy, historie provedených oprav.
4. Informace o vazbách a souvislostech ve výrobě, bezpečnosti a riziku provozu, nebezpečí havárie pro provoz a okolí apod.

Další procesy.

5. Plánování údržby – zdrojů prostředků a lidí, technické režimy výroby apod.
6. Kontrolně inspekční a revizní činnost – prohlídky všeho druhu – subjektivní, objektivní (technická diagnostika), vyhrazená technická zařízení.
7. Informace o provedených údržbářských zásazích všeho druhu a stupňů a jejich řešení - „Paměť údržby“.
8. Nákladovost a délka provedených údržbářských zásahů včetně způsobu vyhodnocení.
9. Zdroje údržby – počty a kvalifikace lidí, materiál, nástroje, pomocná zařízení, dodavatelé apod.
10. Disponibilita a kvalita zdrojů údržby.
11. Určení kritických, klíčových objektů výrobního procesu – priority údržby z pohledu potřeby výroby.
12. Definování procesů podpory – informačních technologií, mechanických prostředků apod.
13. Riziková analýza – pravděpodobnost a důsledky možné havárie.
14. Outsourcing – porovnání řešení pomocí vlastních zdrojů či externích.
15. Kontrola správnosti fakturace.
16. Racionalizace hospodaření s náhradními díly (ND).
17. Vyhodnocování dat a údajů – především klíčových výkonných ukazatelů (KPI – Key Performance Indicator).
18. Koordinace a schvalovací procedury – práce, pracovníků, návazných činností apod.



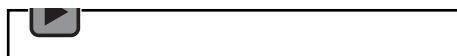
Následně je možno definovat základní nástroje (prostředky) zajištění údržby:

- TRIBOLOGIE a TRIBOTECHNIKA
- TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA
- DEMONTÁŽNÍ a MONTÁŽNÍ POSTUPY a PŘÍPRAVKY
- HODNOCENÍ VÝKONNOSTI (ÚČINNOSTI) ÚDRŽBY a REENGINEERING
- ZÁKLADNÍ LEGISLATIVA
- MAINTENANCE MANAGER – manažer údržby
- VÝROBNÍ PROCES a TECHNOLOGIE
- SPRÁVNÉ DIMENZOVÁNÍ již ve fázi projekce a konstrukce
- TEORIE ZÁSOB
- OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ (ENVIRONMENT),

které z pohledu managementu údržby tzn., z pohledu efektivnosti manažerské práce a následné harmonické integrace do jednoho celku (výroba → údržba, tzn., synergie) je označováno jako „**Integrovaný management údržby**“, jehož prvky jsou následující [1]:



Audio 1.1 Základní nástroje



1. Organizační a řídicí struktura hmotného majetku a jeho údržby.
2. Outsourcing výroby a údržby.
3. Management zdrojů k vykonávání údržby a jejich určení.
4. Koncepce (systémy) údržby ve srovnání s využitím výrobního zařízení a analýza rizik.
5. Plánování údržby a využití HIM.
6. Technologie údržby, diagnostiky a oprav.
7. Logistická podpora výroby a údržby.
8. Informační technologie ve výrobě a údržbě.
9. Ekonomika výroby a údržby.
10. Systém jakosti v údržbě a jeho využívání (QMS).
11. Environmentální management (ISO 14001).
12. Bezpečnost a ochrana zdraví při práci.



13. Měření výkonnosti a účinnosti výrobního zařízení a údržby.

14. Zlepšování managementu údržby.

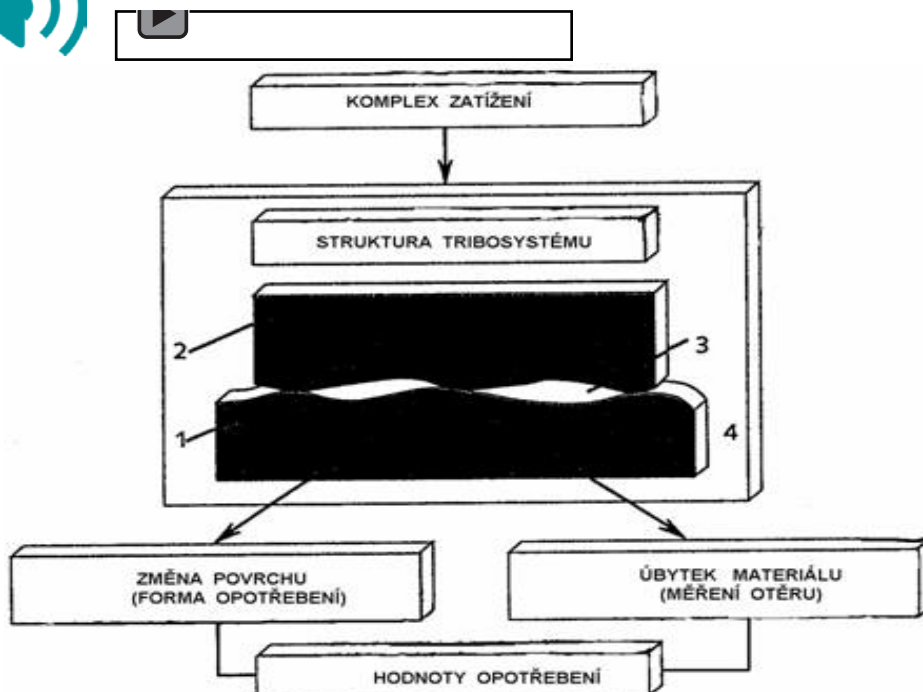
1.2 TRIBOLOGIE A TRIBOTECHNIKA

Definice:

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



Audio 1.2 Tribologie



Obr. 1 Tribologický systém (Blaškovič 1990) 1 – základní třecí těleso, 2 – třecí těleso, 3 – mezlátka, 4 – okolí

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

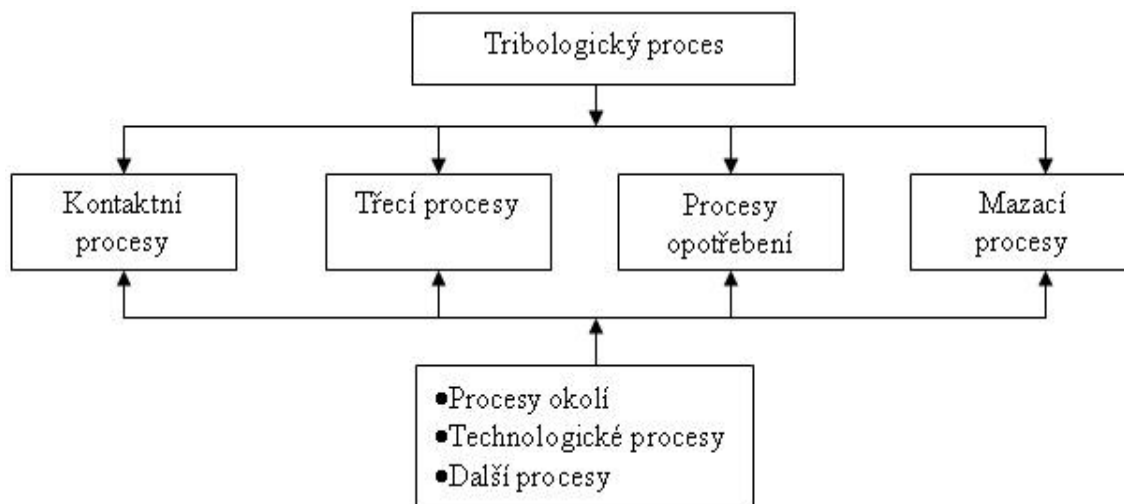


Audio 1.3 Tribotechnika

TRIBOMETRIE – zjišťování a měření základních tribologických parametrů (součinitel tření, třecí síla a moment, velikost opotřebení).

TRIBODIAGNOSTIKA – získávání informací z maziva k určení kvality maziva a technického stavu objektu.





Obr. 2 Zařazení tribologických procesů do vzájemné vazby (Blaškovič 1990)

1.3 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

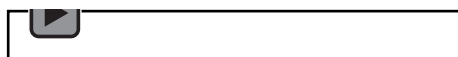
Název diagnostika pochází z řeckého slova diagnosis (rozeznávání, určení), tzn. věda zabývající se studiem a metodami vyhledávání znaků u živého či neživého objektu. Pak určitě nalezneme celou řadu souvislostí mezi diagnostikou v medicíně a technickou diagnostikou jako naukou o zjišťování poruch:

- Anamnéza => zjištění předchozích chorob (zdravotního stavu) – historie provedených oprav a zjištěných poruch
- Klinická diagnostika => technická diagnostika
- Anatomická diagnostika => pohavarijní diagnostika

CÍLEM TECHNICKÉ DIAGNOSTIKY je objektivní poznání technického stavu sledovaného objektu a tím zajistit jeho schopnost vykonávat požadované funkce za stanovených podmínek, a to nejen v současnosti, ale i v budoucnosti.



Audio 1.4 Cíl technické diagnostiky



Nejvhodnější rozdělení na:

Technická bezdemontážní diagnostika (TBD) má dvě části:

- Testová diagnostika a její hypotézy (testování vybraných rozhodujících technických parametrů, tzn. funkční diagnostika).
- Provozní technická diagnostika (dělíme z pohledu měřeného fyzikálního diagnostického parametru – vibrodiagnostika, tribodiagnostika, termodiagnostika, akustická diagnostika atd.).

Technická nedestruktivní diagnostika (TND), kterou také známe pod označením defektoskopie, tzn. zjišťování vnitřních a povrchových vad a necelistvostí.



Vliv a vztahy technické diagnostiky na jednotlivé obsahové části údržby.

- Autonomní údržba – technická diagnostika (TD) nám ohodnocuje kvalitu a způsob mazání, dodržování zásad správného provozu apod.
- Opravy – TD zde především zasahuje jako zjištění technického stavu před opravou (rozsah prací) a zjištění kvality provedené opravy (výstupní kontrola).
- Kontrolně inspekční a revizní činnost - tzn., provádění prohlídek, které mají charakter subjektivní (vizuální prohlídky odborníků) a charakter objektivní, tzn., prohlídky prováděné objektivními metodami TD s danou jistotou rozhodnutí.

1.4 MAINTENANCE MANAGER – MANAŽER ÚDRŽBY

Maintenance Manager – manažer údržby, zodpovědný za provoz a údržbu výrobních zařízení, práci s lidmi v jeho úseku i komunikaci s ostatními podnikovými útvary.

Vzdělávání v dané problematice ve vysokoškolské úrovni

Certifikace profesní způsobilosti v oboru

Vysokoškolské studium

VŠB - TU Ostrava

- Bakalářský studijní program „STROJÍRENSTVÍ“, kde je „Technická diagnostika, opravy a udržování“ samostatným studijním oborem, na který navazuje,
- Magisterský studijní program „STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ“, kde tento bakalářský obor je zařazen jako zaměření studijního oboru „Konstrukční a procesní inženýrství“.

Absolvent jednotlivých stupňů studia je schopen pracovat jako:

- **Manažer údržby** (Maintenance Manager) – měl znalosti a praktické dovednosti z provozní údržby a diagnostiky strojů.
- **Inženýr údržby** (Maintenance Engineer) – ovládal komplexní péči o celý stroj po celý technický život provozovaného objektu.

Certifikace profesní způsobilosti

Od roku 2000 Asociace technických diagnostiků České republiky (ATD ČR, o. s.) za spolupráce Akreditovaného certifikovaného místa Domu techniky Ostrava (ACM DTO CZ, s.r.o.) je nositelem „Osvědčení o akreditaci k certifikaci pracovníků“ vydaného ČIA pro výkon funkce

TECHNIK DIAGNOSTIK -vibrodiagnostik,tribodiagnostik,

TECHNIK DIAGNOSTIK – termografie,

TECHNIK DIAGNOSTIK – montážních a optických měření

Rozeběhly se i práce na akreditaci poslední oblasti technické diagnostiky, funkce

TECHNIK DIAGNOSTIK – elektrodiagnostik.



Výstupem je certifikát, který se liší úrovní vzdělání, praxí a schopností potřebných k plnění úkolů v daném kvalifikačním stupni. Většinou existují tři úrovně:

- Úroveň I – výkonný pracovník technické diagnostiky.
- Úroveň II – samostatný pracovník technické diagnostiky.
- Úroveň III – vedoucí, vědecký a vývojový pracovník technické diagnostiky.

1.5 MANAŽERSTVÍ RIZIKA A BEZPEČNOST PROVOZU

V každé výrobní společnosti mluvíme o tzv. *kultuře bezpečnosti, analýze bezpečnosti*. Vlastní řízení bezpečnosti vyžaduje dodržení dvou základních kroků:

- Koncepti pro určení akceptovaného rizika.
- Řízení a ovládání rizika pomocí vhodných nástrojů a opatření „cyklus řízení“.

Nejzákladnější terminologie:

- **nebezpečí** je vlastnost objektu způsobit neočekávaný negativní jev (latentní vlastnost objektu),
- **ohrožení** je možnost aktivizace nebezpečí (aktivní vlastnost objektu),
- **riziko** je akceptovatelná forma dané činnosti, tzn., vědomé možnosti vyskytnutí jevů a jejich rozsahu.

Nejznámější metody posuzování řízení bezpečnosti:

- FMEA/FMECA (Failure modes and effect analysis – Analýza způsobu a důsledku poruch) a (Failure modes effect and criticality analysis – Analýza způsobu následků a kritickosti poruch) jsou metody, vyvinuté pro potřeby studia poruch systémů tzn., popis průběhu vzniku důsledku a zvážení kritickosti, tzn., identifikace pravděpodobnosti poruch s významnými následky (PHR = $A \times B \times E$ – pravděpodobnost poruchy x důsledek x opatření).
- FTA (Failurre tree analysis – Strom poruch) je deduktivní metoda zaměřená na přesné zjištění příčin, či jejich kombinací, které mají za následek poruchu.
- ETA (Event tree analysis – Strom událostí) je induktivní metoda, která ve formě stromu zobrazuje možné stavy, tzn., používá otázky „co se stane a jak?“

Základní postup strategie údržby řešení rizika:

- Sběr údajů a jejich důsledné vyhodnocování, včetně provozních zkušeností.
- Analýza rizika, celého systému a jeho prvků.
- Optimalizace údržby, opatření směřující ke snížení rizika na jeho akceptovatelnou úroveň.



Filosofie této strategie je tedy postavena na odstraňování příčin (jedna ze zásad 3P) a jejich důsledků preventivně (další zásada 3P), a určitě nemusím objasňovat, že řešení má svoji velmi výraznou odezvu v zabezpečení výroby, tzn., řešení produktivity výrobního procesu (poslední zásada 3P).

1.6 INFORMAČNÍ SYSTÉMY V ÚDRŽBĚ

Počítačový informační systém údržby (ISÚ) má za cíl:

- usnadnit a zpřehlednit procesy dokumentace dat z údržby,
- podporuje procesní přístup, systémový přístup managementu,
- umožňuje neustálé zlepšování systému údržby.
- umožňuje rozhodování na základě faktů.

Vychází ze zásad logistického řídicího systému, jehož hlavním cílem je:

- plánovat, řídit a kontrolovat materiálový a informační tok tak, aby byly dosaženy dané výkonové a ekonomické cíle.

Přínosem ISÚ je:

- pořádek v dokumentaci o údržbách a činnostech s údržbou spojených,
- úspory času při přípravě a realizaci údržeb,
- úspora lidských zdrojů, materiálu a náhradních dílů,
- rychlá eliminace slabých míst systému,
- snížení počtu neshodných výrobků,
- zvýšení pohotovosti výrobního zařízení atd.

1.6.1 Volba strategie řízení systému údržby

Vychází ze tří základních systému:

1. údržba s předem stanovenými intervaly (*standardní*)

Výhody:

- snadné zjištění doby používání,
- snazší organizace a plánování údržeb.

Nevýhody:

- nižší kvalita informace o technickém stavu.

2. údržba podle stavu (*diagnostická*)



Výhody:

- údržba je provedena na základě skutečného technického stavu zjištěného diagnostikou.

Nevýhody:

- nutnost pořízení diagnostických přístrojů, proškolení jejich obsluhy, zavedení systému diagnostiky,
- výrazně komplikovanější plánování a organizace údržeb.

3. údržba po poruše

Výhody:

- nemusí se nic plánovat,
- velmi nízké organizační i administrativní zatížení útvaru údržby.

Nevýhody:

- u stěžejních strojů velmi drahé (závislé poruchy, prostoje, přesčasy, nutnost velkého skladu náhradních dílů, ...).

Rozdělení udržovaných objektů podle jejich „důležitosti“ pro úspěch podniku

- „Nejdůležitější“ stroje a zařízení, **cca 10 %** (případná havarijní porucha má vysoký nákladový důsledek, zejm. z prostojů,...) – diagnostické **údržby**.
- „Středně důležité“ stroje a zařízení, **cca 40 %** (havarijní porucha způsobí značné ztráty, ale ne tak vysoké jako u strojů „1“) - **standardní údržby**, většinou na základě doby používání (kalendářního stáří).
- „Ostatní“ stroje a zařízení, **cca 50 %** (havarijní porucha téměř nemá vliv na chod výroby,...) – údržby **po poruše**.

Ještě před výběrem ISÚ je třeba strategii údržeb řádně promyslet a ISÚ pak volit na základě konkrétně navrženého konceptu údržby v daném podniku.

1.6.2 Výběr informačního systému pro řízení údržby

- ISÚ musí být schopen
- evidovat všechna potřebná data o udržovaných objektech a jejich údržbách,
- z nich poskytovat podklady pro operativní řízení údržby a analýzy systému údržeb.
- současně řadu analýz provádět automaticky a na základě jejich výsledků upozorňovat manažera údržby na slabá místa systému údržby.

Základní vstupní informace ukládané do bází dat by především měly dát odpovědi na následující otázky:



CO (udržovat)	báze udržovaných objektů včetně cyklu preventivních údržeb, diagnostických měření, postupů řešení havarijních poruch ...
KDY	báze intervalů údržeb, varovných a mezních diagnostických signálů ...
KDO	báze interních pracovníků údržby včetně kvalifikace, báze externistů, outsorcovaných firem...
JAK	báze údržbářských postupů včetně potřebných pomůcek, nářadí, diagnostických a měřicích přístrojů...
ČÍM	báze materiálu a náhradních dílů použitých při údržbě
ZA KOLIK	báze nákladů na údržbu včetně jejich členění



Obr. 3 Dvě stránky jakosti ISÚ

1.6.3 Implementace informačního systému pro řízení údržby

Základní kroky:

- **Naplnit bázi udržovaných objektů** (stroje, zařízení, linky, budovy, měřidla,...).
- **Naplnit bázi stupňů údržeb** jednotlivými stupni údržeb s intervaly údržeb na základě kalendářního stáří strojů (ve dnech používání), u každého stupně uvést velmi stručný popis náplně údržby.
- **Přiřadit stupně údržeb k udržovaným objektům** a vytvořit údržbářské cykly na základě kalendářního stáří strojů (ve dnech). Začít stěžejními stroji, postupně rozšiřovat i na další udržované objekty.
- **Naplnit bázi údržbářů základními daty**, tj. jméno, příjmení a hodinová sazba.

Zdokonalování v rámci dalších kroků:

- **Naplnit bázi kódů poruch** a začít ji používat. Na základě zpětné vazby hledat slabá místa a omezovat výskyt poruch.
- Postupně **upřesňovat informace o stupních údržeb** (podrobné návody, pomůcky, materiál a ND pro jednotlivé stupně) a údržbářích (školení, oprávnění,...).



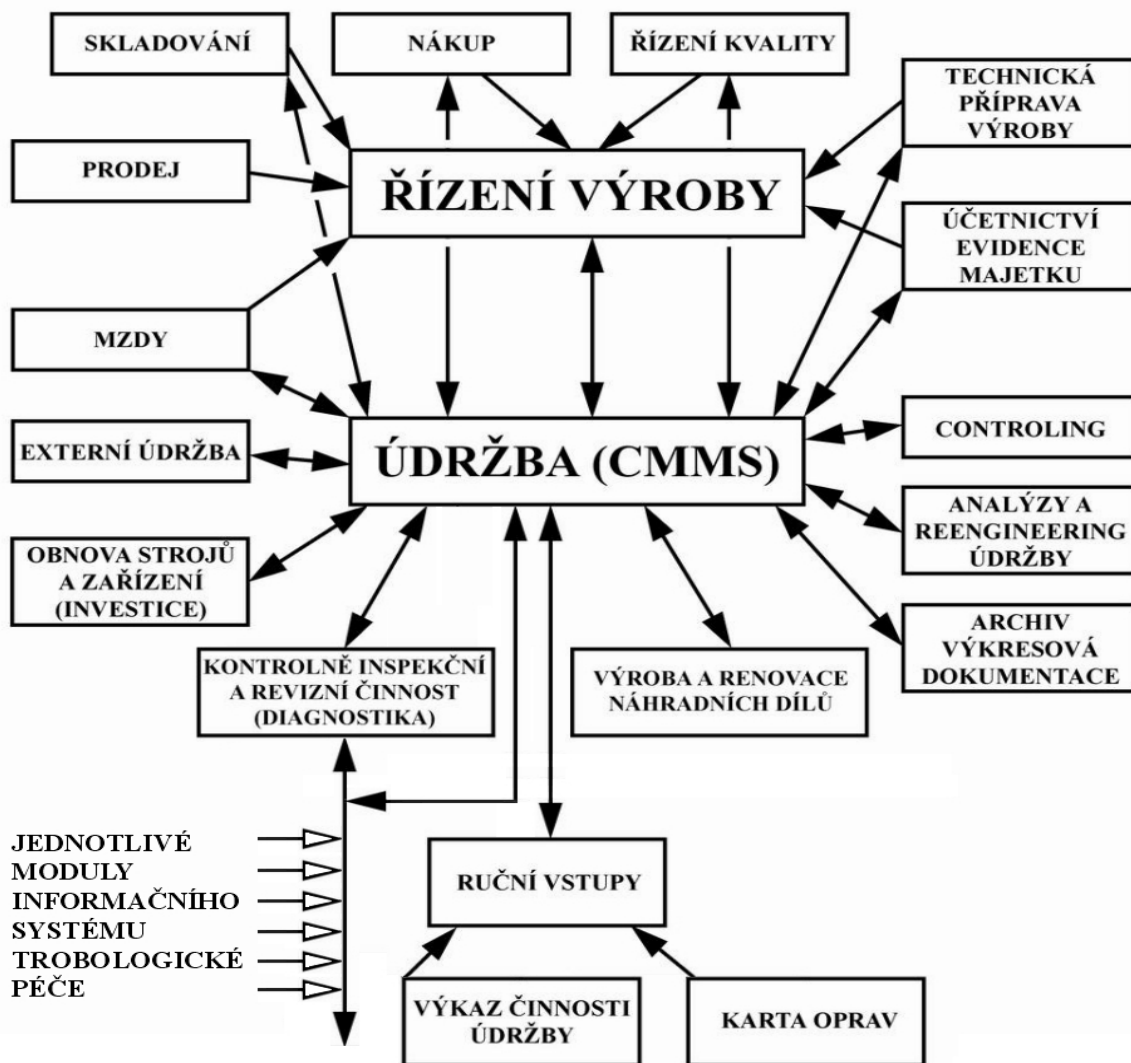
- **Navázat software na sklad** a začít ke každé provedené údržbě přiřazovat skutečně spotřebovaný materiál. Automatizovat doplňování skladu.
- Vybrat stroje vhodné pro **diagnostické údržby**, stanovit u nich druhy a intervaly diagnostických měření, varovné a mezní diagnostické signály. U vybraných strojů začít s diagnostickými údržbami.
- **Automatizovat hlášení o poruchách.**
- Do báze udržovaných objektů průběžně **doplňovat a kompletovat** technickou dokumentaci, postupy likvidace havarijních poruch atd.
- Začít **sledovat i dílčí položky prostoje** a vyvozovat závěry z jejich struktury.
- Implementovat algoritmus **prognózování dispoziční doby provozu** z trendů naměřených diagnostických signálů.
- Začít **evidovat další údaje** (např. údaje potřebné pro TPM, RCM, optimalizaci obnovy apod.) a využívat data získaná zpracováním těchto údajů.

V dnešní době jsou rozlišovány následující ISU, resp. k správě hmotného majetku.

- CMMS (Computerized Maintenance Management Systems – Počítačový systém řízení údržby)
- CAMS (Computer Aided Maintenance Systems – Počítačově podporované systémy řízení údržby),
- EAM systems (Enterprise Asset Management Systems – Systémy pro správu podnikového hmotného majetku).

Ve vlastní provozní praxi v ČR se také mluví o informačních systémech k řízení údržby v reálném čase, které nesou svá obchodní značení – API PRO (SKF), MARLIN (SKF), SAP R/3 – PM (SAP ČR), MAXIMO, IFS ÚDRŽBA, DATASTREAM 7i (INSEKO, a.s. Žilina), CAPTOR a PRISMA (DATA, a.s.), atd.





Obr. 4 Základní informační vstupy systému řízení údržby [2]

1.6.4 Provoz informačního systému údržby

- ISÚ je využíván sporadicky a je pouze naplněn vzorovými daty
- ISÚ je používán pouze jako kartotéka, která nahrazuje dříve vedené listy údržeb či sešity strojů.
- ISÚ slouží nejen jako systém pro zápis a evidenci provedených údržeb, ale i pro řadu dalších pokročilých činností – od monitoringu a elektronickému hlášení závad přes automatický přenos diagnostických signálů do systému až po propracované analytické nástroje.

1.6.5 Hodnocení a zlepšování systému údržby na základě analýz dat z ISÚ

Základní požadavky (očekávání) kladené na efektivní systém údržby:

- zvýší se spolehlivost výrobního zařízení a tím i její dílčí vlastnosti (zejm. pohotovost),
- výrazně se změní podíl údržeb po poruše k údržbám plánovaným ve prospěch plánovaných, čímž se sníží prostoje výroby a tím vzroste její produktivita,



- klesne spotřeba drahých náhradních dílů, které bývají nadměrně čerpány po havarijních poruchách,
- výrazně se sníží počty poruch a tím i údržeb po poruše, budou tak omezeny náklady na přesčasy údržbářů,
- v delším časovém horizontu se tím sníží celkové náklady na údržby,
- na základě evidovaných dat o poruchách strojů a jejich analýz se výrazně omezí opakované poruchy,
- sníží se počty neshodných výrobků a tím i náklady na nejakost,
- v rámci integrovaného systému managementu jakosti očekáváme při rostoucí účinnosti údržby i snižování environmentálních dopadů činností organizace a zlepšení oblasti BOZP.

1.7 LOGISTIKA A ÚDRŽBA

Úkolem logistického informačního systému je poskytnout:

- správné informace – pro uživatele potřebné a srozumitelné,
- ve správnou dobu – tak, aby byly k dispozici pro rozhodování,
- ve správném množství – tolik, kolik je třeba, ale co možná nejméně,
- v požadování jakosti – pravdivé, nezkreslené, dostatečně podrobné a bezprostředně použitelné,
- na správném místě – pohotově dosažitelné pro příjemce.

Logistika je tedy manažerský nástroj. Podle jedné z nejrozšířenějších klasifikací jsou hlavními manažerskými funkcemi:

- plánování,
- organizování,
- výběr, vedení, motivace a lokace pracovníků,
- kontrola.

Řešení logistické struktury a organizace servisních útvarů výrobní společnosti (servisní logistika), kde z pohledu logistiky vycházíme z:

- integrujícího logistického systému,
- zásobovací logistiky,
- výrobní logistiky,



- podnikové logistiky,

a logistické řešení řízení zásob náhradních dílů, které je důležitou funkcí údržby. Selhání řízení zásob údržby vede zejména v chemickém průmyslu a energetice k významným provozním ztrátám vícenákladům.

Segmentace řízeného (zpravidla rozsáhlého) portfolia položek podle vhodných kritérií:

- ABC analýza zásob v množství a v hodnotě disponibilní zásoby a podle dalších kritérií.
- ABC analýza zásob podle spotřeby.
- Segmentace podle četnosti spotřeby (identifikace SMI – Slow Moving Inventory v množství a v hodnotě).
- Rozdělení podle dostupnosti položky (běžně dostupný, speciální, zakázkový).
- Speciální test, který určí, zda se jedná o položku se sporadickou spotřebou.
- Segmentace podle délky dodacích lhůt (dodavatelský leadtime).

1.8 NEUVEDENÉ PROSTŘEDKY ZAJIŠTĚNOSTI ÚDRŽBY

Základní legislativa – jsou míněny zákony, vládní nařízení, směrnice apod.

Teorie obnovy a hodnocení spolehlivosti – jedná se především o souvislosti s kvantifikací provozní spolehlivosti.

Demontážní a montážní postupy a přípravky - jsme u další dílčí vlastnosti ovlivňující provozní spolehlivost – opravitelnost, podle ČSN IEC 50 (možnost vyměnitelnosti montážních dílů a jednotlivých součástí), což v praxi znamená řešit nejen problematiku montážních a demontážních přípravků (nedílná součást projektu údržby objektu), ale také problematiku technologických postupů těchto prací, což se zákonitě odráží v „Návodu k udržování“ a samozřejmě také řeší problematiku řízení oprav.

Dimenzování – resp. správné a odpovídající dimenzování již ve fázi projekce a konstrukce.

Ochrana životního prostředí - každý provozovaný stroj vyvolává nutnost řešit řetězec člověk – stroj – environment a každý provoz vyvolává řetězec výroba – environment se všemi pozitivními a negativními důsledky dopadu na životní prostředí.

Výrobní proces a výrobní technologie – míněno z pohledu provozovaného a udržovaného objektu. Je tím, který de facto vyvolává nutnost individuálního přístupu a vynucuje si řešení zajištění provozní spolehlivosti „šité na míru“, i když vycházející z obecně platného a uvedeného v těchto studijních podkladech.



Otázky:

1. Co vše zahrnuje pojem „Integrovaný management údržby“ a „Nástroje zajištění údržby“?
2. Vysvětlit obsah tribologie, tribotechniky, tribometrie a tribodiagnostiky?
3. Na jakou otázku nám dává odpověď technická diagnostika?
4. Jaká je úloha informačních technologií a obsah informačních systémů v údržbě?
5. Jaké jsou dva základní výstupy rizikové analýzy?



2 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

Provozní spolehlivost výrobních zařízení je zajišťována v řetězci vztahů údržbou jako procesně technickou činností a údržba řadou nástrojů její zajištěností.



3 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] LEGÁT, V. : Asset management – moderní cesta k lepší údržbě a využití majetku. In Středoevropské fórum údržby 2009, ČZU v Praze a ČSPU Praha, Liblice 2009, s. 3 – 15, ISBN 978-80-213-1999-8
- [2] HELEBRANT, F.: Konstrukce velkstrojů a jejich spolehlivost – II. Provozní spolehlivost. I. vydání, MONTANEX, a.s. Ostrava, 2004. 89 s. ISBN 80–7225–149–X
- [3] HELEBRANT, F. : Technická diagnostika a spolehlivost – IV. Provoz a údržba strojů. VŠB – TU Ostrava 2008, 130 s., ISBN 978-80-248-1690-6
- [4] SINAY, J. A KOL.: Rizika technických zariadení – manažerstvo rizika, TU Košice 1997, 212 s., ISBN 80 – 967783 – 0 -7



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



**PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA
STROJŮ**

Teorie systémů údržby, reengineering a současné trendy údržby

doc. Ing. Helebrant František, CSc.

Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D.

Ing. Blata Jan, Ph.D.

Ostrava 2013

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

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3028-5



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

OBSAH

1	TEORIE SYSTÉMŮ ÚDRŽBY, REENGINEERING A SOUČASNÉ TRENDY ÚDRŽBY	3
1.1	Vývoj údržbářských systémů.....	4
1.2	Řízení údržby a řízení výrobní společnosti.....	7
1.3	Organizace, metody, kontrolně inspekční a revizní činnost údržby	12
1.4	Hodnocení výkonnosti (účinnosti) údržby a kompaktní audit, ekonomika údržby.....	14
1.4.1	Ekonomika údržby a účinnost zařízení	14
1.4.2	Kompaktní audit.....	14
2	REENGINEERING A SOUČASNÉ TRENDY ÚDRŽBY	18
2.1	Vlastní projekt reengineeringu údržby musí mít tyto etapy.....	18
3	PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM	21
4	POUŽITÁ LITERATURA	22



1 TEORIE SYSTÉMŮ ÚDRŽBY, REENGINEERING A SOUČASNÉ TRENDY ÚDRŽBY



STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Vývoj údržbářských systémů

Řízení údržby a řízení výrobní společnosti

Organizace, metody, kontrolně inspekční a revizní činnost údržby

Hodnocení výkonnosti (účinnosti) údržby a kompaktní audit, ekonomika údržby



MOTIVACE:

Vývoj údržby hmotného majetku je soustavný, nikdy nekončící dynamický proces, jež vždy zhodnocuje stávající a pokračuje nastavením dalšího rozvoje. Údržba jako taková nikdy neztratí své opodstatnění při jakékoliv úrovni provozuschopnosti, pouze přijme v daných podmínkách novou odpovídající úlohu. Její nezastupitelnost narůstá v poslední době vlivem především ekonomických tlaků na snižování nákladovosti výroby a dalších nespecifikovaných tlaků. „Údržba je komplexní soubor nejrozličnějších činností prováděných za účelem maximalizace zisků výrobní společnosti udržováním výrobního zařízení v provozuschopném stavu s vynaložením optimálních nákladů vzhledem k životnosti, bezpečnosti a environmentu“.



CÍL:

Seznámení s ideovým přístupem k vývoji a řízení systémů údržby včetně hodnocení její výkonnosti.

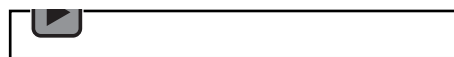


1.1 VÝVOJ ÚDRŽBÁŘSKÝCH SYSTÉMŮ

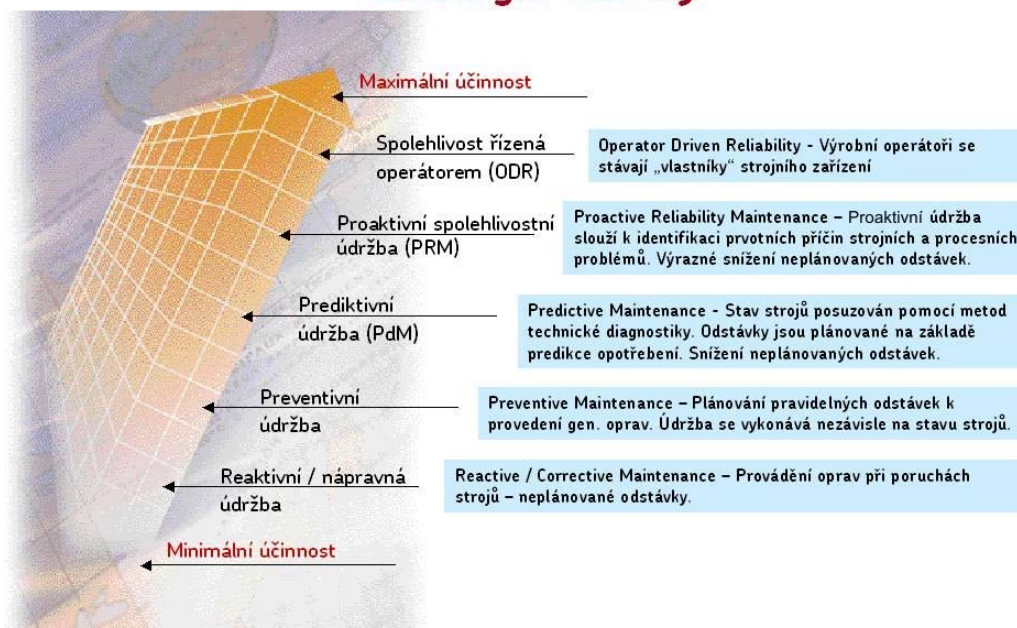
Naplňování výrobních cílů a úkolů vyvolává změny strategie a tím systémů údržby, které ve svých vývojových etapách (generacích) charakterizují vývoj údržby jako systému. Systémy údržby ve své podstatě vycházejí ze tří základních, údržba s předem stanovenými intervaly (**standardní**), údržba podle stavu (**diagnostická**) a údržba **po poruše**.



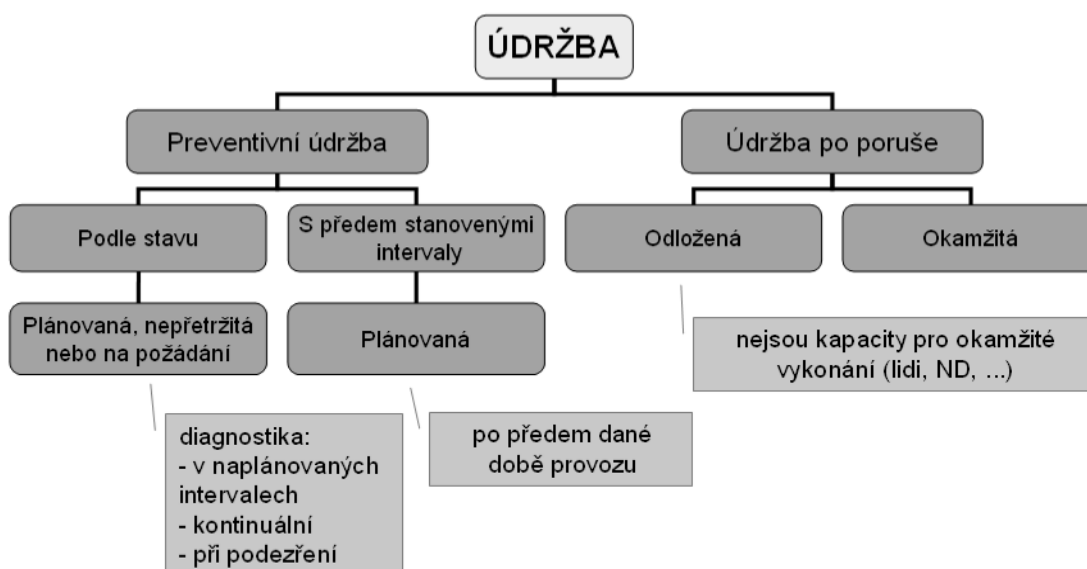
Audio 1.1 Vývoj údržbářských systémů



Strategie údržby

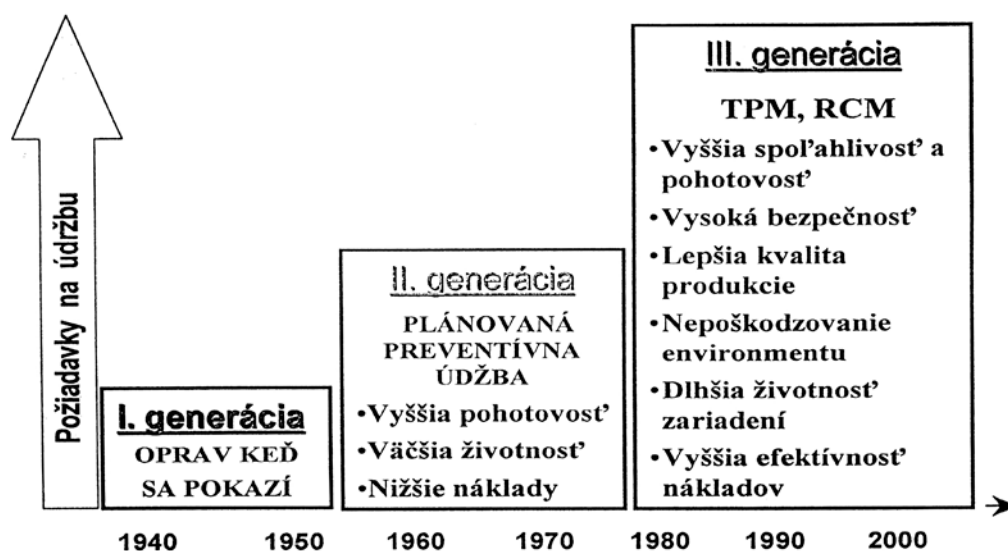


Obr. 1 Strategie údržby



Obr. 2 Členění údržby dle ČSN 13306





Obr. 3 Historický vývoj charakteru údržby [4]

Podrobnejši lze jednotlivé vývojové etapy systémů údržby charakterizovat následně

1. Systém údržby po poruše

- opravy po poruše s pouhým následným odstraněním,
- neexistuje a je nemožný plánovitý a systémový přístup,
- forma inspekce je postavena na zkušenostech obsluhy.

2. Systém plánovaných preventivních oprav (PPO)

- Systém údržby podle časových plánů
- Systém po preventivní prohlídce
- Systém standardních periodických oprav
- Systém preventivních periodických oprav

3. Systém diferencované proporcionální péče (DIPP)

Stanovuje se:

- stupeň složitosti strojů,
- stupeň technické úrovně,
- technický stav na základě zjevných znaků opotřebení,
- úroveň opravitelnosti (rozsah, náročnost a možnosti údržby).

Produktivní údržba:

- řízení údržby na podkladě nákladů a poruchovosti,



- existuje zpětná vazba mezi provozem konstrukcí,
- v zahraničí označována jako produktivní.

4. Systém diagnostické údržby - respektuje skutečný technický stav objektivizovaný metodami technické diagnostiky.

- kvalitativně nová generace údržby postavená na skutečném technickém stavu objektivizovaném použitím metod technické diagnostiky,
- dosti často označována jako mezní údržba.

5. Systém prognostické údržby

- Systém údržby podle skutečného stavu (jak už byla zmínka).
- metod technické diagnostiky a naměřených diagnostických parametrů je využito k prognóze určení zbytkové životnosti,
- objektivizována kontrolně inspekční činnost metodami technické diagnostiky,
- umožňuje řízení údržby v souladu s požadavky výroby,
- umožňuje předcházení haváriím.
- Eliminační údržba

6. Systém automatizované údržby

- komplexnost při řízení údržby s podporou výpočetní techniky (computerizace údržby),
- řízení údržby v reálném čase.

7. Proaktivní údržba (PAU)

- TPM – Totálně produktivní údržba (Total Productive Maintenance)
- RCM – Údržba orientovaná na spolehlivost (Reliability Centred Maintenance)
- RBI – Inspekce rizik (Risk Based Inspection)
- RCA – Analýza příčin (Root Cause Analysis)
- BCM – Orientace řízení údržby (Business Centred maintenance)
- RFAM – Riziko zaměřené na zhodnocení přínosu řízení (Risk Focused Asset Management: ISO 22 349 – 1)
- LCC – Minimalizace celkových nákladů na životní cyklus (Life Cycle Cost)
- RCFE – Odstraňování primárních příčin poruch (Root Cause Failure Elimination)
- ODR – Spolehlivost řízená operátorem (Operator Driven Reliability)



- SAM – Strategické řízení (správa) majetku (Strategic Asset Management)
- a celá řada dalších nespecifikovaných označení

Základní koncepce TPM je postavena na těchto principech:

- Maximalizace celkové účinnosti a výkonnosti zařízení snižováním tzv. šesti velkých ztrát (poruchy, chod na prázdko, zmetky, seřizování, snížená výtěžnost, ztráty najížděním).
- Zlepšení stávající koncepce údržby.
- Rozvíjení autonomní údržby výrobními pracovníky.
- Zvyšování dovednosti a znalosti prostřednictvím týmové práce a motivace pracovníků.
- Kontinuální zlepšování zařízení (organizačně apod.).

Koncepce údržby TPM je pak postavena na tzv. pilířích daného systému – obr. 4 a řešitelná pomocí základních nástrojů:

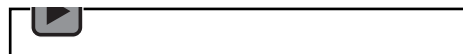
- změna postojů pracovníka,
- zvyšování kvalifikace a dovednosti pracovníků z hlediska údržby strojů a zařízení,
- měření a zvyšování efektivnosti každého zařízení v rámci dynamického zlepšování procesů,
- implementace plánovitého přístupu k údržbě ve střediscích údržby,
- aktivit výrobních týmů formou autonomní (samostatné) údržby, čímž se stávají aktivními partnery údržby.

1.2 ŘÍZENÍ ÚDRŽBY A ŘÍZENÍ VÝROBNÍ SPOLEČNOSTI

Chceme-li úspěšně řídit jakýkoliv proces, tak jej musíme poznat, vědět co se v něm děje, vyznat se v něm a vnútit dějům logiku, které rozumíme.



Audio 1.2 Řízení údržby

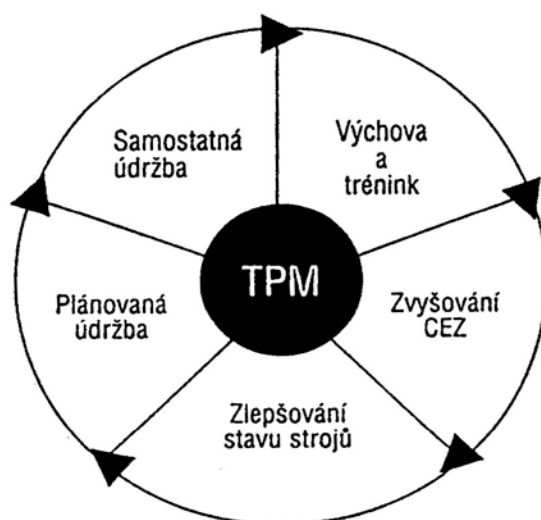


Management by Competencies“ (MbC – Řízení podle kompetencí):

- teorie vitality – objasňuje základní příčinné vztahy a souvislosti v systémech s lidskou
- složkou, tzn., určuje CÍL a STRATEGII tvorby vitálního systému, resp. definuje směr a zdůvodňuje změny
- teorie omezení – ukazuje jak hledat místo, do kterého je nutné dát úsilí, tzn., určuje Taktiku tvorby vitálního systému, resp. určuje pořadí kroků



- kompetenční pravidla – předurčují Metodiku dosahování strategických a taktických

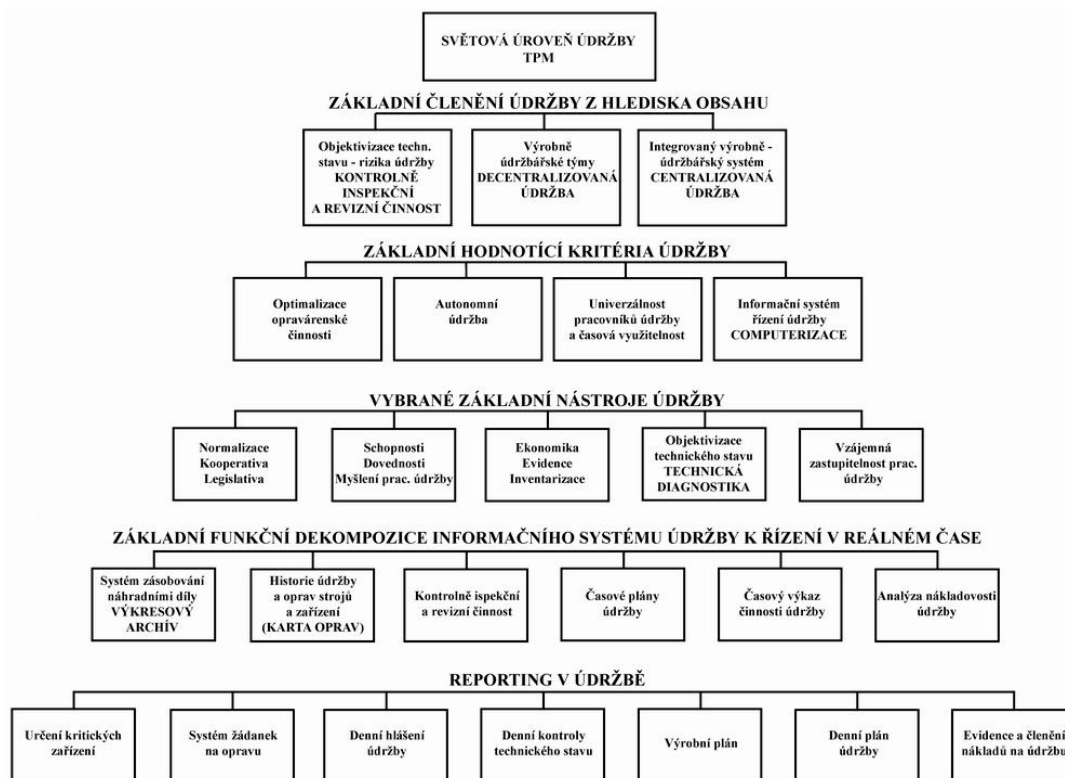


cílů vitálního systému, resp. usnadňuje dosažení a volby metod.

Obr. 4 Základní pilíře systému údržby TPM. CEZ (celková účinnost zařízení, někdy také CUZ) anglicky OEE (Overall Equipment Effectiveness)

V každém výrobním prostředí existují čtyři základní funkční oblasti:

- rozvoj kapacit
- řízení výroby
- logistika
- řízení správy hmotného majetku, tzn. údržby



Obr. 5 Pyramida údržby [6] a [2]

Aplikace čtyř vitálních znaků do řízení údržby

1. UŽITEČNOST

- **produkt** – řešení **SYSTÉMU ÚDRŽBY** v dané výrobní společnosti
- **subjekt** – **ORGANIZAČNÍ JEDNOTKA** výrobní společnosti (např. a.s., divize, provoz, pracoviště apod.)
- **potřeba** – zajištění **PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI** a **PŘIJATELNÉ MÍRY RIZIKA BEZPEČNOSTI PROVOZU** výrobních strojů a zařízení

2. EFEKTIVITA

- **proces** – nutnost chápání údržby jako **PROCESNĚ TECHNICKÉ ČINNOSTI**, tzn. systémově procesní přístup (řízení, kontrola, metody, postupy atd.)
- **struktura** – **KONCEPCE** a **ORGANIZAČNÍ STRUKTURA ÚDRŽBY** v dané výrobní společnosti, resp. firmě
- **zdroje** – **PROSTŘEDKY ZAJIŠTĚNOSTI ÚDRŽBY** (tribologie a tribotechnika, technická diagnostika, informační technologie, demontážní a montážní postupy a přípravky atd.) Plně se odvážíme říci, že aplikací zde uvedené zásady **3E** do údržby je již uváděná **ZÁSADA 3P**

3. STABILITA

- **zpětné vazby a monitoring** – je ve své podstatě **SLEDOVÁNÍ PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI** každého stroje, konstrukčního uzlu apod. a samozřejmě



HODNOCENÍ ÚČINNOSTI ÚDRŽBY (audit údržby, audit jakosti managementu údržby, analýza rizika provozu)

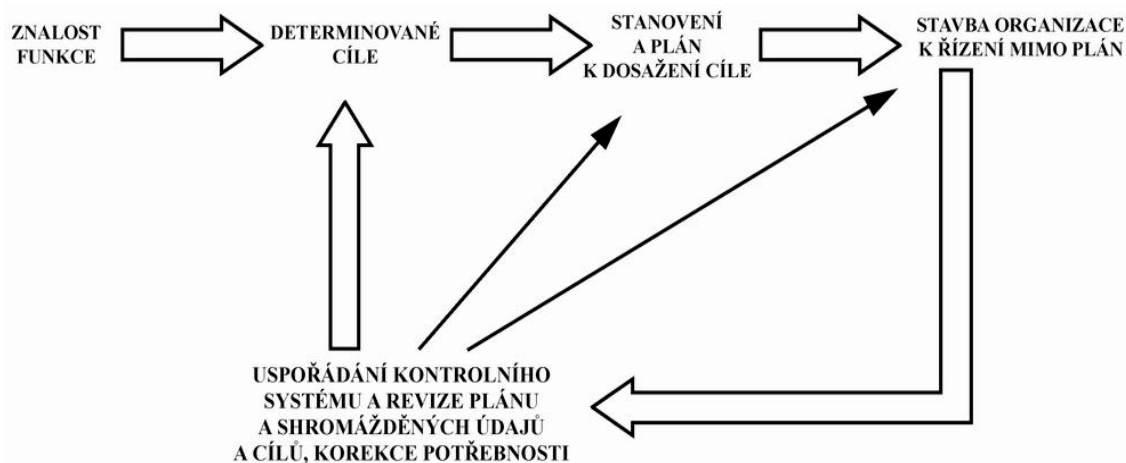
- **akceptace** – **ZAPOJENÍ VŠECH PRACOVNÍKŮ** firmy do systému údržby, tzn. údržba je věcí všech a ne jen údržbářů

4. DYNAMIKA

- **dopředné vazby** – neustálé řešení maximalizace provozní spolehlivosti vycházející z hodnocení účinnosti a progresivních trendů v údržbě vede **k REENGINEERINGU ÚDRŽBY**, tzn. změnám **FILOSOFI** a **STRATEGIE ÚDRŽBY**
- **aktivita lidí** – musí jednoznačně vycházet ze změny myšlení a postojů pracovníků firmy, což je možné jen za předpokladu **VZDĚLÁNÍ** a **KVALIFIKACE** (studium a certifikace)
- **prognózování** – určení zbytkové životnosti strojů a zařízení (čas do nutné opravy) za účelem zlepšení řízení výroby, postavené na jistotě rozhodování, tzn., **DIAGNOSTIKOVATELNOST**, **KONTROLNĚ INSPEKČNÍ** a **REVIZNÍ ČINNOST**

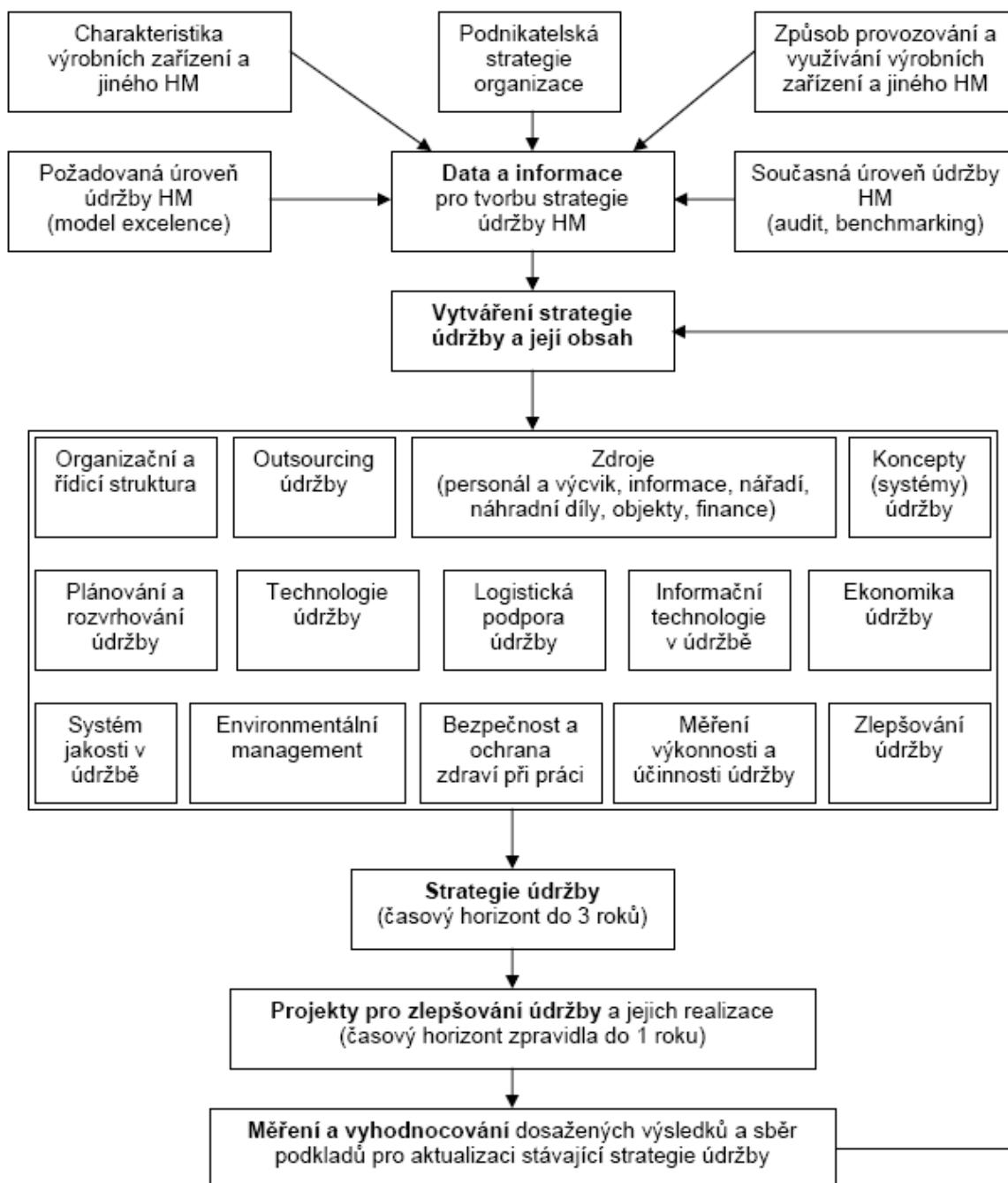
Nejzákladnější a nejpoužívanější pojmy:

- SWOT analýza = kompaktní audit údržby,
- Reengineering = reengineering údržby,
- Synergický efekt = integrovaný management údržby.



Obr. 6 Orientace řízení údržby [6] a [2]





Obr. 7 Schematické znázornění tvorby a uplatňování strategie údržby

RFAM (Risk Focused Asset Management – Riziko zaměřené na zhodnocení přínosu řízení).

- Analýza funkčnosti a vybavenosti systému.
- Analýza nejčastějších selhání.
- Analýzuaprávděpodobných následků těchto selhání.
- Analýza možných opatření vedoucích ke snížení počtu a následků selhání.

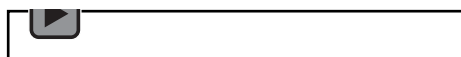


Definuje tři základní kategorie úkolů k řešení údržby:

- Run – to – Failure vědomé rozhodnutí dosažené po analýze funkčnosti systému.
- Calendar – Based Maintenance – nejzákladnější úkoly údržby v časové posloupnosti (plánování údržby).
- Condition Based Maintenance – aktuální jsou analyzované údaje získané inspekční činností (kontrolně inspekční a revizní činnosti).

1.3 ORGANIZACE, METODY, KONTROLNĚ INSPEKČNÍ A REVIZNÍ ČINNOST ÚDRŽBY

Cílem každé kontrolně inspekční a revizní činnosti (prohlídky) je zjištění technického stavu objektu. Vlastní kontrolně inspekční činnost bývá zvykem dělit do následujících dvou základních skupin - subjektivní a objektivní, resp.:

**Audio 1.3 Organizace, metody**

1. Prohlídky subjektivní prováděné obsluhou a techniky (směnové, dekadní, apod.). Tyto prohlídky mají především vizuální charakter.
 - Směnové – při předávání směny, každý provádí prohlídku svého úseku pracoviště a zapisuje výsledky do tzv. provozní knihy stroje.
 - Týdenní (dekadní) – provádí vedoucí provozovaného objektu, případně osádka nebo řemeslníci (zámečnický + elektrikář stroje) a svůj výsledek předávají ústně technikovi – mechanikovi stroje.
 - Odborné prohlídky prováděné technikem, resp. subjektem (provozní technik – mechanik, revizní technik) většinou v určeném časovém intervalu (měsíc, rok, atd.).
2. Odborné prohlídky prováděné objektivními metodami (metody technické diagnostiky), a to v podobě monitorování provozu, cyklickém (periodickém) sledování provozu, či sledování individuální formou objednávky.
 - Prováděné metodami nedestruktivní a bezdemontážní technické diagnostiky pro určené strojní a elektrozvody v časových cyklech (měsíčně, ročně...) nebo na objednávku, nebo dle legislativně nutných předpisů (např. ocelová konstrukce apod.)
 - Servisně provozní měření, což ve své podstatě je prověření nastavení či seřízení pojistných orgánů.

V provozní praxi se pak jedná nejčastěji o následující metody technické diagnostiky:

- metody technické bezdemontážní diagnostiky – vibrodiagnostika, tribodiagnostika, termodiagnostika, akustická diagnostika atd.,



- metody nedestruktivní technické diagnostiky – prozařování (rentgen), elastické kmity (ultrazvuk), elektromagnetické induktivní, tloušťkoměry,
- tenzometrické metody pro servisně provozní měření (tahový a tlakový dynamometr apod.).

Interval kontrolně inspekční činnosti je u odborných prohlídek prováděných subjektem většinou dán vyhláškou apod. a při použití metod technické diagnostiky ve formě predikce zbytkové životnosti objektu (času do nutné opravy), resp. doporučen softwarovým vyhodnocením měření. Úroveň a kvalita kontrolně inspekční činnosti je pak opětovně dána řetězcem: konstruktér (návrh diagnostického systému, návrh stroje apod.), výrobce (kvalita výroby, vybavení dodávek apod.), uživatel (systém údržby, podmínky nasazení apod.) tzn., každý ji ovlivňuje svým nezaměnitelným a konkrétním způsobem.

Ve vlastní provozní praxi výrobních společností pak většinou mluvíme o třech základních následujících typech organizace údržby, ze kterých se odvozuje další, jako např. outsourcovaná (externí), apod.:

- Decentralizovaná údržba – údržba je v celém rozsahu zajišťována pracovníky výrobní organizační jednotky, kteří jsou do této jednotky pracovně (kmenově) začleněni.
- Centralizovaná údržba – veškerá údržbářská a opravárenská činnost je zajišťována samostatnou provozní jednotkou, zabývající se pouze touto činností.
- Kombinovaná údržba – autonomní údržba (ošetřování) zajišťují kmenoví pracovníci výrobní jednotky, opravárenskou a další údržbářskou činnost pracovníci samostatné provozní jednotky zabývající se pouze údržbářskou činností.

Jestliže mluvíme o vlastních metodách údržby, pak bývá provozním zvykem uvádět následující metody:

- Metoda oprav po poruše – odpadá jakákoliv nálezařská činnost, neboť zdroj poruchy je evidentní.
- Metoda standardních oprav – v určeném časovém cyklu se provádí předem určený rozsah prací.
- Metoda výměnných uzlů – daný uzel (celek) je vyměněn při odstávce za nový nebo opravený a vyměněný je následně opravován mimo odstávku.
- Metoda výměnným způsobem – po demontáži je provedena výměna za novou nebo opravenou součást.
- Metoda plánovaných preventivních oprav – vychází od denní péče až po generální opravu, které jsou prováděny v pevných časových cyklech, bez ohledu na skutečný technický stav.
- Metoda diferencované preventivní údržby – větší důraz je kladen na zařízení hlavní důležitosti.

apod. Nepovažujeme za nutnost zde vyjmenovat veškeré názvy používaných metod údržby.



1.4 HODNOCENÍ VÝKONNOSTI (ÚČINNOSTI) ÚDRŽBY A KOMPAKTNÍ AUDIT, EKONOMIKA ÚDRŽBY

1.4.1 Ekonomika údržby a účinnost zařízení

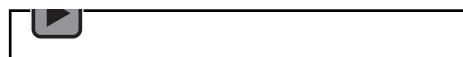
Při zajišťování údržby vždy řešíme:

- zajištění únosných nákladů na potřebnou a nutnou údržbu na straně jedné,
- minimalizace prostojů výrobních zařízení na straně druhé,

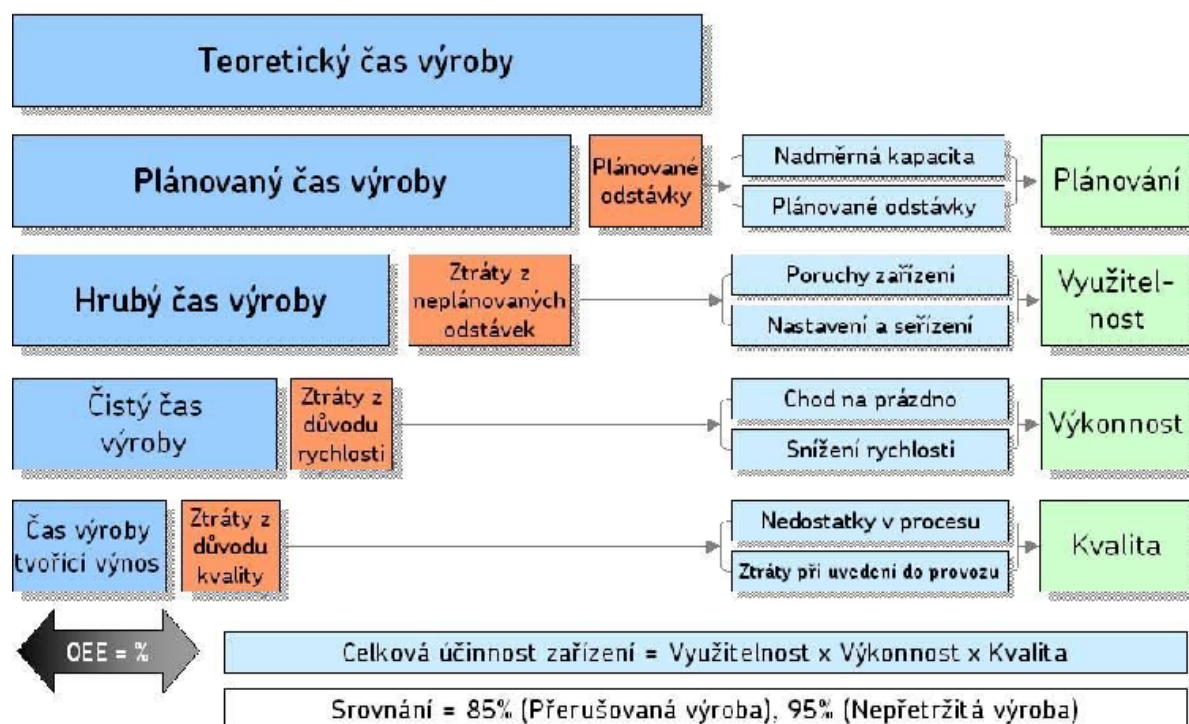
tzn., i údržba má své ekonomické dimenze.



Audio 1.4 Hodnocení výkonnosti



Celková účinnost zařízení Overall Equipment Effectiveness (OEE)



Obr. 8 Celková účinnost zařízení (Overall Equipment Effectiveness – OEE) [2]

1.4.2 Kompaktní audit

V minulosti jsme se setkávali většinou s hodnoceními uvedenými dále:

1. Dílčí metody hodnocení účinnosti údržby (hodnocení u individuálních zařízení), kde řešíme např. otázku:
 - Vhodnost či nevhodnost opravy
 - Zavedení či nezavedení metod technické diagnostiky ke kontrolně inspekční činnosti



2. Komplexní metody hodnocení účinnosti údržby (sledování komplexního působení vybraných činitelů na údržbu)
 - index účinnosti údržby (tzv. Corderův vzorec)
 - křivka ukazatelů údržby – osmi základních ukazatelů (efektivita plánování, zásoba údržbářských prací, přesčasové hodiny, prostoje, odchylky rozpočtu, pracovní výkon, náklady na údržbu, správní náklady na údržbu)

Dnes zásadně mluvíme v obecném slova smyslu o auditu údržby.

Jednotlivé části kompaktního (celistvého) auditu údržby.

1. Benchmarking údržby - Obecný postup

Stanoví se položky (indikátory) pro orientační porovnávání.

- Položky mají být klíčovými znaky procesů a jejich výstupů.
- Orientační porovnávání výstupů z procesu má přímo souviset s potřebami zákazníka.

Stanoví se, s kým se bude provádět orientační porovnávání.

- Typické organizace mohou být přímými konkurenty anebo nepřímými.
- Jsou uznáváni jako nejlepší v zájmové oblasti.

Údaje o výkonnosti procesu a potřebách zákazníka se mohou získat takovými prostředky, jakými jsou.

- Přímý zdroj informací, průzkumy, rozhovory.
- Osobní a odborné kontakty a technické časopisy.
- Organizují a analyzují se údaje, přičemž analýza je zaměřena na stanovení cílů podle nejlepší praxe pro všechny související položky.
- Uskuteční se orientační porovnání a zjistí se příležitosti ke zlepšování jakosti založené na potřebách zákazníka a výkonech konkurenta a nekonkurenta.

Tyto obecné zásady benchmarkingu plně platí i pro všechny procesy údržby hmotného majetku a lze s nimi pracovat i v oblasti managementu údržby. Tzn., existují z pohledu údržby ukazatele z oblasti technické, organizační a ekonomické. Další najdete v EN 15 341 „údržba – klíčové ukazatele výkonnosti“ (KPI – Key Performance Indicator). Tato norma ve své konečné verzi má 71 ukazatelů členěných do zmíněných třech skupin. Norma ponechává na uživateli, které ukazatele budou používat, což může komplikovat možnosti srovnání, pokud nebudou používat stejné ukazatele. Již zmíněné tři skupiny jsou následující:

- Ekonomické ukazatele (čas/peníze, peníze /peníze)



- Technické ukazatele (čas/čas, počet/čas, čas/počet)
- Organizační ukazatele (např. osoby/osoby atd.)

Posláním ukazatelů je podpora řízení a dosažení excelence údržby, k využití výrobních zařízení konkurenceschopným způsobem. Další možnost je dána využitím 14 benchmarkingových ukazatelů stanovených Evropskou federací národních společností pro údržbu (EFNMS – European Federation of National Maintenance Societies), která sdružuje většinu zemí v Evropě [2], včetně ukazatele CEZ – obr. 8.

Některé auditorské firmy také používají označení metoda MEE (Maintenance Efficiency Evaluation – Hodnocení efektivity údržby), ale jedná se o benchmarking.

2. Outsourcing údržby - řešení zajišťování výkonů, které nepatří mezi klíčové schopnosti auditované firmy zmíněnými formami (centralizace, integrace, vyčlenění apod.).

Metodologie SMART je filozofií outsourcingu a má svá pravidla.

- | | |
|---|---|
| S | – Analýza strategie a vlastních činností (<i>Strategy and services needed</i>). |
| M | – Zhodnocení tržní nabídky (<i>Market opportunities</i>). |
| A | – Zhodnocení vlastních schopností (<i>Assessment of in-house capability</i>). |
| R | – Zhodnocení rizik a dopadů/přínosů (<i>Risks and rewards evaluation</i>). |
| T | – Zpracování plánu realizace (<i>Transition planning</i>). |

Zohledňující kritéria:

- Část údržby vyčleněná partnerům nesmí patřit mezi činnosti tvořící podstatu vlastních údržbářských prací.
- Externí partneři musí být schopni zvládat dané údržbářské práce ve stejné nebo lepší kvalitě, se stejnými nebo nižšími náklady, za stejnou nebo kratší dobu, musí být na stejné nebo lepší odborné úrovni schopni zajistit dodávku požadovaného množství atd.
- Vlastní údržba výrobní společnosti se nesmí dostat do nebezpečí přílišné závislosti na externím dodavateli.

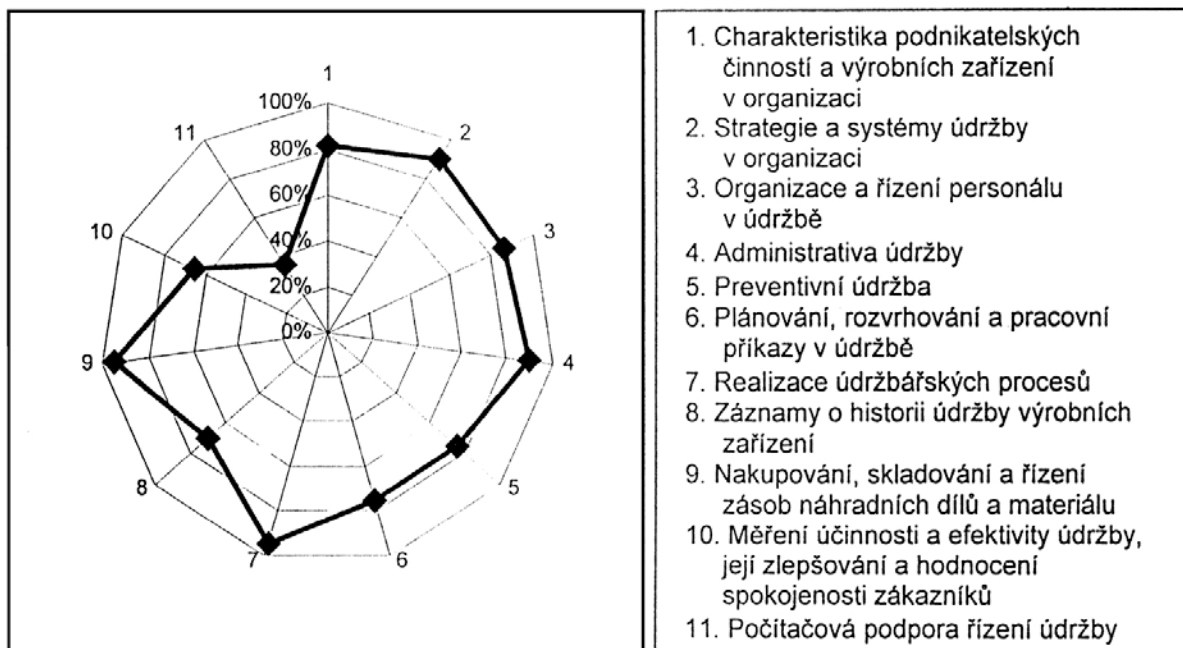
Opět někdy používají auditorské firmy označení metoda MOPE (Maintenance Outsourcing Possibility Evaluation – Ohodnocení možností centralizace, integrace či vyčlenění).

3. Locators study údržby – klasická studie využití pracovníků údržby, resp. snímek pracovního dne, který mapuje, jak je zřejmé, skutečné pracovní využití a vytížení výkonných pracovníků údržby v průběhu jejich pracovní doby.

4. Jakost managementu údržby

Ve své podstatě se jedná o kvantifikaci odpovědi na 11 okruhů otázek, které se vyhodnocují do tzv. paprskového diagramu – obr. 9.





Obr. 9 Kvantitativní výsledky auditu jakosti managementu údržby [2]

5. **Riziková analýza** - je v určení pravděpodobnosti havárie a následných důsledcích pomocí existujících metod, např. FMEA, FMECA, FTA, ETA, HAZOP apod.
6. **Kvantifikace provozní spolehlivosti** - matematickým základem kvantifikace spolehlivosti je počet pravděpodobnosti a matematická statistika. Tyto nástroje jsou potřebné k popisu a analýze náhodných jevů a procesů odpovídajících procesu poruch a obnovy.

2 REENGINEERING A SOUČASNÉ TRENDY ÚDRŽBY

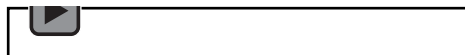
2.1 VLASTNÍ PROJEKT REENGINEERINU ÚDRŽBY MUSÍ MÍT TYTO ETAPY.

- ZPRACOVÁNÍ ANALÝZY SOUČASNÉHO SYSTÉMU ŘÍZENÍ ÚDRŽBY – kompaktní audit
- PROVEDENÍ SPECIFICKÝCH ANALÝZ A PŘESNÉ DEFINOVÁNÍ POTŘEBNÝCH ZMĚN (POŽADAVKŮ) – každá výrobní společnost má určit specifika, která musí být respektována
- NÁVRH POSTUPU REENGINEERINU
- VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ PROJEKTU REENGINEERINU de facto projekční naplnění navrženého postupu. Nedílnou součástí je koncepce organizační struktury.
- IMPLEMENTACE (NAsAZENÍ) DO VÝROBNÍ SPOLEČNOSTI
- HODNOCENÍ PROVOZNÍHO NAsAZENÍ

Trendy v údržbě - současné období nepřináší žádné převratné novinky nebo filosofie do údržby. Dá se pouze mluvit o přechodu od koncepce managementu (řízení) údržby (Maintenance Management) ke koncepci managementu správy majetku (AM – Asset Management) resp. SAM a EAM.



Audio 2.1 Trendy v údržbě



1. Cíle údržby:

- udržovat hmotný majetek v provozuschopném a způsobilém stavu a na požadované úrovni pohotovosti a efektivity,
- předcházet vzniku poruch a následujících poruchových stavů,
- operativně odstraňovat vzniklé poruchy,
- snižovat environmentální dopady provozu a údržby výrobních zařízení,
- zajišťovat bezpečnost provozu údržbou výrobních zařízení,
- vynakládat optimální náklady na údržbu ve vztahu k dosahování pohotovosti,
- a efektivnosti výrobního zařízení,
- vést údržbu k její excelenci.

2. Výchozím bodem je podnikatelská strategie výrobní společnosti a tím řešení:

- změny myšlení a postojů,



- orientace na spolehlivost (spolehlivost přinese snížení nákladů, ale snížení nákladů nepřinese spolehlivost),
- zapojení obsluhy operátorů a dodavatelů výrobních zařízení do udržování a údržby,
- zavádění systému QMS,
- měření výkonnosti údržby (KPI) a trendů zlepšování,
- dosahování excelence údržby pomocí auditů.

Ve stručném shrnutí je možno uvést, že nic nevzniká náhle, nýbrž spojením řady klíčových a podpůrných kroků, tzn.

- Údržba je důležitým nástrojem k redukci nákladů celkové prosperity firem.
- Vytvoření strategie údržby je nutností a musí být součástí podnikové strategie.
- Realizace strategie má stejnou hodnotu jako její vytvoření.
- Pohlížejte na údržbu jako na proces, který podporuje hlavní hodnotvorné procesy podniku.
- Organizujte údržbu podle procesů, které musí údržba zajišťovat.
- Definujte klíčové parametry výkonnosti údržby.

13 otázek, které plně vystihují a shrnují vše, co bylo uvedeno, a dávají zásadní odpověď na kvalitu našeho systému údržby: [7]

1. Uplatňujete správnou investiční a modernizační politiku na vašem majetku a intenzitu jeho využívání v souladu s podnikatelskými záměry a situací na trhu vašich produktů?
2. Máte stanovená kritéria kritičnosti vašeho majetku (strojního zařízení) a podle nich majetek rozdělen do příslušných skupin?
3. Máte dostatečně kvalifikovaný inženýrský a údržbářský personál a správně nastavené kapacity interní a externí údržby včetně optimálně nastaveného outsourcingu?
4. Máte dostatečně propracovanou dokumentaci majetku a jeho údržby (paspart, návody k obsluze a údržbě; mazací plány; programy údržby; technologické postupy udržování, diagnostiky a oprav; organizační a řídicí směrnice; záznamy apod.)?
5. Do jaké hloubky (v jakém rozsahu) máte uplatněnou údržbu?
6. Znáte způsoby (módy) poruch vašich kritických zařízení a jejich prvků?
7. Znáte degradační křivky provozních parametrů (diagnostických signálů) vašich kritických zařízení a jejich prvků?
8. Uplatňujete diagnostickou údržbu u kritických zařízení a jejich prvků všude tam, kde je to technicky možné a ekonomicky efektivní?



9. Aktualizujete programy údržby kritických zařízení kritických zařízení na základě analýzy FMECA a RCM a řídíte údržbu proaktivně?
10. Uplatňujete správné logistické zásady pro řízení zásob náhradních dílů a materiálů (NDM)?
11. Klesají vaše jednotkové náklady (celkové roční náklady na údržbu dělené reprodukční cenou udržovaného majetku) na údržbu, stagnují nebo naopak rostou?
12. Počítáte z údajů o spolehlivosti základní charakteristiky a zejména střední dobu provozu mezi poruchami a střední dobu oprav pro kritická zařízení a jejich prvky a počítáte další ukazatele výkonnosti a efektivity údržby?
13. Máte aplikovanou spolehlivou, účinnou a plně funkční počítačovou podporu procesů řízení majetku a jeho údržby?

Z výsledků průzkumu lze učinit některé základní obecně platné závěry:

- Existuje zřejmý rozpor mezi institucionalizovanými procesy v oblasti řízení údržby a péče o hmotný majetek a jejich skutečným stavem.
- Ve stávajících společnostech je ukrytý ohromný objem nevyužívaných kapacit. Jen např. v USA se tento objem odhaduje na 2 biliony dolarů, jež se neobjevují ani ve statistikách o hrubém domácím produktu, ani v ekonomických rozvahách společností.
- V mnoha případech lze říci, že managementy společností neřídí správu svého hmotného majetku, ale jsou tímto majetkem řízeny.

Otázky:

1. Jaké jsou vývojové, resp. generace systémů údržby?
2. Teorie vitality a vitální znaky údržby?
3. Podstata a pilíře TPM?
4. Tři základní možné systémy organizace údržby?
5. Benchmarking a outsourcing?
6. Cíle, strategie a reengineering údržby?



3 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

K vývoji systémů a řízení údržby jako procesu, hodnocení výkonnosti a ekonomice údržby.



4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VOŠTOVÁ, V. – HELEBRANT, F.- JEŘÁBEK, K. –: Provoz a údržba strojů – II. část Údržba strojů. ČVUT v Praze, I. vydání, Praha 2002, 124 s., ISBN 80 – 01 – 02531 – 4
- [2] HELEBRANT, F. : Technická diagnostika a spolehlivost – IV. Provoz a údržba strojů. VŠB – TU Ostrava 2008, 130 s., ISBN 978-80-248-1690-6
- [3] NĚMEČEK, P. A KOL.: Vedoucí podniku (podnik v kostce), Verlag Dashofer nakladatelství s.r.o., Praha 1996, sv.1 a 2, ISBN 80 – 901859 – 5 – 9
- [4] PAČAIOVÁ, H.: Údržba ako súčasť stratégie integrovaných systémov manažerstva, Habilitační práce, TU v Košiciach, SjF 2003
- [5] FAMFULÍK, J.: Teorie údržby, VŠB – TU Ostrava 2006, 1.vydání, 136 s., ISBN 80– 248–1029–8
- [6] HELEBRANT, F.: Řízení údržby a řízení výrobní společnosti, VŠB – TU Ostrava 2006, Vědecké spisy FS, Habilitační a inaugurační spisy sv.32, 33 s., ISBN 80 – 248 – 1150 – 2
- [7] LEGÁT, V. : Asset management – moderní cesta k lepší údržbě a využití majetku. In Středoevropské fórum údržby 2009, ČZU v Praze a ČSPU Praha, Liblice 2009, s. 3 – 15, ISBN 978-80-213-1999-8



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ

Tribologie, základní pojmy

doc. Ing. Helebrant František, CSc.

Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D.

Ing. Blata Jan, Ph.D.

Ostrava 2013

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

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3028-5



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

OBSAH

1	TRIBOLOGIE, ZÁKLADNÍ POJMY	3
1.1	Úvod	4
1.2	Základní pojmy	5
2	TRIBOLOGIE	7
2.1	Tribologický systém	7
2.2	Tribotechnický systém	7
2.3	Tribologický proces	8
2.4	Kontaktní procesy	8
3	TŘENÍ, TŘECÍ PROCESY	10
3.1	Definice tření	10
3.2	Rozdělení tření	10
3.2.1	Podle místa vzniku:	10
3.2.2	Podle stavu (skupenství):	10
3.2.3	Podle míry oddělení třecích povrchů:	11
3.2.4	Podle míry pohybu:	12
3.2.5	Podle způsobu pohybu:	12
3.2.6	Podle funkčního hlediska:	12
4	OPOTŘEBENÍ	14
4.1	Projevy opotřebení	14
4.2	Faktory a mechanismy opotřebení	14
4.3	Základní druhy opotřebení	15
4.3.1	Adhezivní opotřebení	15
4.3.2	Abrazivní opotřebení	15
4.3.3	Erozivní opotřebení	16
4.3.4	Únavové opotřebení	16
4.3.5	Kavitační opotřebení	16
4.3.6	Vibrační opotřebení	16
4.3.7	Korozivní opotřebení	17
4.4	Základní procesy porušení třecích povrchů	17
5	PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM	18
6	POUŽITÁ LITERATURA	19



1 TRIBOLOGIE, ZÁKLADNÍ POJMY



STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Tribologie, základní pojmy

Tribologie, základní pojmy

Tření

Opotřebení



MOTIVACE:

Aplikace z oblasti tribologie a tribotechniky nás všechny, aniž bychom si to uvědomovali, doprovázejí prakticky na každém kroku. S uvedenými pojmy se nesetkáváme totiž pouze u systémů umělých - vytvořených člověkem, ale také u systémů přírodních. Ve své podstatě se jedná o problematiku tření, opotřebení a mazání, tedy problematiku mající zásadní vliv na provoz, životnost a spolehlivost strojních celků.



1.1 ÚVOD

Tribologie – tímto pojmem je nazývána je mezioborová věda zabývající se chováním dvou povrchů při jejich vzájemném dotyku a dále vzájemném pohybu nebo také při pokusu o tento pohyb. Tribologie shromažďuje a třídí informace o vlastnostech a chování třecích dvojic a dále tyto informace rozvíjí a uplatňuje.

Obecně je tedy možné tribologii definovat jako nauku o vědeckém výzkumu a praktickém použití zákonitostí a poznatků pro oblasti tření, opotřebení a mazání.

Základní definice

- **základ tribo vychází z řeckého tribos (tření),**
- „Tribologie je věda a technologie (teorie a praxe) zaobírající se vzájemným působením povrchů při jejich relativním pohybu a s nimi souvisejícími subjekty a praktikami“ - Mezinárodní tribologická rada (International Tribology Council - ITC),
- „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“ - Dzimko, M: Základy tribotechniky, trenie, opotrebenie a mazanie.
- „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“ - Blaškovič, P., Balla, J., Dzimko, M. Tribológia,
- „Tribotechnika je věda o vzájemném působení při pohybu, obsahující veškeré komplexní otázky tření, opotřebení a mazání strojů.“

Historický vývoj

- problémy s třením, opotřebením a mazáním již v pravěku (oheň - rozdělávání třením, kolo - vlečení nahrazeno válením, použití kapaliny ke snížení tření atd.),
- 1400 let před n.l. - použití živočišného tuku,
- Archimédes (asi 250 let před n.l.) - použil kovová mazaná ložiska,
- Leonardo da Vinci (1452 - 1519) dospěl k 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
- 1699 - francouz Amontons zakládá geometricko - mechanickou teorii tření a definuje první zákon tření $\mu = F_T/F_N$, který později přechází do literatury pod názvem Coulombův zákon,



- 1729 - Dasagulier objasňuje tření na podstatě molekulárních vazeb,
- 1921 - Brinell vypracoval první klasifikaci druhů opotřebení (podle kinematických kritérií),
- 1957 - Burwell - klasifikace opotřebení podle druhu a mechanismu působení,
- 1884 - Reynolds - základy hydrodynamické teorie mazání,
- za posledních 30 let práce na tzv. elastohydrodynamické teorii mazání (Grubin, Cheng, Hamrock aj.).

Technický, technologický a ekonomický význam aplikace tribotechniky

- ztráty způsobené nesprávnou aplikací tribologických zásad až 30% vyrobené energie,
- 80 ÷ 90% strojů je vyřazováno v důsledku škod z opotřebení tenkých povrchových vrstev,
- podíl ložisek na ztrátách je 38 ÷ 50% atd.

Co musí přinést správná aplikace tribologických zásad

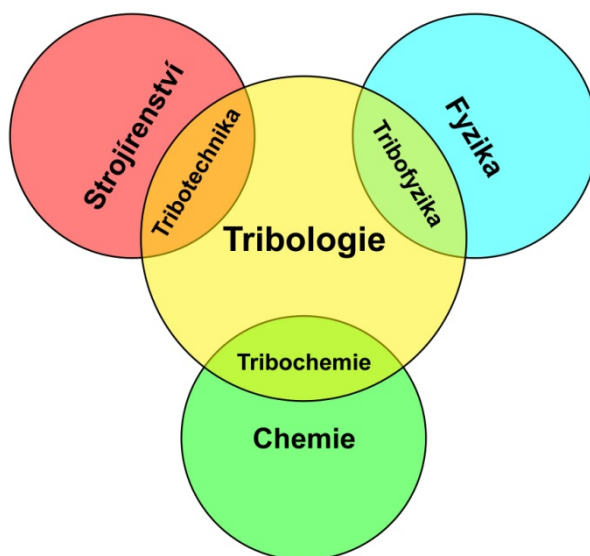
- vyšší spolehlivost a životnost,
- vyšší využití a možnost vyššího nasazení technických provozních parametrů.

1.2 ZÁKLADNÍ POJMY

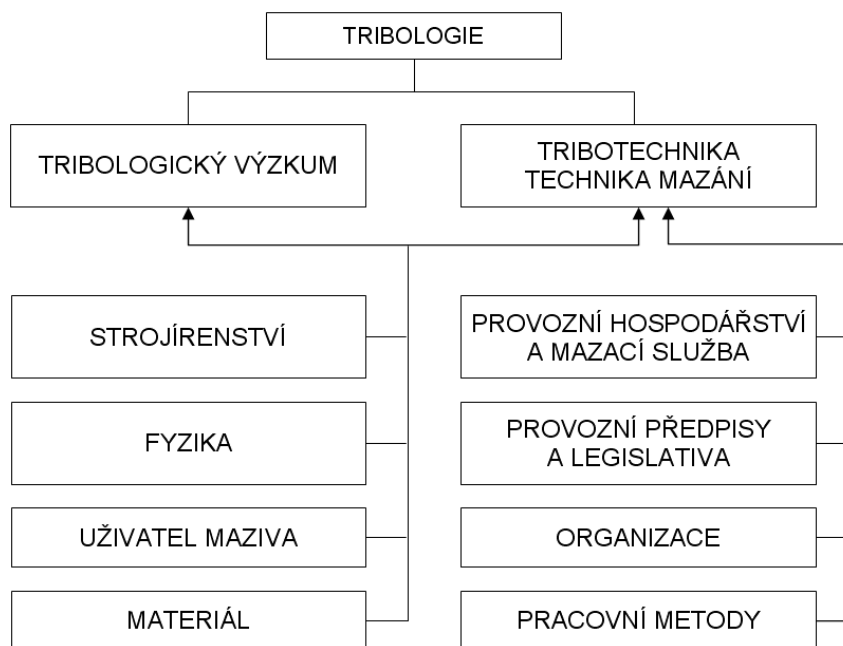
- TRIBOLOGIE - věda zabývající se chováním dotýkajících se povrchů při pokusu o vzájemný pohyb,
- TRIBOTECHNIKA - vědní obor zabývající se aplikací tribologických zásad do konstrukce strojů a zařízení,
- TRIBOFYZIKA - posuzuje fyzikální aspekty vzájemného působení kontaktujících se povrchů při jejich vzájemném pohybu,
- TRIBOCHEMIE - popisuje chemické působení kontaktujících se povrchů s chemicky aktivním médiem,
- TRIBOMECHANIKA - popisuje mechaniku vzájemného působení kontaktujících se povrchů při tření,
- TRIBOORGANIZACE - použití a využití výsledků tribotechniky a tribologie pro organizaci a řízení produkční sféry výrobních společností a pod.,
- TRIBOTECHNOLOGIE - řešení výrobních technologií z tribologického hlediska,
- TRIBOBIOLOGIE - biologické aspekty vzájemného působení přirozených tribologických systémů (např. klouby).



- TRIBODIAGNOSTIKA - je relativně samostatnou kapitolou využívající informací získaných z maziva k objektivnímu určení technického stavu sledovaného objektu.



Obr. 1 Souvislost tribologie se základními vědními obory



Obr. 2 Obsah tribologie



2 TRIBOLOGIE

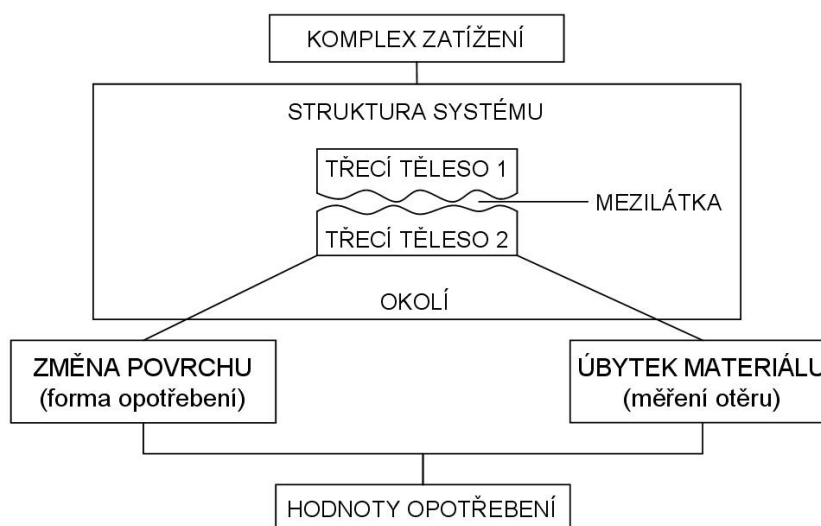
- má svůj cíl ve shromažďování, třídění, uplatňování a dalším rozvíjení znalostí o vlastnostech a chování třecích, tzn., tribologických uzlů,
- existují dvě základní zájmové oblasti uplatnění tribologie:
 - přirozené tribologické systémy - klouby člověka a zvířat, pohybový aparát, kořeny rostlin a pod.,
 - umělé tribologické systémy - části technických systémů vytvořených člověkem.

2.1 TRIBOLOGICKÝ SYSTÉM

- je umělý nebo přirozený materiální systém základní úrovně,
- probíhá v něm tření jako proces v důsledku vzájemného působení minimálně dvou struktur systémových prvků,
- představuje jeden třecí uzel,
- ve své základní struktuře obsahuje čtyři prvky.

2.2 TRIBOTECHNICKÝ SYSTÉM

- systém vyšší úrovně,
- sestává z více (minimálně dvou) tribologických systémů,
- svou strukturou je schopný realizovat zadanou technickou funkci.



Obr. 3 Tribologický systém podle DIN 51 320

Legenda: 1 - základní třecí těleso, 2 - třecí těleso, 3 - mezilátka, 4 - okolí



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

Toto dříve uváděné je vlastně obsahem teorie pružnosti, takže můžeme říci, že rozeznáváme:

- pružný (elastický) kontakt
- plastický kontakt

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



3 TŘENÍ, TŘECÍ PROCESY

Tření je:

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

3.1 DEFINICE TŘENÍ

Patrně nejznámější definicí tření je tato:

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

3.2 ROZDĚLENÍ TŘENÍ

3.2.1 Podle místa vzniku:

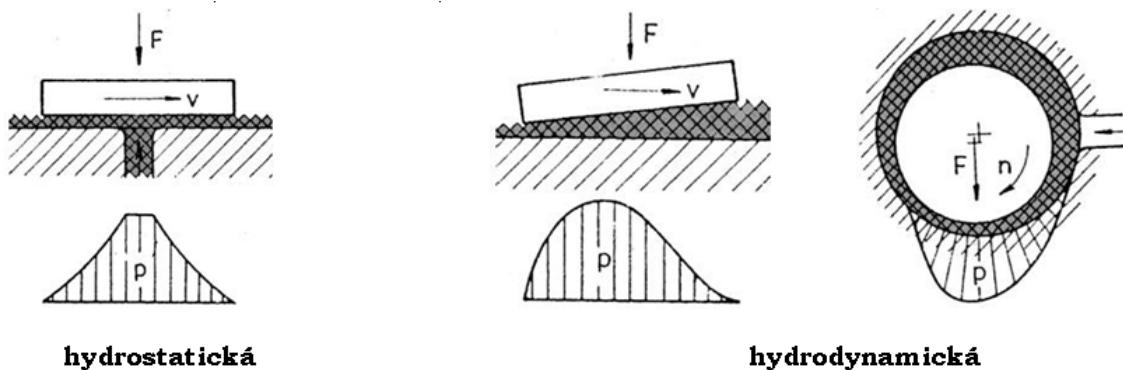
- **vnější tření** - je charakterizováno stykem dvou třecích ploch,
- **vnitřní tření** - probíhá v materiálových vrstvách téhož třecího tělesa.

3.2.2 Podle stavu (skupenství):

- **tření pevných těles** - dotykové materiály jsou v pevném skupenství. Příčina tření vyplývá z interakce povrchů při mechanickém a molekulárním působení:
 - vzájemné zachytávání se mikronerovností (drsnosti),
 - pružné deformace mikronerovností,
 - plastické deformace mikronerovností,
 - adhezi mezi mikronerovnostmi povrchů.
- **kapalinové tření** - vrstva materiálu, v níž probíhá tření, má vlastnosti kapaliny. Smykové napětí závisí na viskozitě mezilátky a představuje odpor proti pohybu. Hovoříme o existenci vrstvy materiálu, ve které probíhá třecí proces vyjadřovaný velikostí součinitele tření. Rozlišujeme typ třecí vrstvy:
 - hydrostatická,
 - hydrodynamická.
- **plynové tření** - podobné jako tření kapalinové, třecí vrstva je tvořena plynem. Vhodné pro vysoké teploty (300 °C a více) a vysoké obvodové rychlosti (10 000 - 600 000 min⁻¹). Podobně hovoříme také o tření:
 - aerostatickém,



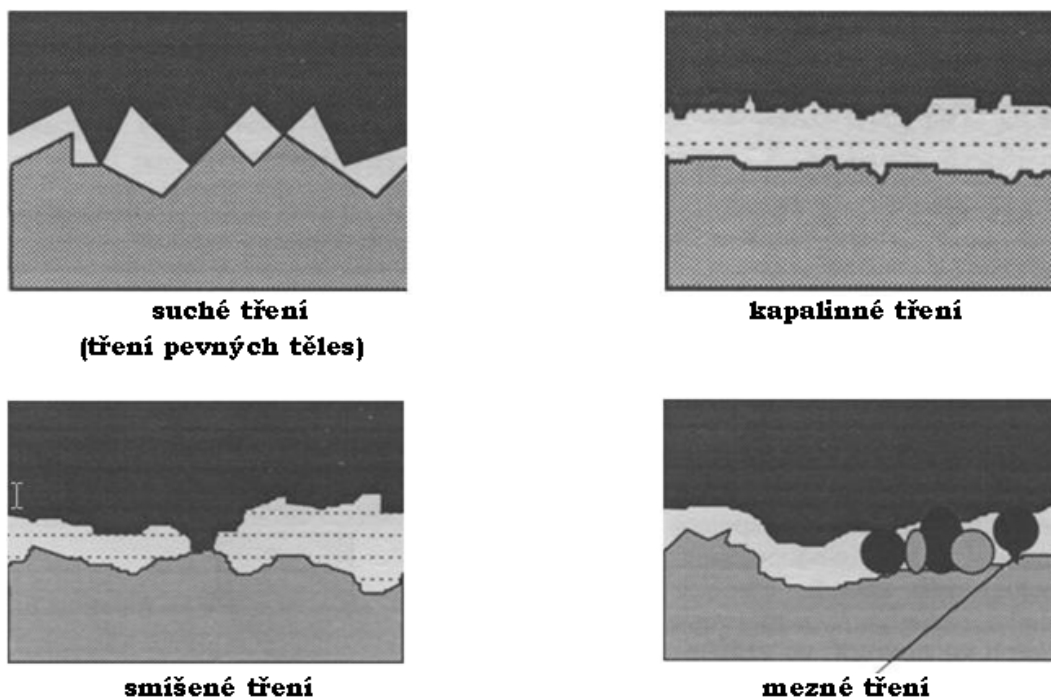
- aerodynamickém.
- **tření smíšené** - je zvláštním případem kapalinového tření, kdy dojde k takovému ztenčení mazací vrstvy, že začíná docházet k vzájemnému styku povrchů nerovností třecích ploch. Při dalším úbytku mazací vrstvy může dojít až k limitnímu stavu, nastává tzv. mezní tření.



Obr. 6 Rozdělení tření podle typu třecí vrstvy

3.2.3 Podle míry oddělení třecích povrchů:

- suché tření (při tření pevných těles),
- kapalinné tření,
- smíšené tření,
- mezní tření.



Obr. 7 Rozdělení tření podle míry oddělení třecích povrchů



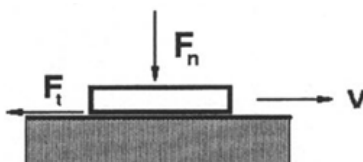
3.2.4 Podle míry pohybu:

- **tření klidové** (statické) - vzniká mezi tělesy, které se vůči sobě vzájemně nepohybují, tedy jsou v klidu,
- **tření pohybové** (kinetické) - vzniká mezi tělesy při jejich vzájemném pohybu (kluzném, válivém nebo rotačním),
- **tření nárazové** (vibrační) - vzniká například při nárazu tělesa na pevnou podložku (pohyb kolmo k podložce) nebo vibračním (oscilačním) pohybem tělesa po podložce (rovnoběžně).

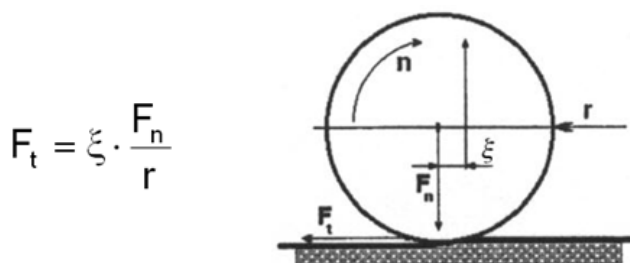
3.2.5 Podle způsobu pohybu:

- **tření smykové** - je tření vznikající mezi třecími tělesy při jejich vzájemném posuvném pohybu, vyhodnocuje se pomocí součinitele tření jako bezrozměrné veličiny, což je poměr třecí tangenciální síly k normálové zatěžovací síle:

$$\mu = \frac{F_t}{F_n}$$



- **tření válivé** - vzniká při valení třecího tělesa po rovině nebo jiném všeobecně zakřiveném tělese se současným posunem rovnoběžně s rovinou nebo ve směru zakřivení. Příčina valivého tření je v mikroskopických prokluzech ve směru nebo proti směru odvalování. Třecí síla je výrazně nižší než při tření kluzném a představuje 1/10 ÷ 1/20 hodnoty.



3.2.6 Podle funkčního hlediska:

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



Tab. 1 Orientační velikost součinitele tření pro různé třecí stavy

	třecí plochy odděluje	součinitel tření
tření pevných těles	-	0,01 - 0,25
smíšené tření	částečně mazivo	0,01 - 0,2
kapalinové tření	kapalné mazivo	0,01 - 0,1
valivé tření	valivé těleso	0,001 - 0,0001
plynové tření	plyn, stlačený vzduch	0,0001 - 0,0005

Tab. 2 Součinitele tření pro materiálové kombinace třecích dvojic

materiál povrchů třecích ploch	součinitel smykového tření	
	pohyb μ [-]	klid μ_0 [-]
ocel / ocel - suché tření	0,1	0,15
ocel / bronz - suché tření	0,16	0,18
ocel / bronz - kapalinové tření	0,01	0,1
brzd. buben (litina) / obložení ferodo	0,25 - 0,35	-
řemenice (ocel) / řemen (kůže, pryž)	0,2 - 0,9	-
spojka lamela / obložení textil / olej	0,1	-
guma / beton - suché tření	-	0,7 - 0,8
ocel / led	0,014	0,027



4 OPOTŘEBENÍ

Opotřebení je základním a nutným důsledkem tribologického procesu, který probíhá v tribologickém systému. Jeho výsledkem je trvalý úbytek materiálu z povrchů pevných těles při jejich vzájemném dotyku a relativním pohybu nebo při pohybu média.

4.1 PROJEVY OPOTŘEBENÍ

Základními projevy opotřebení jsou:

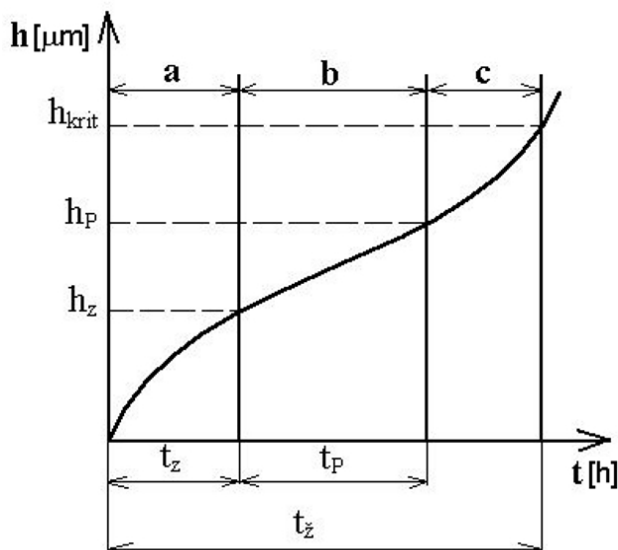
- změna velikosti a tvaru povrchových materiálových oblastí PT (deformace, zpevnění, měknutí, oddělování, tavení, spájení, přenášení, nanášení apod.),
- materiálové změny povrchových materiálových oblastí pevných těles (absorbce, difuze, legování, trioxidace, tribokoroze apod.).

4.2 FAKTORY A MECHANISMY OPOTŘEBENÍ

Vliv obecných faktorů na proces tření a opotřebení je možné rozdělit takto:

- **vstupní faktory**
 - třecí tělesa se základními vlastnostmi,
 - mezilátka,
 - zatěžovací komplex,
- **vnitřní faktory**
 - změna drsnosti a stavu povrchu, změna struktury podpovrchových vrstev,
 - změna vlastností mazací vrstvy, změny mechanických vlastností,
 - vznik a přestup tepla, soustředování dislokací,
- **výstupní faktory**
 - třecí síla a třecí moment
 - intenzita opotřebení





Obr. 8 Časový průběh opotřebení

Legenda: a) záběh, b) provozní nasazení, c) doběh (havárie)
 h - hodnota opotřebení, h_z - záběhová hodnota opotřebení,
 h_{krit} - kritická hodnota opotřebení

4.3 ZÁKLADNÍ DRUHY OPOTŘEBENÍ

4.3.1 Adhezivní opotřebení

- dotyk při relativním pohybu funkčních povrchů,
- porušení povrchových vrstev,
- čistý kovový styk, vznik mikrosvářů s následným porušováním,
- přenos materiálu z jednoho povrchu na druhý,
- uvolňování a vytrhávání částic materiálu,
- ovlivněno přítomností maziva mezi povrchy,
- intenzivní forma je nazývána zadírání,
- typický projev - jemný adhezivní oděr.

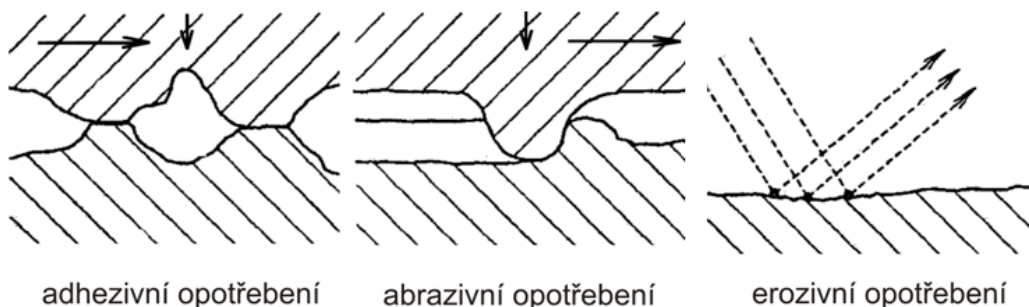
4.3.2 Abrazivní opotřebení

- způsobeno rozrýváním a řezáním měkkého povrchu jednoho tělesa drsným a tvrdším povrchem tělesa druhého,
- stejný účinek nastává působením volných částic - oddělených z povrchů nebo vniknutých z okolí (nečistoty),
- typickým poškozením jsou rýhy.



4.3.3 Erozivní opotřebení

- povrch je poškozován pevnými částicemi nesenými proudem kapaliny nebo plynů,
- porušení materiálu je nerovnoměrné, často výrazně zvlněné,
- ovlivněno charakterem částic a rychlostí pohybu,
- typickým příkladem je působení dešťových kapek.



Obr. 9 Adhezivní, abrazivní a erozivní opotřebení

4.3.4 Únavové opotřebení

- vzniká při opakujícím časově proměnném namáhání povrchové vrstvy,
- iniciuje se tvorba zárodků povrchových a podpovrchových trhlin,
- trhliny se dále šíří a spojují, až začnou uvolňovat částice materiálu z povrchu - vznik důlků,
- někdy označováno jako dolíčkovitě opotřebení.

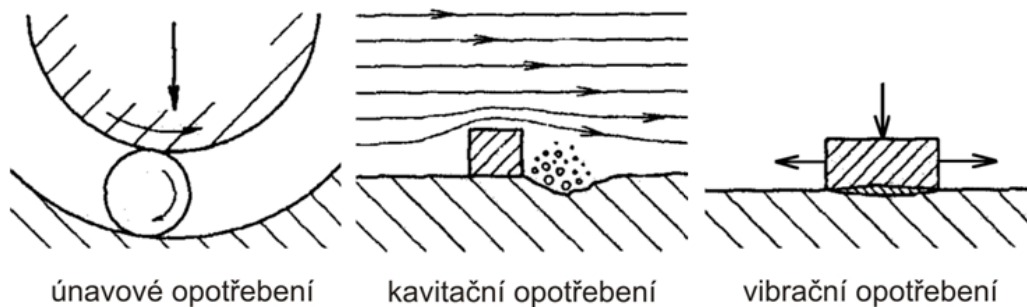
4.3.5 Kavitační opotřebení

- vzniká zanikáním kavitačních bublin v kapalině,
- zánik bublin způsobuje hydrodynamické rázy, tzn. namáhání povrchem součástí,
- důsledkem je oddělování částic a poškozování povrchu v oblasti zanikání,
- dochází až k vytrhávání částic z povrchu.

4.3.6 Vibrační opotřebení

- vzniká při vzájemném vibračním nebo vratném pohybu třecí dvojice s velmi malou amplitudou kmitání,
- k opotřebení dochází ve dvou stupních:
 - nejprve je třením porušována adhezní povrchová vrstva,
 - následně produkty adhezivního opotřebení oxidují a působí abrazivně.





Obr. 10 Únavové, kavitační a vibrační opotřebení

4.3.7 Korozivní opotřebení

- vzniká při práci třecí dvojice v aktivním prostředí při vniknutí kyslíku z okolí, při stárnutí maziva (voda, kyselina a pod.).

Poznámka:

V praxi se téměř nesetkáváme pouze s jedním druhem opotřebení, ale s jejich kombinací nebo postupnou kombinací.

Obecně existují dva základní druhy opotřebení:

- mechanické,
- chemické.

4.4 ZÁKLADNÍ PROCESY PORUŠENÍ TŘECÍCH POVRCHŮ

- **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 vytěsňován 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).



5 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Tribologický systém a tribologické procesy - podstata a princip, základní rozdělení, základní pojmy.
- Tření - druhy tření, vlivy na tření, teorie tření. Opotřebení - mechanismy, druhy, faktory vlivu. Teorie mazání - režimy tření a mazání.



6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Stodola, Jiří, Pešlová, Františka a Krmela, Jan. *Opotřebení strojních součástí: monografie*. 1. vydání. Brno: Univerzita obrany, 2008. 195 s. ISBN 978-80-7231-552-9
- [2] Stodola, Jiří, ed. a Šťastný, Jiří, ed. *Opotřebení, spolehlivost, diagnostika 2009: monografie*. 1. vydání. Brno: Tribun EU, 2009. 230 s. ISBN 978-80-7399-847-9
- [3] Helebrant, František, Ziegler, Jiří a Marasová, Daniela. *Technická diagnostika a spolehlivost. I., Tribodiagnostika*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. 155 s. ISBN 80-7078-883-6
- [4] Bečka, Jan. *Tribologie*. 1. vydání. Praha: ČVUT, 1997. 212 s. ISBN 80-01-01621-8
- [5] Blaškovitš, Pavel, Balla, Jozef a Dzimko, Marián. *Tribológia*. I. vydání. Bratislava: Alfa, 1990. 360 s., příl. Edícia strojárскеj literatúry. ISBN 80-05-00633-0
- [6] Šafr, Emil. *Tribotechnika*. Praha: Redakce báňské a strojírenské literatury, SNTL - Nakladatelství technické literatury. Knižní výroba, Brno, 1984. 300 s. 04-244-84
- [7] Szczerek, Marian. *Metodologiczne problemy systematyzacji eksperymentalnych badań tribologicznych*. Radom: Institut Technologii Eksploatacji. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Institutu Technologii Eksploatacji, 1997. 245 s. ISBN 83-87039-42-X
- [8] Szczerek, Marian a Wiśniewski, Marek. *Tribologia i Tribotechnika*. Radom: Polskie Towarzystwo Tribologiczne, Institut Technologii Eksploatacji, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Mechaników Polskich. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Institutu Technologii Eksploatacji, 2000. 727 s. ISBN 83-7204-199-7



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



**PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA
STROJŮ**

Tribometrie, tribotechniky strojních součástí

doc. Ing. Helebrant František, CSc.

Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D.

Ing. Blata Jan, Ph.D.

Ostrava 2013

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

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3028-5



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

OBSAH

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



1 TRIBOMETRIE, TRIBOTECHNIKA STROJNÍCH SOUČÁSTÍ



STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Tribometrie a její rozdělení.

Metody zkoušení tření a opotřebení.

Tribotechnika základních strojních částí.



MOTIVACE:

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

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



1.1 ÚVOD

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

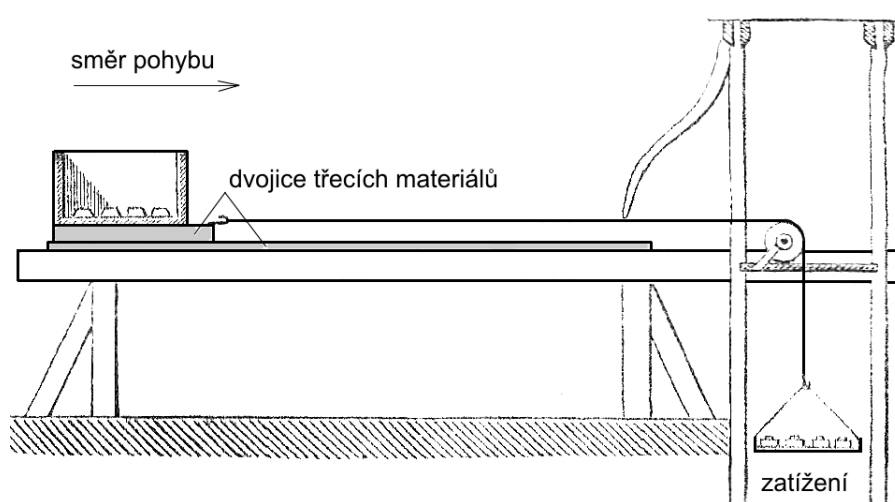
Základní rozdělení tribologických zkoušek

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

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

Základní požadavky na konstrukci zkušebních a simulačních zařízení

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



Obr. 1 Náčrt Coulombova tribometru

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



1.2 ZÁKLADNÍ POJMY

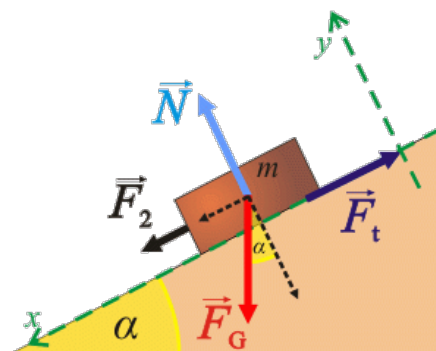
- **TRIBOMETRIE** - soubor různorodých metod a technických řešení využívaných ke zkoumání tribologických procesů, včetně hodnocení maziv a tribotechnických prvků strojů,
- **TRIBOTECHNIKA** - vědní obor zabývající se aplikací tribologických zásad do konstrukce strojů a zařízení, zabývá se tedy komplexně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



2 METODY ZKOUŠENÍ TŘENÍ A OPOTŘEBENÍ

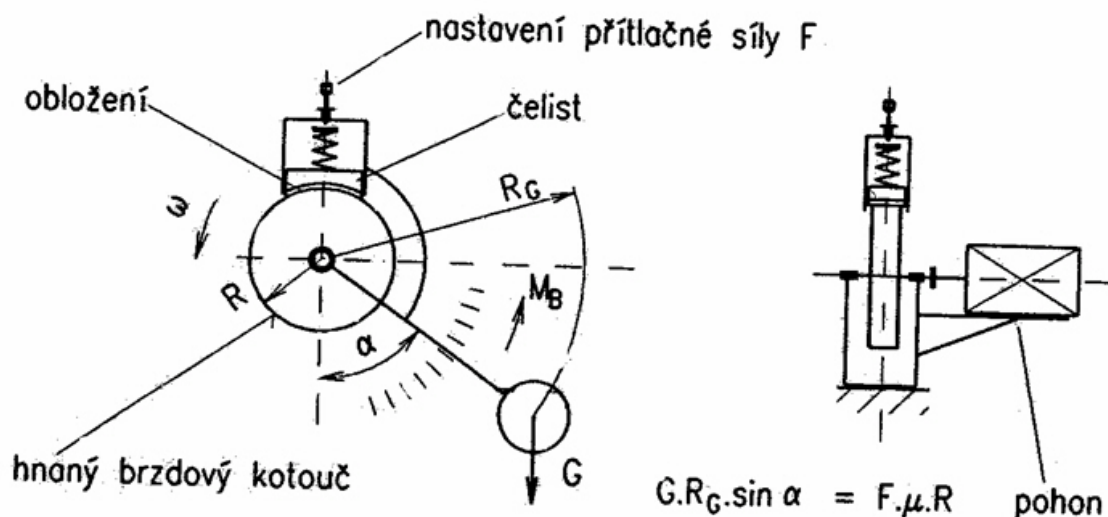
2.1 HODNOCENÍ TŘECÍCH PROCESŮ

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



<http://fyzikalniulohy.cz>

Obr. 2 Stanovení součinitele tření na nakloněné rovině



Obr. 3 Stolice pro měření součinitele tření materiálů brzdných obložení

2.2 HODNOCENÍ PROCESU OPOTŘEBENÍ MĚŘENÍM VELIKOSTI OPOTŘEBENÍ

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



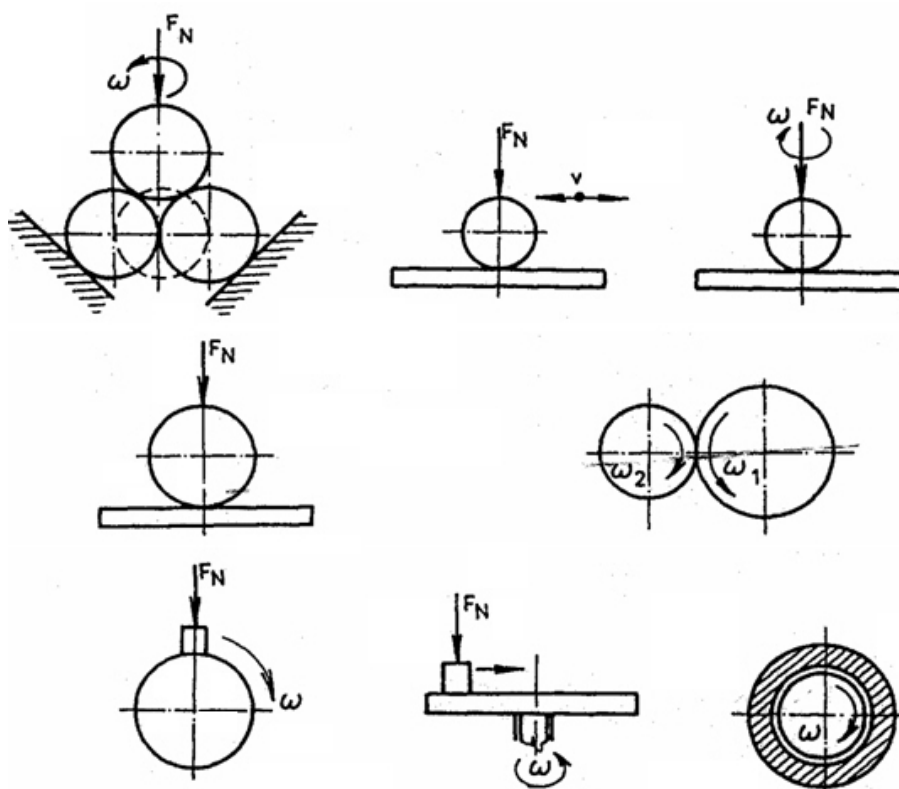
2.3 ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ

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

2.3.1 Přístroje na zkoušky odolnosti proti adhezivnímu opotřebení

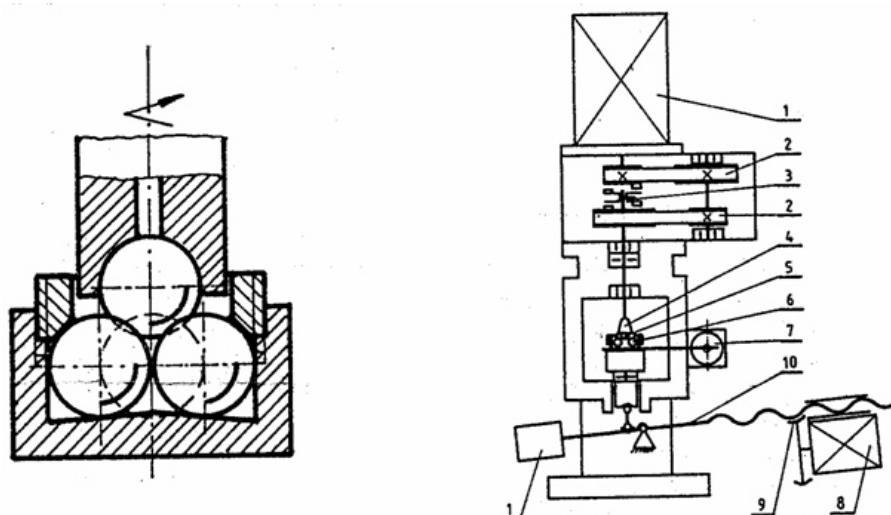
Rozhodujícím kritériem je:

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



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

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

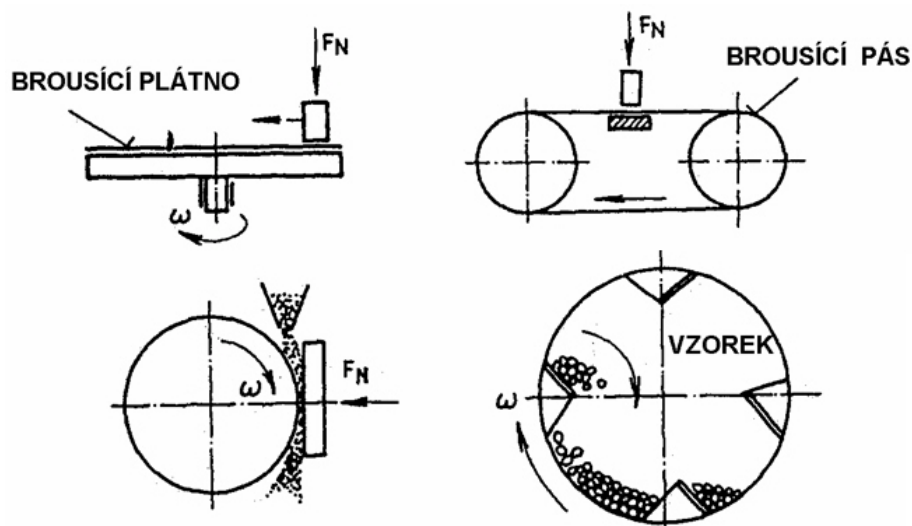


Obr. 5 Čtyřkuličkový třecí přístroj (model a kinematické schéma)

2.3.2 Přístroje na zkoušku odolnosti proti abrazivnímu opotřebení

Rozlišujeme použití:

- vázaných částic,
- volných částic.



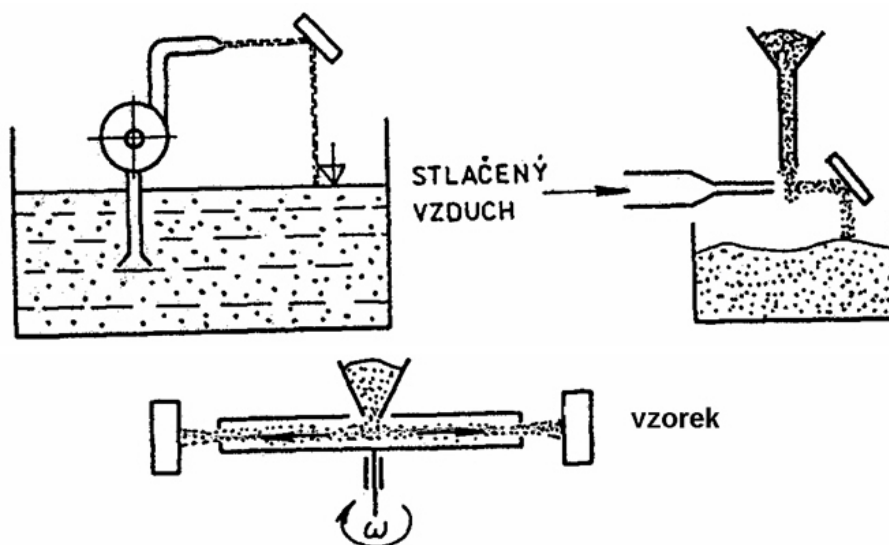
Obr. 6 Schéma přístrojů na zkoušky proti abrazivnímu opotřebení

2.3.3 Přístroje na zkoušku odolnosti proti erozivnímu opotřebení

Rozlišujeme podle způsobu nesení erozivních částic:

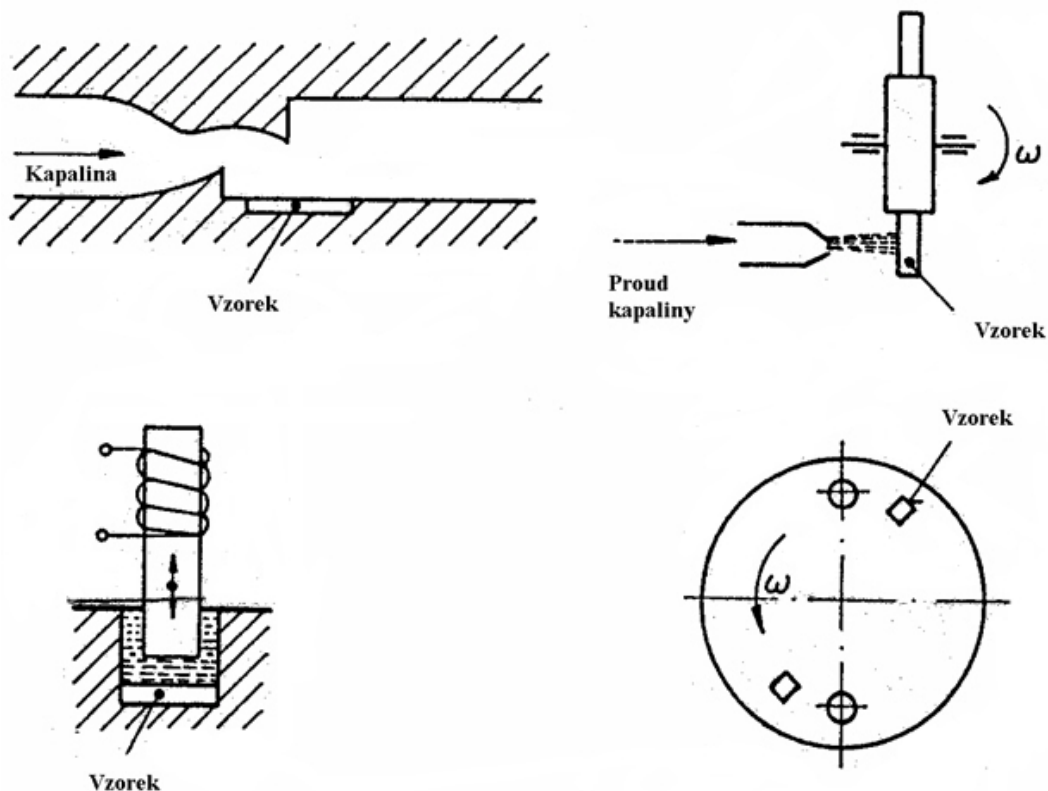
- proudem kapaliny,
- stlačeným vzduchem
- odstředivou silou.





Obr. 7 Schéma přístrojů na zkoušky proti erozivnímu opotřebení

2.3.4 Přístroje na zkoušku odolnosti proti kavitačnímu opotřebení



Obr. 8 Schéma přístrojů na zkoušky proti kavitačnímu opotřebení

2.3.5 Přístroje na zkoušku odolnosti proti únavovému opotřebení

2.4 ZKOUMÁNÍ TŘECÍCH POVRCHŮ A OPOTŘEBENÍ

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



- metody zkoumání složení povrchových vrstev.

2.5 ZKOUMÁNÍ PRODUKTŮ OPOTŘEBENÍ

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



3 TRIBOTECHNIKA ZÁKLADNÍCH STROJNÍCH ČÁSTÍ

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

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

3.1 ŠROUB, ŠROUBOVÉ SPOJENÍ

Řešíme následující oblasti:

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

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

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

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

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

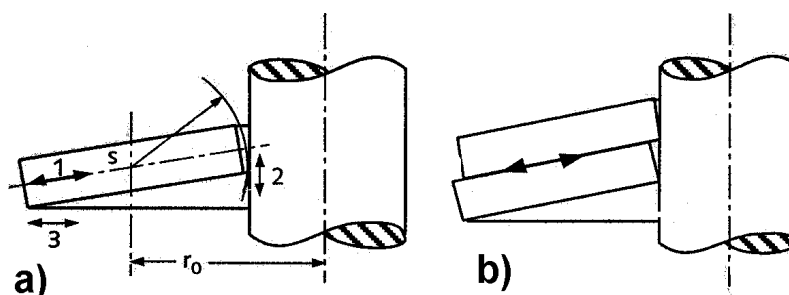
3.2 PRUŽINY

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

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



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



Obr. 9 Místa tření na talířové pružině

Pozitivní účinky nasazení maziva (plastické):

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

3.3 TĚSNĚNÍ

Podle konstrukce stroje a provozního nasazení rozlišujeme:

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

Těsnění rotujících částí (těsnění valivého ložiska):

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

Třecí těsnění:

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



Úkoly těsnění:

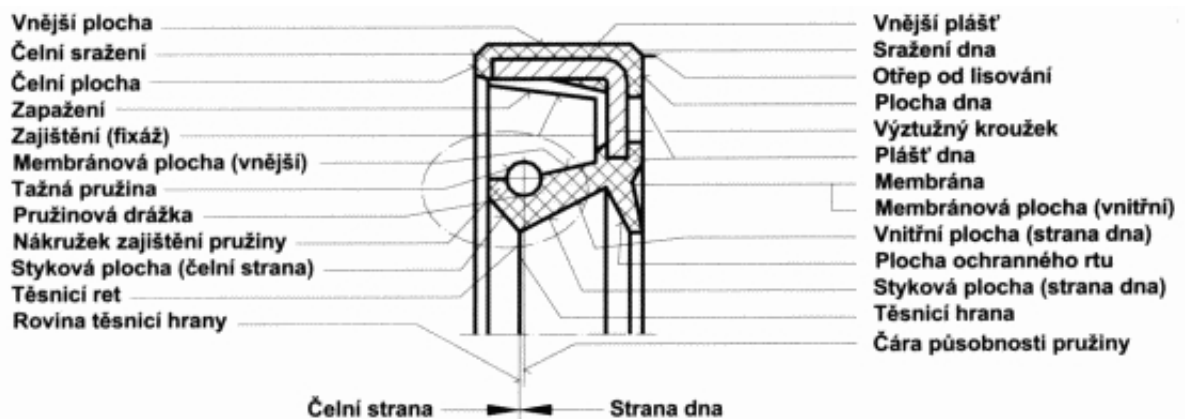
- musí chránit ložisko i mazivo proti vnějšímu prostředí, aby nečistoty a vlhkost nemohly vniknout do ložiska a tak zapříčinit poškození,
- musí bránit úniku maziva z ložiska,
- umístění třecí plochy (tzn. uložení gufera) rozhoduje o prioritě funkce.

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

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

Gufera:

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



Obr. 10 Gufero - základní pojmy dle DIN 3761

3.4 BRZDY

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



Brzdový materiál by měl splňovat tyto požadavky:

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

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

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

Základními požadovanými vlastnostmi hydraulických kapalin jsou:

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

3.5 SPOJKY

Volba materiálu třecích dvojic u třecích spojek závisí na:

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



- momentu setrvačnosti apod.

V praxi se například volí třecí dvojice:

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

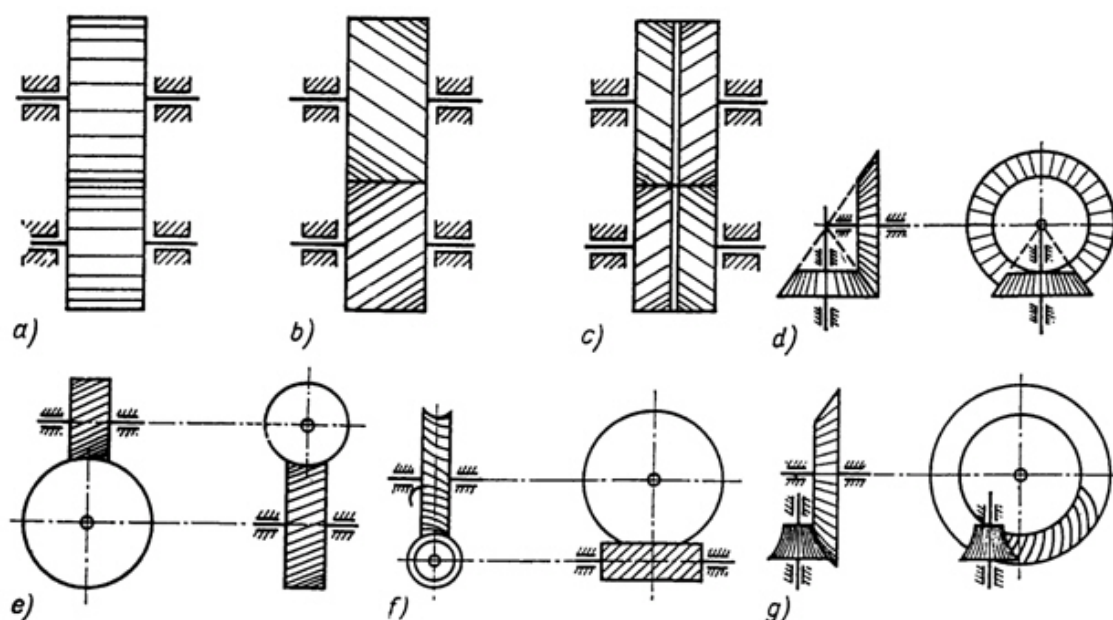
Z pohledu tribotechniky a tribovýkladu požadujeme zejména:

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

3.6 OZUBENÍ

Ozubení dělíme podle kinematických poměrů při záběru:

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



Obr. 11 Základní typy ozubení

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

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

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

O druhu maziva použitého rozhoduje:

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



- druh převodu, materiál zubů a obvodová rychlost.

Dělení převodů podle obvodové rychlosti dle DIN 51 509:

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

Důležité vlastnosti převodových maziv:

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

3.7 OCELOVÁ LANA

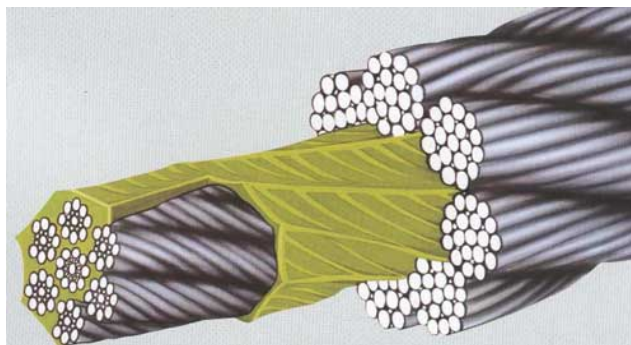
Použitá plastická maziva (mazadla) mají u lan následující základní význam:

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

Mazadla jsou v podstatě dvojího druhu:

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





Obr. 12 Ukázka provedení ocelového lana

Z pohledu druhu použitých mazadel musí platit následující:

Oba druhy mazadel se musí dobře snášet.

Hlavní vlastnosti mazadel ocelových lan:

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

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

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

3.8 ŘETĚZY

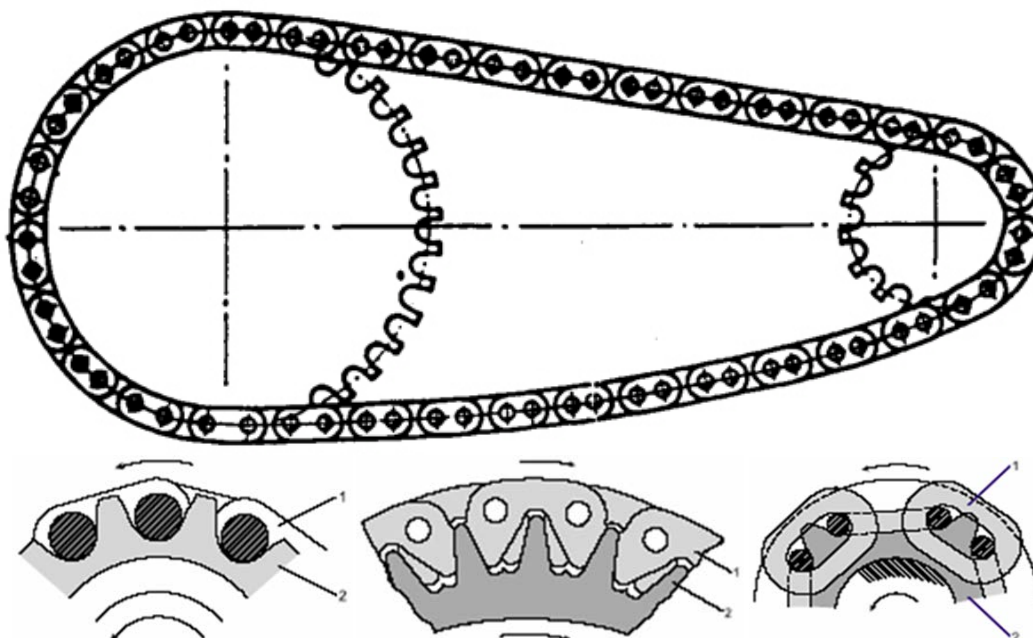
Důvody mazání řetězů:

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



Používaná maziva:

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



Obr. 13 Ukázky provedení řetězových převodů

3.9 HŘÍDELE

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

3.9.1 Uložení hřídele

Řešíme otázky:

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

3.9.2 Ohebné hřídele

Možnosti použití:

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



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

Aplikace maziva:

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

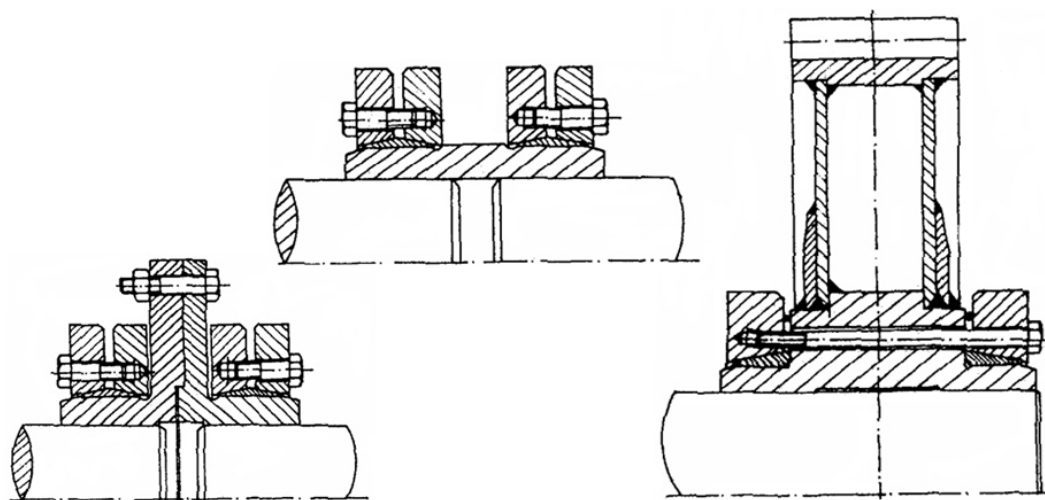
Upozornění: **Podmínkou správné funkce je správné dimenzování, tedy správné určení průměru ohebného hřídele.**

3.9.3 Přenos kroutícího (točivého) momentu

Řešíme otázku vytvoření spojení:

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

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



Obr. 14 Ukázky provedení svěrných spojení



4 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

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



5 DOPLŇUJÍCÍ ZDROJE – KNIHY, INTERNET, ...

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



6 POUŽITÁ LITERATURA

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



**PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA
STROJŮ**

Maziva a mazací soustavy

doc. Ing. Helebrant František, CSc.

Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D.

Ing. Blata Jan, Ph.D.

Ostrava 2013

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

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3028-5



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

OBSAH

1	MAZIVA A MAZACÍ SOUSTAVY	3
1.1	Úvod	4
1.2	Základní pojmy	5
2	MAZIVA – ÚLOHA MAZIVA, JEJICH KLASIFIKACE, PŘÍSADY	6
2.1	Úlohy a požadavky na maziva ve strojírenské praxi	6
2.2	Dělení - klasifikace maziv	6
2.2.1	Maziva tuhá (pevná).....	6
2.2.2	Maziva kapalná.....	7
2.2.3	Maziva plastická	7
2.2.4	Maziva plynná.....	8
2.3	Příklady do maziv	8
3	MAZIVA – VLASTNOSTI MAZIV	9
3.1	Funkční vlastnosti maziv	9
3.2	Elektrické vlastnosti maziv	11
3.3	Podmínky vymezující teplotní použití maziv	11
3.4	Životnostní vlastnosti.....	12
3.5	Povrchové vlastnosti	12
3.6	Fyziologické vlastnosti maziv	13
4	EKOLOGICKY ODBOURATELNÁ MAZIVA.....	14
5	OLEJOVÉ MAZACÍ SOUSTAVY	15
5.1	Krátkodobé olejové mazací soustavy	15
5.2	Dlouhodobé olejové mazací soustavy	16
6	MAZACÍ SOUSTAVY S PLASTICKÝM MAZIVEM.....	18
6.1	Ruční mazání	18
6.2	Ruční tlakové mazání	18
7	PRVKY MAZACÍCH SOUSTAV	19
8	PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM	22
9	POUŽITÁ LITERATURA	23



1 MAZIVA A MAZACÍ SOUSTAVY



STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Maziva – úloha maziva, jejich klasifikace, přísady.

Maziva – vlastnosti maziv.

Ekologicky odbouratelná maziva.

Olejoyé mazací soustavy.

Mazací soustavy s plastickým mazivem.

Prvky mazacích soustav.



MOTIVACE:

Úloha maziva je při konstrukci strojů a strojních zařízení velice často podceňována a velice často se zapomíná na fakt, že mazivo je plnohodnotným konstrukčním prvkem strojů. Je potřeba si však uvědomit, že stále platí dobře známé rčení „Kdo maže, ten jede“.

Správně zvolený způsob mazání, tedy správná volba mazacího systému, a samozřejmě také vhodně zvolené mazivo významnou měrou snižují nejen tření a opotřebení, ale také spotřebu energie. To v souhrnu znamená výrazné finanční úspory při provozu a údržbě svěřených strojních celků.



1.1 ÚVOD

Mazivo - hlavním úkolem maziva je zabránit bezprostřednímu styku dvou povrchů při jejich vzájemném pohybu a zmenšit tak tření mezi nimi a také zmenšit opotřebení.

Základní vlastnosti a funkce maziv

O každém použitém mazivu můžeme říci následující:

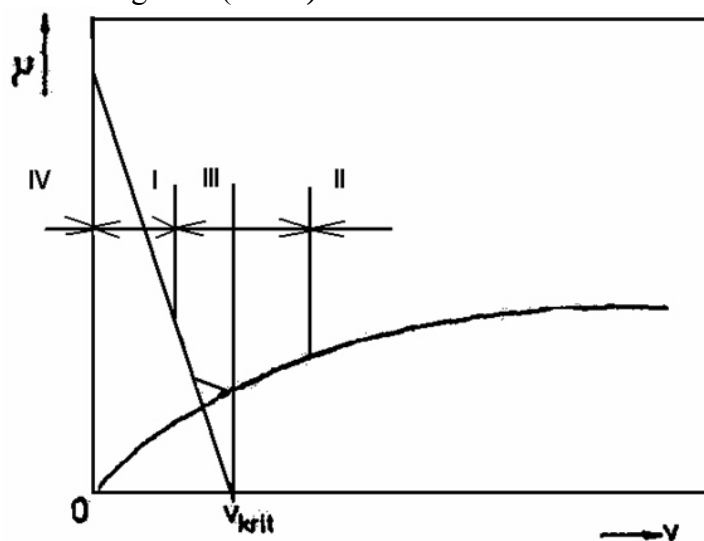
- je aktivním plnohodnotným prvkem tribologického systému,
- jeho cílem je oddělit třecí tělesa,
- jeho vlastnosti vytvářejí strukturu systému,
- jeho vlastnosti ovlivňují velikost mechanických (opotřebení) a energetických ztrát,
- jeho použití tedy zvyšuje životnost tribologického systému.

Rozlišení oblastí mazání

Z pohledu dokonalosti vytvořené mazací vrstvy a použitého maziva rozlišujeme následující oblasti mazání:

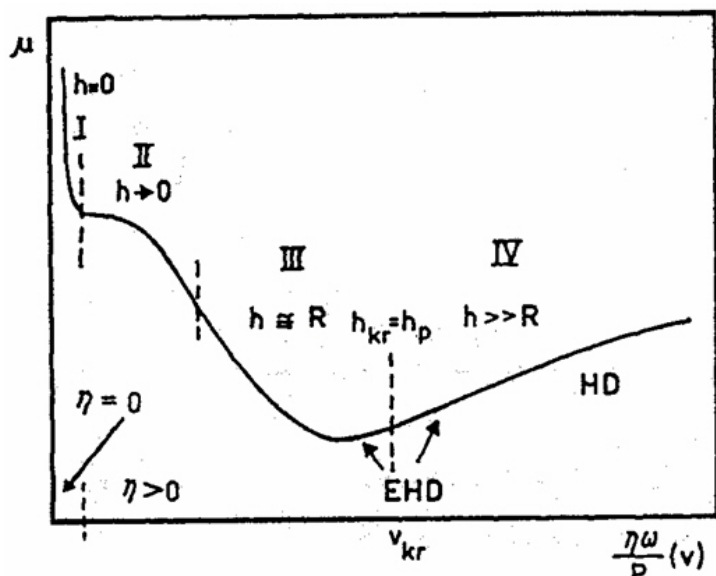
- **I** - mazání s přerušovanou vrstvou kapalného maziva při smíšeném tření,
- **II** - mazání s vytvořenou celistvou vrstvou kapalného maziva při kapalinovém tření,
- **III** - mazání s vrstvou kapalného maziva, jehož vlastnosti se v důsledku místního vysokého zatížení výrazně liší od původních,
- **IV** - mazání tuhými mazivy.

Jednotlivé oblasti mazání je možné znázornit ve Stribeckově diagramu (obr. 1) nebo také v upraveném Stribeckově diagramu (obr. 2).



Obr. 1 Oblasti mazání v Stribeckově diagramu





Obr. 2 Upravený Stribeckův diagram

Legenda: I - suché tření, II - mezní tření, III - smíšen a částeč. EHD-režimu, IV – hydrodynam a elastohydrodynam. tření (mazání),

h - tloušťka mazací vrstvy, R - drsnost povrchu, h_{kr} - tloušťka filmu při kritické rychlosti v_{kr} přechodu ze smíšeného do kapalinového tření.

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

1.2 ZÁKLADNÍ POJMY

- MAZIVA - rozlišují se podle druhů, použití, vlastností a dle schopnosti plnit požadovanou funkci. Jako maziva se používají látky v jakémkoliv skupenství,
- PŘÍSADY DO MAZIV - jsou chemické látky, které svou přítomností zlepšují vlastnosti olejů a plastických maziv s tím, že se jejich druh a množství liší podle způsobu užití maziva,
- EKOLOGICKY ODBOURATELNÉ MAZIVO - podle mezinárodní normy CEC-L-33-T82 je za ekologicky odbouratelné považováno takové mazivo, které se během 21 dnů rozloží za podmínek zkoušky minimálně z 80 %,
- MAZACÍ SOUSTAVA - je souhrnem zařízení určených k dopravě maziva do definovaných mazacích míst.



2 MAZIVA – ÚLOHA MAZIVA, JEJICH KLASIFIKACE, PŘÍSAKY

2.1 ÚLOHY A POŽADAVKY NA MAZIVA VE STROJÍRENSKÉ PRAKTI

Základní funkce, které mazivo jako konstrukční prvek plní, jsou následující:

- snižování tření a opotřebení v místech dotyku dvou těles s vzájemným pohybem,
- zabezpečení odvodu tepla,
- zajištění odvodu nečistot z třecích ploch,
- ochrana třecích ploch před korozi,
- těsnění strojních částí před vnikem nečistot z okolí a další.

Dále je nutné, aby bylo mazivo schopné odolávat vnějším vlivům, jako například:

- mechanickému namáhání,
- teplotnímu namáhání,
- chemickému namáhání,
- kyslíku, vlhkosti,
- účinkům světla, záření a podobně.

Současně se od maziva se požaduje co možná nejnížší biologická aktivnost, malá odparnost, obtížná samozápalnost a řada dalších vlastností.

2.2 DĚLENÍ - KLASIFIKACE MAZIV

2.2.1 Maziva tuhá (pevná)

- mazivo vykazuje vlastnosti pevné látky,
- vhodné pro mazání za extrémních tlaků, teplot, záření a dalších vlivů,
- tuhá maziva dále dělíme:
 - anorganická s vrstevnatou (laminární) strukturou (sulfidy, selenidy, Mo, W, Ti, Nb, grafit, fluorid apod.) nebo jinou strukturou (Sb₂S₃, BiS₃, B₂O₃, PbO, CaF₂, LiF ...),
 - organická - polymerná, polyaromatická, 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, MoS₂, sulfidy apod.)



2.2.2 Maziva kapalná

- mazivo je v kapalném skupenství, což znamená, že má schopnost tečení (reologie - nauka o tečení),
- použití v oblastech hydrostatického, hydrodynamického, elastohydrodynamického, hraničního a smíšeného tření,
- jsou převažujícím typem maziv, přísady jim dávají nové vlastnosti a prodlužují pracovní schopnost,
- rozeznáváme:
 - ropné oleje - získávají se z ropy destilací, rafinací, ale také odparafinováním, převážně uhlovodíkové, se základním rozdělením na rafináty s vysokým, středním a 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, kyselina sírová (mazání chlorových kompresorů), taveniny sodných skel (pro tváření kovů) apod.
- základní dělení olejů: **motorové** nebo **průmyslové**,
- další dělení z pohledu použití:
 - oleje pro spalovací motory vozidel,
 - letecké motorové oleje,
 - převodové oleje,
 - kompresorové oleje,
 - turbinové oleje,
 - oleje válcové,
 - oleje ložiskové (strojní),
 - 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.).

2.2.3 Maziva plastická

- koloidní soustavy, zpravidla gely máslovitého charakteru (neplatné starší označení - mazací tuky),



- složené ze dvou fází:
 - spojitá (disperzní) - olejová složka - ropné a syntetické oleje,
 - dispergovaná - zpevňovadlo - má rozhodující vliv na vlastnosti, používají se:
 - mýdlová zpevňovadla - jednoduchá (Li, Na, Ca, atd.) nebo kombinovaná (Na-K, Na-Li, Ca-Ba, atd.) nebo komplexní,
 - nemýdlová zpevňovadla - anorganická (bentonity, silikogely apod.) nebo organická (polymery, uhlovodíky apod.), kombinace,
 - přidávají se ještě tzv. plnidla, která zlepšují mazivostní a protioděrové vlastnosti.
- rozdělení z pohledu použití:
 - pro valivá ložiska,
 - pro kluzná ložiska,
 - pro ozubená soukolí,
 - pro kluzná vedení,
 - pro mobilní zařízení (automobily).

2.2.4 Maziva plynná

- maziva v plynném skupenství.
- použití v tzv. plynových ložiskách,
- vhodné pro vysoké obvodové rychlosti ($10\,000 - 600\,000\text{ min}^{-1}$) a teploty 300 °C a více,
- výhody: malá viskozita, která se s teplotou zvyšuje, nízký součinitel tření, nepatrné třecí teplo, vsudypřítomnost maziva, neexistuje kavitace apod.,
- nevýhody: menší schopnost snášet zatížení, sklon k nestabilitě a turbulenci, sklon k vysokému frekvenčnímu chvění, sklon k bezprostřednímu styku povrchů,
- podmínky použití: velmi přesná montáž, těsnost mechanismů, hladké třecí plochy,
- užívané plyny: vzduch (do 650 °C), CO_2 (do 650 °C), helium a dusík (800 °C a více), H_2 , metan, vodní pára a další.

2.3 PŘÍSAKY DO MAZIV

Základní úlohou přísad (aditiv) přidávaných do maziv je zlepšit konkrétní vlastnosti v určité oblasti podle specifik použití. Přísady vlastně zlepšují vlastnosti základových olejů, které tvoří podstatnou část všech maziv.

Mezi základní, dnes běžně používané přísady, patří:



- antioxidanty - potlačování oxidačních dějů,
- detergenty a disperzanty - čistidla ploch od usazenin a rozptýlení nečistot,
- protikorozní 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.

3 MAZIVA – VLASTNOSTI MAZIV

Jelikož významným vlastnostem maziv a jejich zkoušení bude vyhrazena samostatná přednáška s názvem Tribodiagnostika maziv a strojních součástí, omezíme se v této části pouze na prostý výčet jejich základních vlastností.

3.1 FUNKČNÍ VLASTNOSTI MAZIV

- a) **Hustota (měrná hmotnost)** - je hmotnost objemové jednotky látky při dané teplotě (u plynů ještě závisí na tlaku)

$$\rho_t = \frac{m}{V} \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$$

Relativní hustota - poměr hustoty dané látky k hustotě srovnávané látky při teplotách t_1 a t_2 .

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

Poznámka:

Hustota kapalných maziv se mění s teplotou a tlakem!

- b) **Reologické vlastnosti**

Reologie se zabývá tokovými vlastnostmi látek v oblasti mezi tuhým a kapalným skupenstvím. Podle vztahu mezi smykovým napětím (τ) a smykovým spádem (D) hovoříme obecně v případě maziv o **Newtonských tekutinách**.

Dynamická viskozita (koeficient vnitřního tření) - podle Newtona platí pro pohyb tekutiny s laminárním tokem, že smykové napětí (τ) v rovině (x, y) - paralelní s laminárním tokem je přímo úměrné gradientu rychlosti d_u/d_y , tedy smykovém spádu (D).

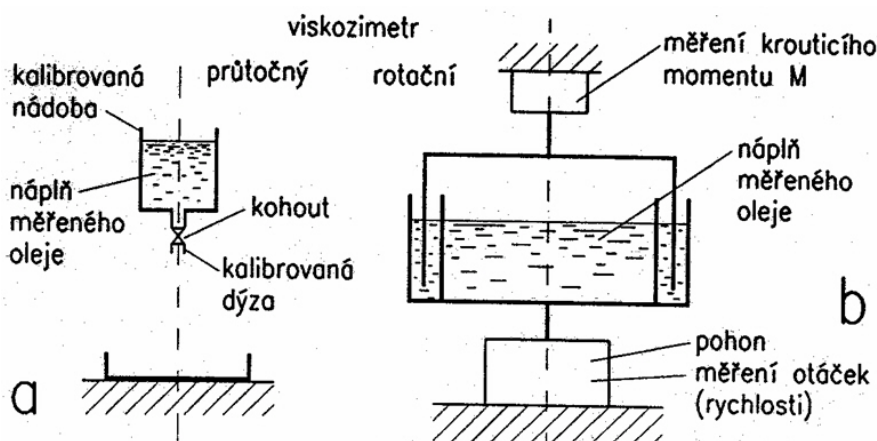


$$\tau = \eta \cdot \frac{d_u}{d_y} = \eta \cdot D \text{ [Pa]}$$

kde: τ ... dynamická viskozita [Pa.s] = [kg.s⁻¹.m]

Kinematická viskozita - definuje poměr dynamické viskozity η a hustoty ρ při dané teplotě.

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



Obr. 3 Průtočný a rotační viskozimetr

Změna viskozity s teplotou - viskozitní index (VI) - je to 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.

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

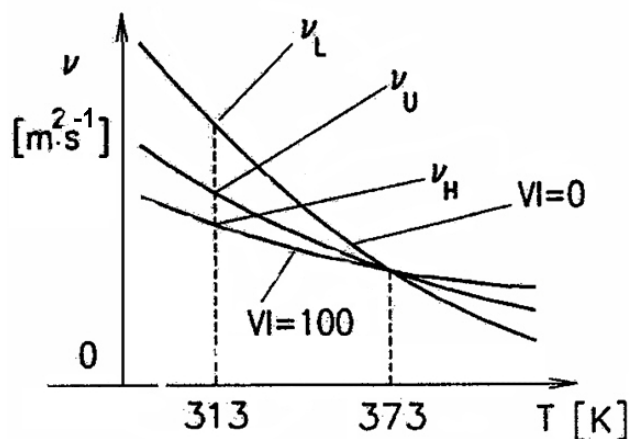
Poznámka:

U kapalin dynamická i kinematická viskozita s teplotou klesá.

Na grafu má olej s větším VI plošší křivku, tzn., vykazuje menší změny při změnách teploty.

Změna viskozity s tlakem - u kapalných a plastických maziv s tlakem vzrůstá, s výjimkou vody.





Obr. 4 Viskozitní index (VI)

c) Stlačitelnost kapalných maziv

- vlastnost významná u hydraulických systémů → malá stlačitelnost = velká účinnost servosystémů,
- těžkostlačitelné mazivo se nedá také vytlačit z povrchu ložiskových ploch → zamezení styku kov na kov,
- obecně se požaduje velký modul objemové pružnosti (malá stlačitelnost), výjimku tvoří kapaliny pro tlumiče.

d) Tepelná vodivost a měrné teplo

- schopnost vedení tepla vyjadřována měrnou tepelnou vodivostí,
- kapalných maziv velmi malá, stoupá s klesající hustotou, klesá se vzrůstající teplotou,
- u plynů totéž, u tuhých maziv mnohonásobně vyšší.

3.2 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI MAZIV

a) Elektrická vodivost

- čisté, neaditované uhlovodíkové oleje jsou špatnými vodiči elektřiny,
- vodivost stoupá s obsahem látek, které jsou schopny disociovat elektrolytické ionty.

b) Permitivita

- dielektrická propustnost látky.

3.3 PODMÍNKY VYMEZUJÍCÍ TEPLOTNÍ POUŽITÍ MAZIV

a) Bod zákalu a bod tuhnutí kapalných maziv - při ochlazování dochází ke změně kapalně fáze v tuhouní ve dvou stádiích:

- **bod zákalu** (krystalizace) - z oleje se začínají vylučovat krystaly tuhé fáze,



- **bod tuhnutí** (zeskelnatění) - přechod do tuhé fáze.

b) Bod varu, tlak par, odparnost, bod vzplanutí a hoření kapalných maziv

- **bod varu, tlak par** - jsou spojeny s výrobou oleje - rafinací a chemickou filtrací - ovlivňují destilační hranici,
- **odparnost** - významná z pohledu určení velikosti ztrát oleje,
- **hořlavost** - třídí kapaliny z hlediska nebezpečí vzniku požáru (třídy hořlavosti),
- **bod vzplanutí** - teplota, při níž se v otevřené nebo uzavřené nádobě nahromadí tolik par, že se při přiblížení plamene vznítí,
- **bod hoření** - teplota, při které se nahromaděné páry při přiblížení plamene vznítí a trvale hoří.

c) Bod skápnutí, mez pevnosti plastických maziv

- **bod skápnutí** - teplota, při které se z plastického maziva oddělí první kapka oleje,
- **mez pevnosti** - mez, při které se začíná plastické mazivo ztekucovat (pokles této hodnoty na nulu znamená při určitém smykovém spádu dosažení - meze tekutosti).

3.4 ŽIVOTNOSTNÍ VLASTNOSTI

- a) **Odolnost proti oxidaci** - schopnost kapalných a plastických maziv odolávat stárnutí jejich složek vlivem působení vzdušného kyslíku. Rozsah a rychlost změn je dána chemickým složením a zejména pracovní teplotou (termooxidační stálost maziv za tepla).
- b) **Účinek energií** - rozlišujeme důsledky:
- vlivu tepelné energie,
 - účinku světla,
 - účinku záření,
 - účinku elektrických výbojů.

3.5 POVRCHOVÉ VLASTNOSTI

- a) **Pěnění olejů** - je nežádoucí jev, který se projevuje zmenšením pevnosti mazací vrstvy, zvětšením náchylnosti ke stárnutí, poklesem viskozity apod.,
- b) **Maznost** - pevnost a přilnavost mezní vrstvy maziva, resp. schopnost snižovat tření a opotřebení,
- c) **Rozprašování olejů** - zmenšením povrchového napětí se zmenšují částičky, což usnadní přístup na třecí místa, tzn., musí být optimum, aby částičky nebyly unášeny do okolí, naopak důležité pro mazání tzv. olejovou mlhou,



- d) **Tvorba emulzí** - je nutné tam, kde mimo mazání se vyžaduje i chladicí schopnost (třískové obrábění kovů, válcování apod.), jinak jev nežádoucí, neboť dochází k zanášení mazacích systémů, zejména hydraulických a řídících,
- e) **Rozpouštěcí schopnost kapalných maziv** - rozpouštění nečistot, ne ochranných vrstev (např. nátěrů) nebo dokonce těsnění,
- f) **Čistící a rozptylovací schopnost olejů** - nutná pro zajištění čistoty třecích ploch od usazenin a zadíracích nečistot (tzv. detergence) a jejich rozptýlení (tzv. disperze),
- g) **Ochranná schopnost maziv** - ochrana mazaných ploch zejména před účinky koroze.

3.6 FYZIOLOGICKÉ VLASTNOSTI MAZIV

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



4 EKOLOGICKY ODBOURATELNÁ MAZIVA

Ekologicky odbouratelná maziva se používají všude tam, kde hrozí:

- proniknutí maziva do potravinového řetězce,
- ohrožení přírody - například práce zemních strojů, provádění vrtů, ale také tam, kde se využívá tzv. ztrátové mazání (řetězy pil, ruční nářadí, vodní turbíny apod.).

Charakteristické rysy ekologicky odbouratelných maziv:

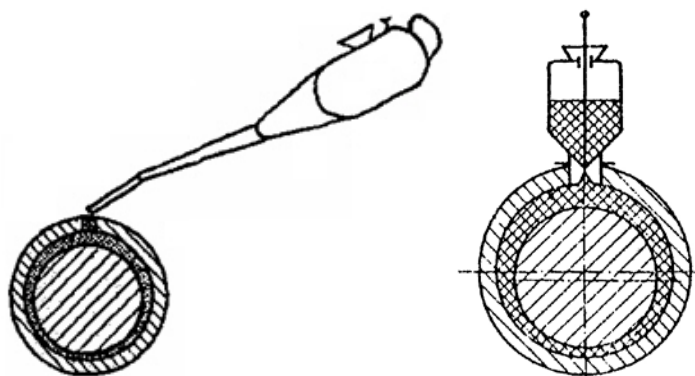
- jsou vytvořeny na bázi rostlinných olejů, u nás především řepkového,
- již během zpracování či likvidace musí ovlivňovat přírodní rovnováhu ve vodě, vzduchu a zemi co nejméně,
- zkouška biologické odbouratelnosti - oleje a z nich odvozené produkty se rozloží za 21 dnů při podmínkách zkoušky z více než 90 % (skutečnost často i více než 97 %).



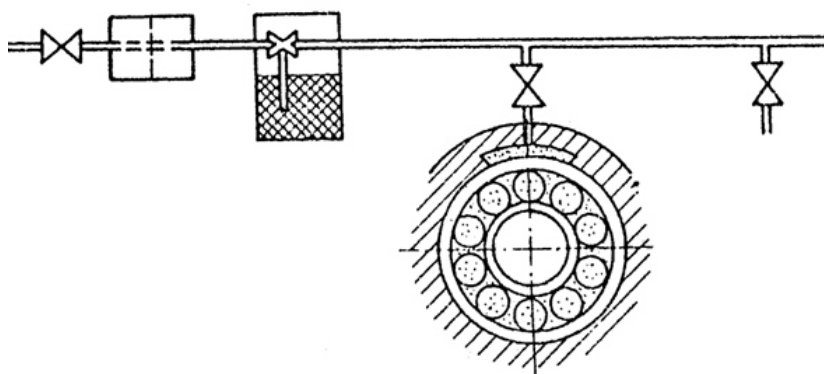
5 OLEJOVÉ MAZACÍ SOUSTAVY

5.1 KRÁTKODOBÉ OLEJOVÉ MAZACÍ SOUSTAVY

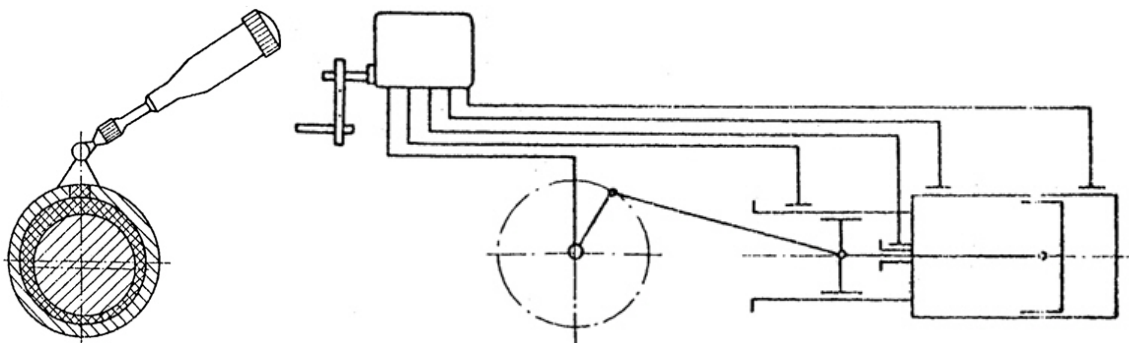
- použitelné pro případy nenáročného mazání (nízké tlaky a malé rychlosti),
- vhodné pro přerušovaný nebo občasný chod mazacích součástí,
- zpravidla nevyžaduje mazací oleje s velkou trvanlivostí, proto se pro krátkodobé soustavy užívají levné oleje, např. tmavé nebo přefiltrované.
- používané systémy:
 - **ventilová olejníčka nebo stříkací a mazací stříkačka,**
 - **systém kapacího mazání** (po kapkách) - jednotlivými maznicemi nebo centrálně,
 - **mazání olejovou mlhou** - plynulé nepřetržité mazání (jemné kapičky, stlačený vzduch) - jednotlivé nebo centrální,
 - **ruční tlakové mazání** - nejjednodušší způsob tlakového přerušovaného mazání,
 - **mechanické tlakové mazání** - nepřerušované mazání pomocí mazacího přístroje s tlakovým čerpadlem (zpravidla pístovým) a mechanickým pohonem - jednotlivé nebo centrální.



Obr. 5 Mazání olejníčkou a kapací mazání



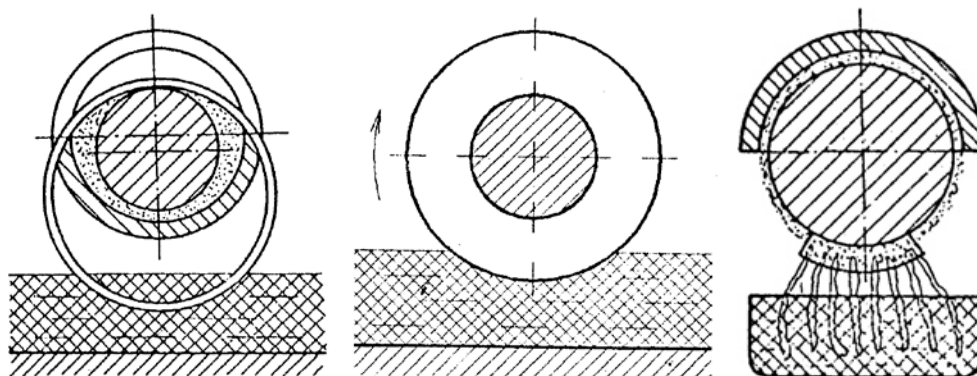
Obr. 6 Mazací systém s olejovou mlhou



Obr. 7 Ruční a mechanické tlakové mazání

5.2 DLOUHODOBÉ OLEJOVÉ MAZACÍ SOUSTAVY

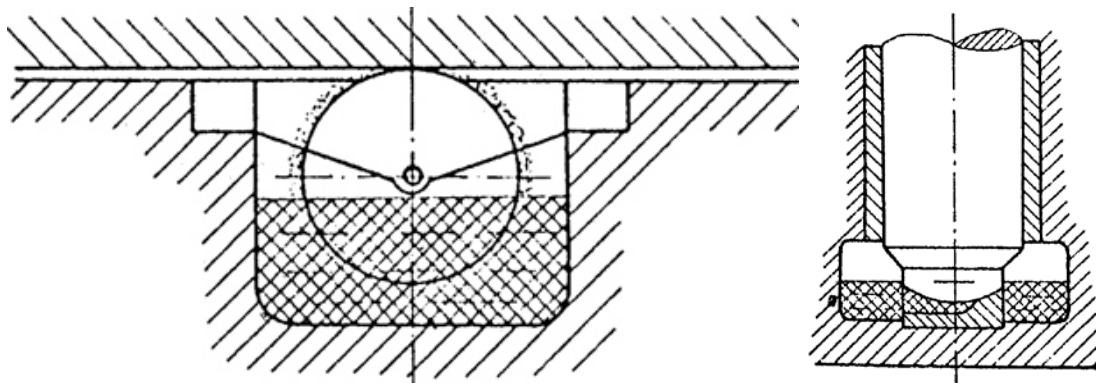
- mazací olej se po průchodu mazacím místem po určité době do tohoto místa vrátí,
- olej je využíván nepřetržitě až do vyčerpání jeho životnosti,
- jedná se o velmi hospodárny způsob mazání z hlediska spotřeby oleje,
- předpokladem použití je těsnost systému a trvanlivost oleje.
- používané systémy:
 - **kroužkové mazání** - nepřímé smáčení kluzných ploch - volný nebo pevný kroužek,
 - **polštářové mazání** - nepřímé smáčení kluzných ploch - olej vztlíná do zásobníku v ložiskovém tělese bavlňnými knoty,



Obr. 8 Mazání volným a pevným kroužkem, polštářové mazání

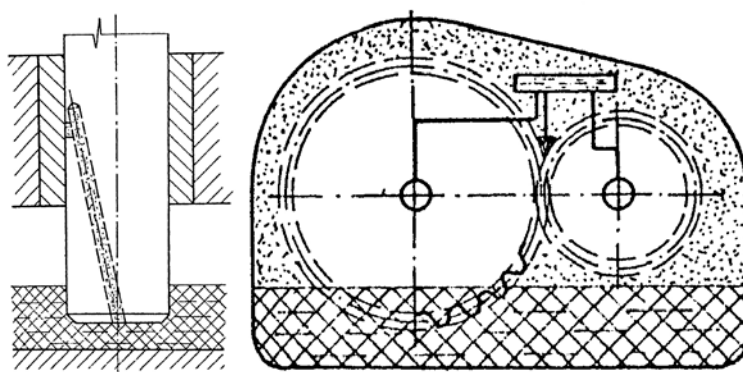
- **kotoučové mazání** - pro mazání vodorovných kluzných vedení - kotouče otočně uloženy v olejové jímce a pružinou přitlačovány na smýkadlo - saně stolu,
- **brodicí mazání** - součásti jsou přímo smáčeny v olejové lázni - pro mazání jednotlivých strojních částí (např. axiální kluzná ložiska, valivá ložiska, pomaluběžné ozubené převody apod.),





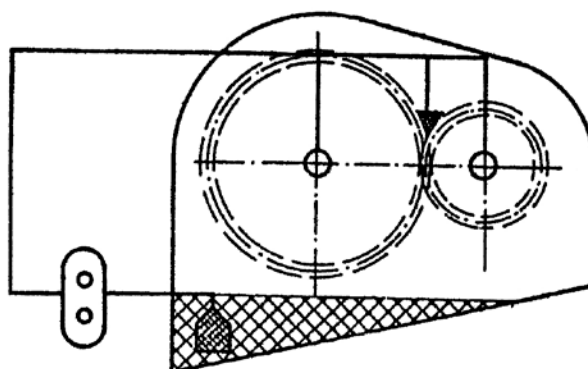
Obr. 9 Kotoučové a brodicí mazání

- **odstředivé mazání** - k dopravě oleje využito odstředivé síly - vysoké obvodové rychlosti,
- **rozstříkové mazání** - beztlakové centrální mazání - pro mazání strojových částí uzavřených ve společné skříni - rozstřík oleje zajišťuje mazaná nebo pomocná součást stroje - mazací olej je značně namáhán,



Obr. 10 Odstředivé a rozstříkové mazání

- **oběhové mazání** - nejdokonalejší, ale také nejsložitější a nejnákladnější - obsahuje většinou nádrž na olej ve skříni stroje, olejové čerpadlo s potřebným potrubím (sacím a výtlačným), někdy olejové filtry, speciální rozváděcí potrubí, kontrolní přístroje a olejový chladič - je velmi hospodárné, ale náročné na kvalitu mazacího oleje, který je soustavně mechanicky a chemicky namáhán a relativně rychle stárne.



Obr. 11 Oběhové mazání

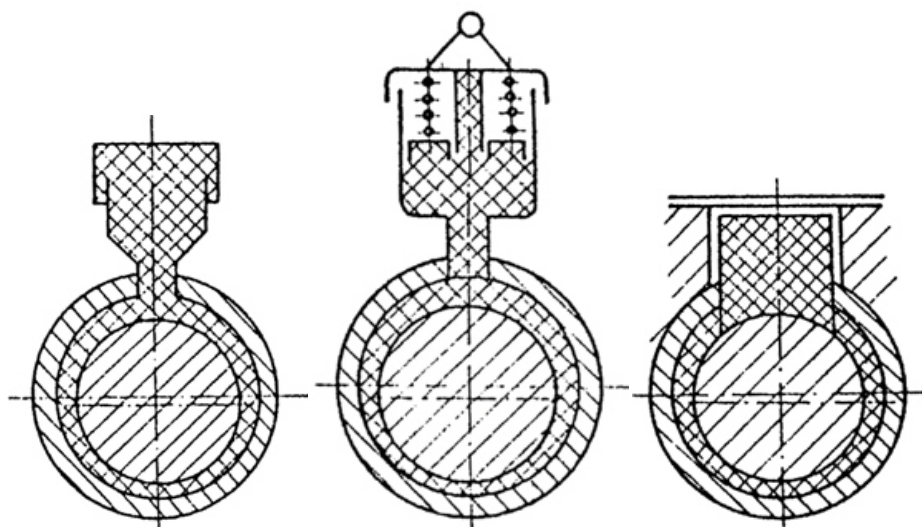


6 MAZACÍ SOUSTAVY S PLASTICKÝM MAZIVEM

- provádí téměř výhradně jako mazání krátkodobé,
- mazivo se nemůže čistit, tudíž nemožnost sběru a opětovného použití,
- výhodou je menší spotřeba maziva oproti oleji,
- má dotěšňovací účinek.

6.1 RUČNÍ MAZÁNÍ

- používané systémy:
 - **mazání ruční stěrkou** - nejjednodušší způsob - přerušované mazání pro nenáročné pracovní podmínky, prováděné po dlouhých intervalech - velmi nedokonalé, proto málo používané,
 - **mazání Staufferovou maznicí** - nejznámější ruční způsob přerušovaného mazání - mazivo je ve víčku maznice (kloboučku) - nutná čistota při doplňování maznice - použití u kluzných ložisek s malými měrnými tlaky a rychlostmi,
 - **samočinné mazání** - nepřerušované krátkodobé mazání jednotlivých strojních součástí - doprava maziva z maznice pod mírným tlakem (pružina nebo odstředivá síla na píst),
 - **komorové mazání** - plynulé (nepřetržité) krátkodobé mazání – do komory vytvořené v horní části ložiska se vkládá mazivo s vysokou konzistencí ve tvaru cihly, která se opírá o rotující čep.



Obr. 12 Mazání Staufferovou maznicí, samočinné a komorové mazání

6.2 RUČNÍ TLAKOVÉ MAZÁNÍ

- provádí se pomocí ručních nebo nožních mazacích lisů - mazivo nesmí být příliš konzistentní, aby se dobře protlačovalo do vzdálených mazacích míst.



7 PRVKY MAZACÍCH SOUSTAV

Mezi mazací zařízení dlouhodobých mazacích soustav patří:

a) mazací přístroje

- vytváří tlak, nazývají se také čerpadla,
- bývají vždy pístová,
- náplň nádoby může být olej nebo plastické mazivo.

b) rozdělovače a dávkovače

- umožňují hydraulické oddělení hlavních a vedlejších potrubí,
- dodávají určené množství maziva v časovém intervalu,
- jsou pístového provedení.

c) olejová nádrž, která je určena:

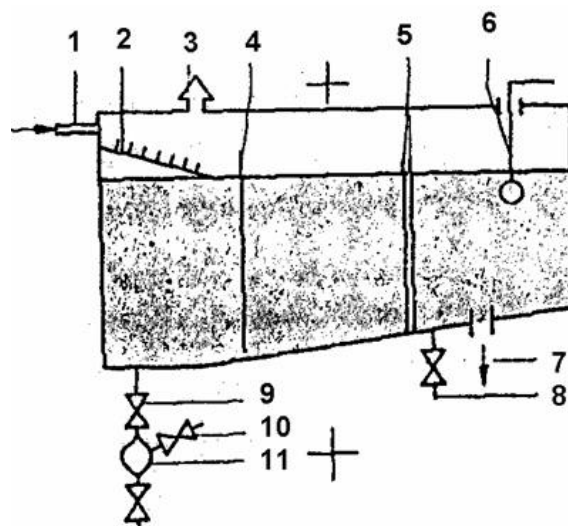
- k zachycení oleje v celém systému,
- k temperování,
- k odvodňování,
- k odplynování atd.,
- nádrže musí být všestranně přístupné a kontrolovatelné,
- velikost nádrže volit tak, aby se náplň nádrže obměňovala max. 10÷12x za hodinu:

$$i = \frac{V}{V_n}$$

kde: i - oběhové číslo, V - objemový průtok, V_n - objem nádrže

- velikost oběhového čísla možno zvolit (např. mazání ložisek motorů $i = 6$, mazání převodů $i = 4$, hydraul. zařízení $i = 15÷60$).



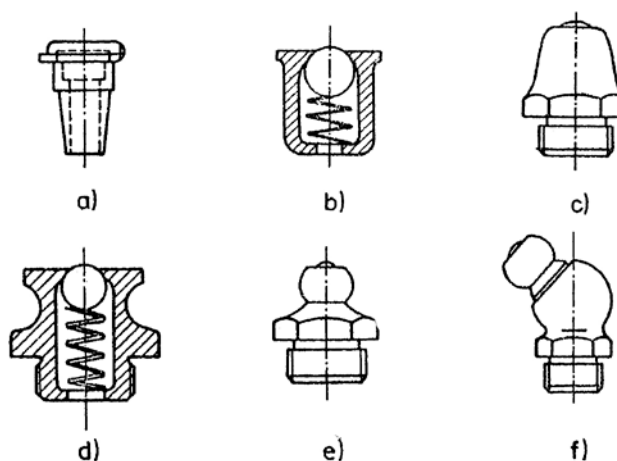


Obr. 13 Schéma nádoby na olej

Legenda: 1 - zpětný tok oleje, 2 - vodící plech s rozrušovači bublinek, 3 – odvzd. kryt, 4 - vratná stěna, 5 - vytahovatelné dvojité 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

d) uzávěry mazacích otvorů

- brání vnikání nečistot do mazacích míst při ručním mazání,
- vyžaduje se jednoduchost provedení a odolnost proti poškození,
- nutností je možnost samočinného uzavírání.



Obr. 14 Uzávěry mazacích otvorů

e) další mazací zařízení

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



f) mazání s plastickým mazivem

- nejrozšířenější mazací přístroje se zásobníkem,
- mazivo vháněno do čerpacího a rozváděcího ústrojí prostřednictvím stěrače a šneku, pohon přístroje šnekem přímo od elektromotoru.

g) přístroje pro skupinové mazání

- s jedním vysokotlakým mazacím přístrojem - provozní tlak je zde 15 MPa, možnost obsluhovat až 150 mazacích míst najednou.



8 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Maziva - klasifikace, přísady, použití, ekologicky odbouratelná maziva, vlastnosti maziv.
- Mazací soustavy a zařízení - rozdělení, volba, konstrukční prvky, centrální mazací systémy.



9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Šťáva, Pavel a Pavlok, Bohuslav. *Mazací technika*. 1. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. 72 s. ISBN 80-248-1000-X
- [2] Třebický, Vladimír a Kotlánová, Alice. *Klasifikace a zkoušení maziv*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 20 s. Chemie, chemické strojírenství a potraviny. ISBN 80-7283-222-0
- [3] Helebrant, František, Ziegler, Jiří a Marasová, Daniela. *Technická diagnostika a spolehlivost. I., Tribodiagnostika*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. 155 s. ISBN 80-7078-883-6
- [4] Šafr, Emil. *Tribotechnika*. Praha: Redakce báňské a strojírenské literatury, SNTL - Nakladatelství technické literatury. Knižní výroba, Brno, 1984. 300 s. 04-244-84
- [5] Šafr, Emil. *Technika mazání*. 2. doplněné vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1970. 381 s. Řada teoretické lit.
- [6] Štěpina, Václav a Veselý, Václav. *Maziva v tribologii: vysokoškolská příručka pre vysoké školy technické*. 1. vydání. Bratislava: Veda, 1985. 406 s.
- [7] Spalek, Jacek. *Problemy inżynierii smarowania maszyn w górnictwie: monografia*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Zakład Graficzny Politechniki Śląskiej w Gliwicach, 2003. 109 s. ISBN 83-7335-225-2
- [8] Szczerek, Marian. *Metodologiczne problemy systematyzacji eksperymentalnych badań tribologicznych*. Radom: Institut Technologii Eksploatacji. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Institutu Technologii Eksploatacji, 1997. 245 s. ISBN 83-87039-42-X
- [9] Szczerek, Marian a Wiśniewski, Marek. *Tribologia i Tribotechnika*. Radom: Polskie Towarzystwo Tribologiczne, Institut Technologii Eksploatacji, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Mechaników Polskich. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Institutu Technologii Eksploatacji, 2000. 727 s. ISBN 83-7204-199-7



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ

Tribodiagnostika kapalných maziv a strojních součástí

doc. Ing. Helebrant František, CSc.

Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D.

Ing. Blata Jan, Ph.D.

Ostrava 2013

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

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3028-5



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

OBSAH

1	TRIBODIAGNOSTIKA KAPALNÝCH MAZIV A STROJNÍCH SOUČÁSTÍ....	4
1.1	Úvod	5
1.2	Základní pojmy	5
2	TRIBODIAGNOSTIKA – ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ METOD	6
2.1	Rozdělení metod tribodiagnostiky.....	6
2.1.1	Sledování degradace samotného maziva (standardní zkoušky pro přesné stanovení kvality maziv).....	6
2.1.2	Sledování stavu opotřebení strojních zařízení (speciální metody pro celkovou diagnostiku maziv a strojního zařízení).....	6
2.1.3	Odběr vzorků	7
3	TRIBODIAGNOSTIKA - METODY HODNOCENÍ FYZIKÁLNĚ CHEMICKÝCH PARAMETRŮ KAPALNÝCH MAZIV.....	8
3.1	Kinematická viskozita	8
3.2	Bod vzplanutí.....	9
3.3	Obsah vody	11
3.4	Číslo alkality a kyselosti	12
3.5	Conradsonův karbonizační zbytek.....	13
3.6	Stanovení popela	14
3.7	Celkové znečištění	14
3.8	Spektrální analýza	18
4	TRIBODIAGNOSTIKA – METODY ZJIŠŤOVÁNÍ STAVU OPOTŘEBENÍ STROJNÍCH ZAŘÍZENÍ	20
4.1	Atomová spektrofotometrie	20
4.1.1	Atomová emisní spektrofotometrie (AES)	21
4.1.2	Atomová absorpční spektrofotometrie (AAS)	21
4.2	Polarografie	22
4.3	Voltametrie	22
4.4	Metoda RAMO (rychlá analýza motorových olejů)	22
4.5	Částicová analýza - ferografie.....	23
5	TRIBODIAGNOSTIKA – METODY HODNOCENÍ PLASTICKÝCH MAZIV	25
5.1	Základní vlastnosti plastického maziva	25
5.2	Hodnocení plastických maziv.....	26
5.2.1	Penetrace	26



	5.2.2	Teplota odkápnutí	27
	5.2.3	Mez pevnosti	27
	5.2.4	Dělení plastických maziv podle stálosti	27
6		PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM	29
7		DOPLŇUJÍCÍ ZDROJE – KNIHY, INTERNET,	30
8		POUŽITÁ LITERATURA	31



1 TRIBODIAGNOSTIKA KAPALNÝCH MAZIV A STROJNÍCH SOUČÁSTÍ



STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Tribodiagnostika – její poslání, hlavní úkoly, základní rozdělení metod.

Tribodiagnostika - metody hodnocení fyzikálně chemických parametrů kapalných maziv.

Tribodiagnostika – metody zjišťování stavu opotřebení strojních zařízení.

Tribodiagnostika – metody hodnocení plastických maziv.



MOTIVACE:

Správná volba mazacího systému a také maziva tak, aby tyto odpovídaly podmínkám provozu konkrétního strojního zařízení nejsou samy o sobě ještě zárukou spolehlivého provozu daného strojního zařízení.

Je více než vhodné zejména při použití kapalných maziv využít možností, které nám dává tribotechnická diagnostika. Tato nám může zprostředkovat informace nejen o stavu samotného maziva (oleje), ale také o procesech tření a opotřebení, které probíhají v samotném strojním celku. Vyhodnocením složení, množství a velikosti nečistot, stejně jako jejich tvaru, jsme schopni s dostatečnou přesností prognózovat další vývoj v provozu sledovaného strojního zařízení.



1.1 ÚVOD

Tribotechnická diagnostika - Tribodiagnostika (TTD) - je jednou z metod technické bezdemontážní diagnostiky, která využívá maziva ke zjištění technického stavu sledovaného objektu a současně zjišťuje kvalitu vlastního maziva.

Mazivo jako medium nesoucí informaci

Maziva slouží jako média pro získání informací o dějích a mechanických změnách v technických systémech, u nichž jsou aplikována.

Poslání tribotechnické diagnostiky

Posláním TTD je zjišťovat, vyhodnocovat a oznamovat výskyt cizích látek v mazivu, a to z hlediska kvantitativního a kvalitativního. Vhodná interpretace výsledků z provedených zkoušek umožňuje nejen včasné upozornit na příznaky vznikající poruchy, ale mnohdy umožní také lokalizaci místa vzniku mechanické závady.

Hlavní úkoly tribodiagnostiky

- sledování degradace samotného maziva
 - dovoluje určit životnost maziva zjištěním stupně jeho znehodnocení,
 - provádí se měřením a vyhodnocením parametrů maziva jako např. viskozita, kyselost, bod vzplanutí, obsah nečistot, atd.,
 - na základě stanovení životnosti maziv je možné stanovit optimální intervaly jejich výměny,
- sledování stavu opotřebení strojních zařízení
 - provádí na základě stanovení obsahu otěrových kovů v mazivu (důležitý je hlavně trend naměřených hodnot),
 - obraz o druhu opotřebení a technickém stavu jednotlivých třecích uzlů získáme odborným vyhodnocením množství, velikosti a tvaru otěrových částic.

1.2 ZÁKLADNÍ POJMY

- TRIBODIAGNOSTIKA - na základě vyhodnocení stavu maziva sleduje procesy tření dvojic strojních součástí při jejich vzájemném pohybu za účelem zjištění jejich provozního režimu a technického stavu.



2 TRIBODIAGNOSTIKA – ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ METOD

2.1 ROZDĚLENÍ METOD TRIBODIAGNOSTIKY

2.1.1 Sledování degradace samotného maziva (standardní zkoušky pro přesné stanovení kvality maziv)

Jedná se o hodnocení fyzikálně chemických parametrů maziva aplikací:

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

2.1.2 Sledování stavu opotřebení strojních zařízení (speciální metody pro celkovou diagnostiku maziv a strojního zařízení)

Jedná se o následující metody:

- **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).



2.1.3 Odběr vzorků

Hlavní zásady pro odběr vzorků:

- vzorek musí představovat průměrné složení maziva v zařízení,
- vzorky by měla odebírat jedna osoba (nebo musí být vypracován přesný pracovní postup a jednotná metodika - např. ČSN 65 6207 - odběr vzorků hydraulických kapalin),
- zařízení musí být minimálně 20 minut v provozu z důvodu dokonalého promíchání a ohřátí oleje na provozní teplotu,
- odpustíme cca 500 ml oleje do čisté nádoby a nalijeme zpět do zařízení,
- po propláchnutí odběrných zařízení provedeme odběr cca 200÷250 ml oleje,
- vzorky odebírají do čistých vzorkovnic o obsahu 300 ml,
- odebraný vzorek se označí a předá k rozboru,
- popis musí být přesný a čitelný, zejména musí obsahovat:
 - číslo a název stroje,
 - mazané místo,
 - druh maziva,
 - datum odběru,
 - kdo odebral,
 - označení požadovaných rozborů,
- způsobu hodnocení rozhoduje tribotechnik, který je zodpovědný za vedení diagnostiky a mazacích služeb.



3 TRIBODIAGNOSTIKA - METODY HODNOCENÍ FYZIKÁLNĚ CHEMICKÝCH PARAMETRŮ KAPALNÝCH MAZIV

Základní oblasti použití:

- stanovení jakosti čistých maziv při vstupní kontrole,
- zjištění stavu upotřebeného maziva během provozu, vzhledem k jeho další použitelnosti,
- zkoumá vhodné soubory ukazatelů ke sledování nejdůležitějších fyzikálně-chemických vlastností olejů podle oblasti jejich použití,
- umožňuje hospodárnější využití maziva díky jeho výměnám dle skutečného stavu.

Stárnutí (degradace) oleje:

- je běžným jevem a vzniká v důsledku reakce se vzdušným kyslíkem,
- rozsah a rychlost změn závisí na:
 - chemickém složení maziva,
 - na teplotě (je vždy aktivačním činitelem při oxidačních reakcích),
 - na přítomnosti látek urychlujících nebo naopak zpomalujících oxidační reakce...

3.1 KINEMATICKÁ VISKOZITA

Je rozhodující vlastností maziva v oblasti hydrodynamického tření a je proto hlavním zkušebním údajem mazacích olejů a základem pro jejich třídění a výběr.

Změny viskozity:

- zvyšování - způsobeno meziprodukty oxidační povahy, produkty částečné oxidace oleje, vytvářením emulze s vodou, případně znečišťováním kondenzačními produkty,
- pokles - způsobeno především tepelnou a mechanickou degradací aditiv, popřípadě záměnou olejů, u motorových olejů vniknutím paliva do mazacího systému.

Projevy změny viskozity:

- viskozita nízká:
 - dochází k meznímu až suchému tření,
 - důsledkem je nadměrné opotřebení,
 - extrémním stavem je zadření třecích ploch,
- viskozita vysoká:
 - způsobuje ztráty energie velkým koeficientem tření.



Poznámka:

U průmyslových olejů je charakteristická závislost jejich viskozity na teplotě. Změna teploty o 1°C znamená změnu viskozity až o 5 %.

Metody stanovení (kinematické) viskozity:

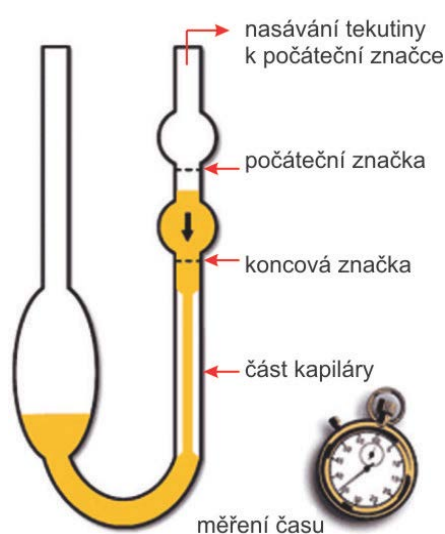
- **kapilární viskozimetry** (dle ČSN 65 6216)
 - měření doby průtoku daného objemu zkoušené kapaliny kapilárním skleněným viskozimetrem (nejčastěji viskozimetr typu Ubbelohde),
 - výsledkem je kinematická viskozita při teplotě zkoušky,

$$\nu = C \cdot \tau$$

kde: c konstanta viskozimetru,

τ aritmetický průměr doby průtoku viskozimetrem,

- **průtokové viskozimetry**
 - výpočet viskozity z výtokové rychlosti kapaliny (kapilární průtokový dle Kösslera)
- **viskozimetr s padající kuličkou**
- **rotační viskozimetry**



Obr. 1 Viskozimetr Ubbelohde a měření viskozity

3.2 BOD VZPLANUTÍ

Je důležitým jakostním i bezpečnostním ukazatelem mnoha druhů čistých maziv, u upotřebených olejů pak pokles hodnot slouží ke stanovení přibližného obsahu zředujících a hořlavých látek.

Definice: 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.



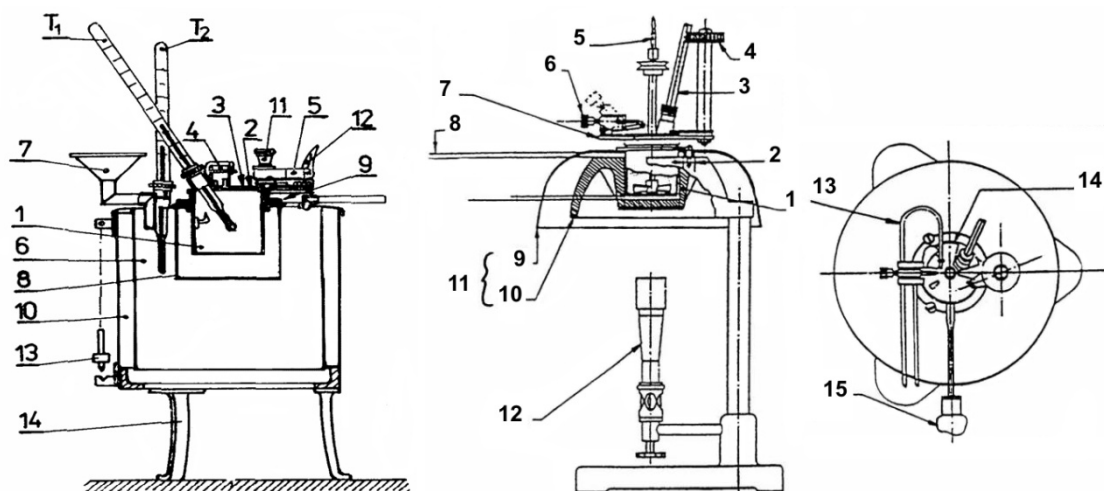
Zkouška se provádí v kelímku na místě, které je chráněno od průvanu a je dostatečně tmavé, aby bod vzplanutí byl dobře viditelný. Měrnou jednotkou je stupeň celsia [°C].

Poznámka:

U motorových olejů je bod vzplanutí v rozmezí $190 \div 235$ °C.

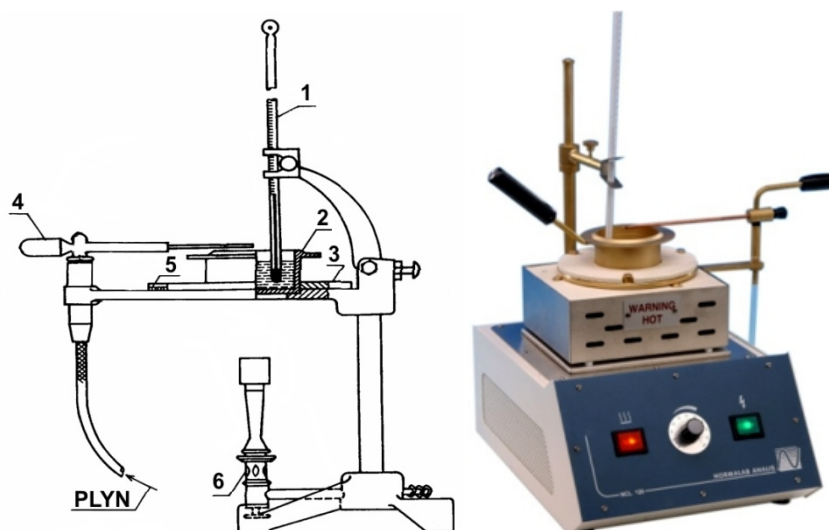
Metody stanovení bodu vzplanutí:

- uzavřený kelímek
 - podle Abela-Penskyho - ČSN 65 6065 (pro bod vzplanutí $-30 \div +65$ °C),
 - podle Penskyho-Martense - ČSN EN 22719 (pro bod vzplanutí >65 °C),



Obr. 2 Bod vzplanutí v uzavřeném kelímku - Abel-Pensky a Pensky-Martens

- otevřený kelímek
 - podle Clevelanda - ČSN 65 6212,
 - podle Markussona - ČSN 65 6244 (pro bod vzplanutí >50 °C)



Obr. 3 Bod vzplanutí v otevřeném kelímku podle Clevelanda



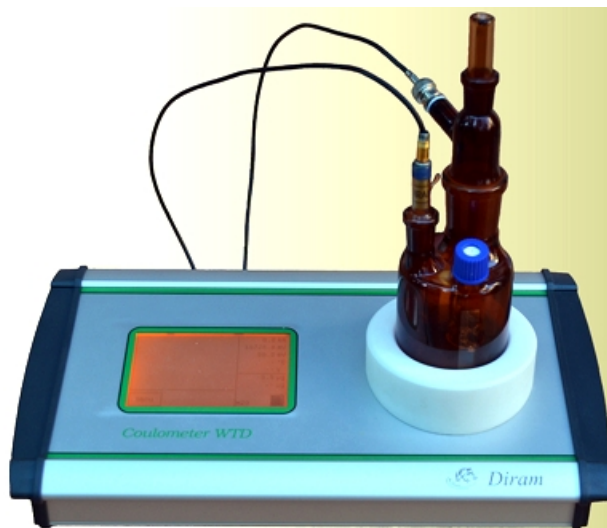
3.3 OBSAH VODY

- voda nebo vlhkost znehodnocují kvalitu maziva.
- výskytu stopového množství kondenzující vody většinou nelze zabránit a bývá v oleji často přítomna.
- obecně se v mazacím oleji povoluje maximálně 0,2% hmotnostního obsahu vody.
- projevy přítomnosti vody v oleji:
 - koroze součástí,
 - vypadávání aditivů,
 - pění,
 - tvorba emulze a kalů,
 - zvyšování viskozity,
 - snižování oxidační stability.

Metody stanovení obsahu vody:

- **kvalitativní**
 - **vizuální posouzení** - vizuálním posouzení dokonale protřepaného vzorku - je-li obsažena voda, dojde k zakalení oleje, u vzorků bez vody je olej čirý - nutné dostatečné zkušenosti pracovníka - pro orientační posouzení přítomnosti vody u čerstvých olejů v provozních podmínkách,
 - **prskací zkouška** - 2÷3 kapky vzorku kápnout na vyhřátou (asi 180°C) zkušební plochu - pokud je vzorek bez stopy vlhkosti, pak povrch skvrny stejnorodý bez vzniku bublinek - obsah vody 0,02%, pak několik mikrobublinek s vířivým pohybem uvnitř skvrny, při obsahu 0,1% drobné bublinky (0,5 mm) po dobu 1÷2 s, při obsahu 0,2% drobné bublinky (1 mm) po dobu asi 3 s - vhodná pro provozní podmínky.
- **kvantitativní**
 - **Coulometrická metoda** (ČSN 65 0330) - přesná metoda k určení stopových množství vody - v titrační nádobce se průchodem proudu uvolňuje jód J_2 - jeden mol jódu reaguje s jedním molem vody, takže 1 mg vody je ekvivalentní náboji 10,71 A.s - po zreagování veškeré vody generovaným jódem je indikována koncentrace nadbytečného jódu v nádobce,
 - **destilačně** (ČSN 65 6062) - destilace s rozpouštědlem (např. s xylenem) - zkouška vhodná pro kvantitativní stanovení množství vody od 0,02% - menší citlivost a přesnost než u coulometrické metody.





Obr. 4 Stanovení vody - Coulometer WTD

3.4 ČÍSLO ALKALITY A KYSELOSTI

Číslo kyselosti je jediný ukazatel postihující stárnutí průmyslových olejů, proto je potřeba jeho stanovení věnovat náležitou pozornost.

Číslo celkové alkality - TBN (Total Base Number)

Definice: Číslo celkové alkality (mg KOH.g^{-1}) udává množství kyseliny chloristé, vyjádřené počtem mg hydroxidu draselného, které je třeba k neutralizaci všech zásaditých složek, přítomných v 1 g vzorku oleje.

Číslo celkové kyselosti - TAN

Definice: Číslo celkové kyselosti je definováno jako množství KOH v mg , spotřebované na neutralizaci všech kyselých složek obsažených v 1 gramu analyzovaného vzorku oleje.

Metody stanovení čísla kyselosti:

- **metoda titrace na barevný indikátor** - ČSN ISO 6618 (ČSN 65 6070) - metoda založena na titraci kyselých sloučenin obsažených ve vzorku alkoholickým roztokem KOH na barevný indikátor - navážka vzorku se volí dle hodnoty čísla kyselosti - vlastní stanovení čísla kyselosti titrací vzorku roztokem KOH na indikátor - alkalickou modř $\rightarrow$ změna barvy modrá-červená - následně výpočet čísla kyselosti ze spotřeby titračního roztoku, jeho přesné koncentrace a navážky vzorku,
- **přibližná metoda** (rychlometoda) - určujeme, zda číslo kyselosti oleje překročilo nebo nepřekročilo předem zvolenou hodnotu - podstatou je neutralizace kyselých složek hydroxidem alkalického kovu - smíchá se 5 ml oleje + 5 ml činidla ve zkumavce, dokonale míchat (vytřepat) - pokud je roztok modrý $\rightarrow$ dobrý, pokud žlutý $\rightarrow$ číslo kyselosti vyšší než $0,5$; 1 ; $1,5 \dots$



Obr. 5 Coulometer pro stanovení čísla kyselosti

3.5 CONRADSONŮV KARBONIZAČNÍ ZBYTEK

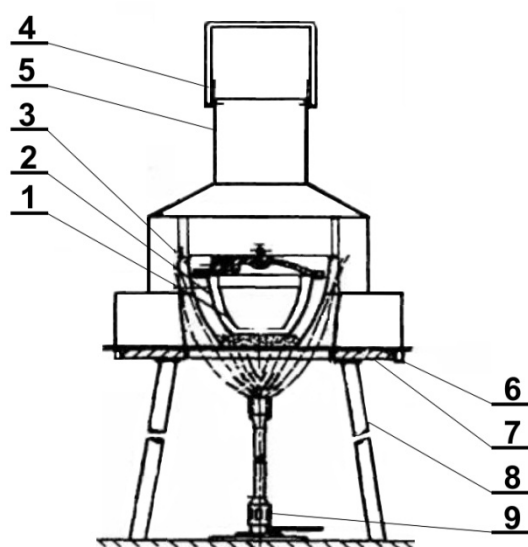
Conradsonův karbonizační zbytek (CCT) - ČSN ISO 6615 (ČSN 65 6210) - vyjadřuje náchylnost k tvorbě uhlíkatých zbytků při vysokých teplotách.

Vysoké CCT při provozu oleje charakterizuje zvýšenou tvorbu úsad.

Definice: Karbonizační zbytek je hmotnostní podíl zbytku v % hmotnosti, který vznikne termickým rozkladem produktu bez přístupu vzduchu za podmínek předepsaných normou.

Podstata zkoušky:

- tepelný rozklad ropného výrobku bez přístupu vzduchu,
- žíhání zbytku za stanovených podmínek,
- stanovení získaného karbonizačního zbytku.



Obr. 6 Stanovení karbonizačního zbytku Conradsonovou metodou



3.6 STANOVENÍ POPELA

Popel dle ČSN EN ISO 6245 (ČSN 65 6063) se stanovuje v ropných výrobcích, v nichž jsou popelotvorné látky nežádoucí a dále v přísadách a plastických mazivech obsahujících grafit, MoS, kovový prach nebo síru.

Principem metody je spalování vzorku a žíhání uhlíkatého zbytku do konstantní hmotnosti.

Podstata zkoušky:

- promíchání vzorku, u vzorků s vysokou viskozitou zahřátí,
- vzorek na bezpopelnatém filtru zapálíme → vložíme do muflové pece (550 nebo 750°C) do zpopelnění → vážení → muflová pec → vážení ...,
- zkouška je ukončena, pokud rozdíl mezi dvěma po sobě jdoucími váženími je menší nebo roven 0,0004 g.

3.7 CELKOVÉ ZNEČIŠTĚNÍ

Celkové znečištění patří ke smluvním zkouškám a jeho vyjádření závisí na principu používané metody.

Zdroje nečistot (na příkladu hydraulické kapaliny) jsou:

- **primární** - nečistoty nádrže, potrubí, hydraulických prvků, hydraulické kapaliny (otřepy a třísky, prach, písek, vlákna z čistících prostředků, okuje ze sváření, barvy ...),
- **z okolí** - nečistoty vniklé do soustavy po povrchu pístnice nebo netěsným plnicím, odvětrávacím otvorem nádrže,
- **vzniklé z obvodu** - nečistoty vzniklé cirkulací hydraulické kapaliny nebo provozem jednotlivých prvků (koroze, eroze, opotřebení),
- **vzniklé z hydraulické kapaliny** - nečistoty vzniklé samovolným vypadnutím aditivů z oleje (detergenty, disperzanty, protioděrové přísady, antioxidanty a další), polymery, pryskyřice, atd.

Metody stanovení celkového znečištění:

- **mikroskopické stanovení velikosti a počtu nečistot - ČSN 65 6081** (ISO 812 18, NAS 1638)
 - částice zachycené na membránovém ultrafiltru jsou počítány pod mikroskopem podle velikosti pomocí okulárového měřítka a řazeny do 6 skupin:
 - $0{,}5 \div 15 \mu\text{m}$,
 - $15 \div 25 \mu\text{m}$,
 - $25 \div 50 \mu\text{m}$,



- $50 \div 100 \mu\text{m}$,
- $100 \mu\text{m}$,
- vlákna,
- celkový počet částic se zjišťuje statistickou metodou ze skutečného počtu zjištěných částic na části účinné plochy filtru.
- **kód čistoty** (metoda kódování úrovně znečištění pevnými částicemi) - ČSN ISO 4406 (ČSN 65 6206)
 - stanovení počtu částic mikroskopicky nebo automatickým počítačem nečistot,
 - **kód čistoty dle ČSN ISO 4406/87 - např. 21/17 M**
 - první číslo kódu udává počet zjištěných částic $\geq 5 \mu\text{m}$ obsažených v 1 ml vzorku (kódové číslo 21 například odpovídá počtu částic $10\,000 \div 20\,000$) - určeno dle tab. v normě,
 - druhé kódové číslo udává počet zjištěných částic $\geq 15 \mu\text{m}$ obsažených v 1 ml vzorku - určeno dle tab. v normě,
 - za druhé kódové číslo se přiřadí M nebo AP dle způsobu stanovení počtu částic.



Tab. 1 Vyjádření čistoty kapalin kódovým číslem

počet částic v 1 ml vzorku		kódové číslo
více než	do max.	
80 000	160 000	24
40 000	80 000	23
20 000	40 000	22
10 000	20 000	21
5 000	10 000	20
2 500	5 000	19
1 300	2 500	18
640	1 300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,3	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	0,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1
0,005	0,01	0
0,0025	0,005	0,9

- **kód čistoty dle ČSN ISO 4406/99 - např. 18/16/15**
 - první číslo kódu udává počet zjištěných částic $\geq 4 \mu\text{m}$ obsažených v 1 ml vzorku - určeno dle tab. v normě,
 - druhé kódové číslo udává počet zjištěných částic $\geq 6 \mu\text{m}$ obsažených v 1 ml vzorku - určeno dle tab. v normě,
 - třetí kódové číslo udává počet zjištěných částic $\geq 14 \mu\text{m}$ obsažených v 1 ml vzorku - určeno dle tab. v normě,
- **stanovení obsahu mechanických nečistot na membránovém filtru - ČSN 65 6220**
 - podstatou je filtrace za podtlaku membránovým ultrafiltrem, výsledkem je obsah mechanických nečistot v mg na 100 ml vzorku.



Tab. 2 Tabulka pravděpodobnosti nebezpečí poruch

výťah z normy ISO 4406						
třída čistoty dle ISO	počet částic v 1 ml vzorku				třída čistoty dle NAS	zóna
	velikost > 5 µm		velikost > 15 µm			
	od	do	od	do		
10/07	500	1 000	64	130	2	B E Z P E Č N Á
11/08	1 000	2 000	130	250	3	
12/09	2 000	4 000	250	500	4	
13/08	4 000	8 000	130	250	5	
13/10	4 000	8 000	500	1 000		
14/09	8 000	16 000	250	500	6	
14/11	8 000	16 000	1 000	2 000		
15/09	16 000	32 000	250	500	7	
15/12	16 000	32 000	2 000	4 000		
16/12	32 000	64 000	2 000	4 000	8	
16/14	32 000	64 000	8 000	16 000		
17/12	64 000	130 000	2 000	4 000	9	
17/14	64 000	130 000	8 000	16 000		
18/12	130 000	250 000	2 000	4 000	10	
18/15	130 000	250 000	16 000	32 000		
19/14	250 000	500 000	8 000	16 000	11	N E B E Z P E Č N Á
19/17	250 000	500 000	64 000	130 000		
20/15	500 000	1 000 000	16 000	32 000	12	
20/17	500 000	1 000 000	64 000	130 000		
21/17	1 000 000	2 000 000	64 000	130 000		
21/19	1 000 000	2 000 000	250 000	500 000		
22/17	2 000 000	4 000 000	64 000	130 000		
22/19	2 000 000	4 000 000	250 000	500 000		
23/17	4 000 000	8 000 000	64 000	130 000		
23/19	4 000 000	8 000 000	250 000	500 000		
24/20	8 000 000	18 000 000	500 000	1 000 000		
24/24	8 000 000	18 000 000	8 000 000	18 000 000		

Tab. 3 Vztah mezi životností stroje a čistotou oleje

		faktor prodloužení životnosti									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
současný stroj třída čistoty oleje dle ISO	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 životnosti 1,8

(2)...faktor životnosti 1,45





Obr. 7 Stanovení počtu částic mikroskopicky a automatickým čítačem

3.8 SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA

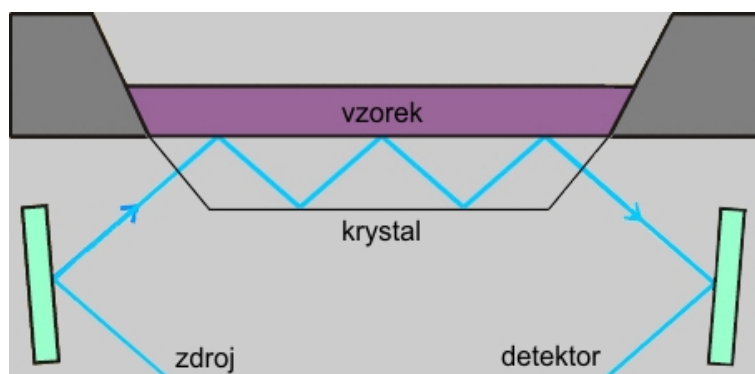
- je optická nedestruktivní analytická metoda,
- patří do skupiny metod molekulové spektrometrie (infračervené),
- využívá interakce infračerveného záření s molekulami nebo charakteristickými skupinami molekul,
- způsobuje excitaci molekul na vyšší vibrační hladiny, čímž se pohltí záření s určitými hodnotami energie a ve spektru vznikají tzv. vibrační absorpční pásy,
- poloha (vlnčet) těchto pásů odpovídá charakteristickým skupinám obsaženým ve sloučeninách → tzn. jednoznačná identifikace,
- v současnosti IČ spektrometrie s Fourierovou transformací (FT-IR), s následujícími výhodami:
 - vysoká citlivost,
 - dva řády vyšší průchod energie,
 - neporovnatelně vyšší poměr signálu k šumu.

Princip metody:

- dno nádobky - krystal selenidu zinečnatého ZnSe,
- na tento se nanese v tenké vrstvě olej,
- záření prochází krystalem (odráží se od něho) a současně proniká do vzorku do hloubky $1 \div 2 \mu\text{m}$,



- odrazů bývá 10÷12 a podmínkou je zajistit konstantní dráhu paprsku,
- ve vzorku se absorbuje záření těch vlnových délek, které odpovídá molekulárnímu složení vzorku,
- doba vyhodnocení jednoho vzorku méně než jedna minuta,
- výhodou je snadná manipulace se vzorky, které není třeba nijak speciálně upravovat,
- při výměně vzorku nutno povrch očistit papírovým ubrouskem a dočistit organickým rozpouštědlem.



Obr. 8 Princip metody ATR

V olejích je možné stanovit:

- obsah oxidačních, nitračních a sulfatačních produktů,
- úbytek antioxidačních, antikoročních a detergentních přísad,
- obsah vody a glykolů,
- pokles bazické rezervy,
- obsah paliva,
- u vznětových motorů obsah karbonu.



4 TRIBODIAGNOSTIKA – METODY ZJIŠŤOVÁNÍ STAVU OPOTŘEBENÍ STROJNÍCH ZAŘÍZENÍ

Zpravidla se jedná o speciální metody pro celkovou diagnostiku maziv a strojního zařízení

Základní oblasti použití speciálních metod:

- umožňují stanovit celkovou koncentraci jednotlivých kovů obsažených ve vzorku oleje,
- vycházejí z předpokladu, že mazivo po jisté době provozu v jakémkoliv mechanickém zařízení odráží technický stav zařízení a podmínky provozu,
- využívají toho, že opotřebením uvolněné částice kovů nebo jejich sloučeniny jsou vyplavovány z třecích míst a cirkulují v mazací soustavě,
- určení technického stavu sledovaného objektu se vlastně převádí na zjištění koncentrace otěrových kovů ve vzorcích oleje.

Základní rozdělení speciálních metod:

- **metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů**
 - **atomová spektrofotometrie** - dovoluje určit přítomnost a koncentraci naprosté většiny prvků periodické soustavy v mazivu,
 - **polarografie** - dovoluje určit přítomnost a koncentraci většiny prvku periodické soustavy v mazivu (s výjimkou např. Si),
 - **metoda RAMO** - dovoluje určit koncentraci čtyř základních prvků v mazivu (Fe, Cu, Pb a Al),
- **metody pro hodnocení morfologie a distribučního rozdělení částic**
 - **částicová analýza neboli ferografie** - základem je jednotlivé typy otěrových částic separovat, identifikovat a kvantifikovat tak, aby bylo možno stanovit převládající režim opotřebení příslušného strojního zařízení.

4.1 ATOMOVÁ SPEKTROFOTOMETRIE

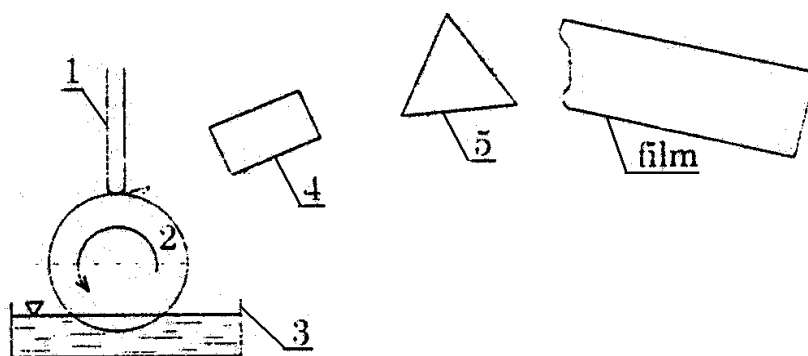
- je analytická metoda zjišťující kvalitativní, případně kvantitativní složení zkoumaného vzorku rozbořením spektra,
- rozlišujeme spektrofotometrii:
 - **emisní** - výhodou je to, že jedno měření určí kvalitativní i kvantitativní analýzu vzorku,
 - **absorpční** - výhodou je jednodušší a levnější přístrojová technika,



- principem je dodat atomu vhodnou formou (tepelnou, chemickou, elektromagnetickou nebo elektrickou) energii, která se konvertuje různými atomickými procesy na energii světelnou,
- vhodné pro velikost otěrových částic, jejichž velikost je řádově desetiny až desítky mikrometrů.

4.1.1 Atomová emisní spektrofotometrie (AES)

- zkoumá záření, které vysílají vzbuzené (excitované) atomy nebo molekuly,
- úkolem je určit kvalitativní a kvantitativní složení vzorku ze spektra (uspořádaného souboru frekvencí záření) tohoto vzorku,
- kvalitativní složení vzorku je dáno počtem a hodnotami charakteristických frekvencí,
- kvantitativní složení vzorku pak poměrným rozdělením intenzity záření na tyto frekvence.
- moderní přístroje pro AES:
 - **AES - RDE** - atomovou emisní spektrofotometrii s **rotační diskovou elektrodou**,
 - **OES - ICP** - optickou emisní spektrofotometrii s **indukčně vázaným plazmatem**,
 - **OES - DCP** - optickou emisní spektrofotometrii s **plazmatem stejnosměrného proudu**.



Obr. 9 Principiální schéma AES - RDE

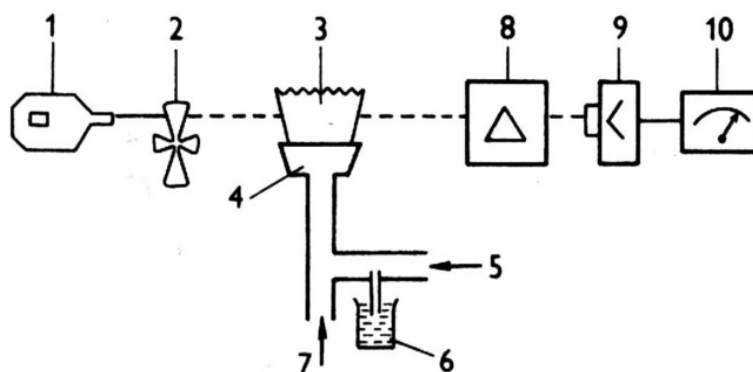
Legenda: 1 - protielektroda, 2 - uhlíkový kotouč jako rotační disková elektroda, 3 - nádoba s analyzovaným vzorkem, 4 - optická soustava, 5 - rozkladový hranol

4.1.2 Atomová absorpční spektrofotometrie (AAS)

- vychází z Kirchhoffova zákona, že každý prvek je schopen absorbovat světlo téže vlnové délky, které emituje,
- měří se tudíž zeslabení paprsku při průchodu analytickým prostředím,



- dochází k absorpci volných atomů prvku na vlnové délce charakteristické pro tento prvek,
- ke sledování atomových spekter je nutné měřený prvek převést do plynného stavu,
- podle atomizace metody AAS dělíme:
 - **plamenová AAS**, při které se vzorek ve formě aerosolu zavádí do plamene,
 - **AAS - ETA s elektrotermickou atomizací**, založená na odpařování vzorku z odporově vyhřívané podložky.



Obr. 10 Přístrojové uspořádání v AAS

Legenda: 1 - výbojka, 2 - přerušovač, 3 - plamen, 4 - štěrbinový hořák, 5 - přívod stlačeného vzduchu, 6 - vzorek, 7 - přívod výhřevného plynu, 8 - monochromátor, 9 - fotonásobič se zesilovačem, 10 - indikační zařízení

4.2 POLAROGRAFIE

- je polarografická metoda, která je založena na studiu elektrolýzy se rtuťovou elektrodou a na interpretaci měření vzniklých křivek intenzity proudu a napětí,
- 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 (látky) vytváří svoji vlnu, čímž vzniká polarografické spektrum, určíme tedy přítomnost daného ořezového kovu.

4.3 VOLTAMETRIE

- je zvláštní typ polarografické metody, kdy rtuťová kapková elektroda je nahrazena stacionární rtuťovou kapkou a využívá citlivější pulsní polarografii.

4.4 METODA RAMO (RYCHLÁ ANALÝZA MOTOROVÝCH OLEJŮ)

- principem je selektivní kvantitativní extrakce ořezových kovů z upotřebeného oleje do vodní lázně a jejich následné vizuální fotometrické stanovení.



4.5 ČÁSTICOVÁ ANALÝZA - FEROGRAFIE

- je diagnostickou metodou 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,
- umožňuje indikovat a lokalizovat poruchu objektu ještě před vnějšími projevy poruchy,
- mimo celkové koncentrace i počtu otěrových částic umožňuje poznat také tvar a velikost těchto částic.

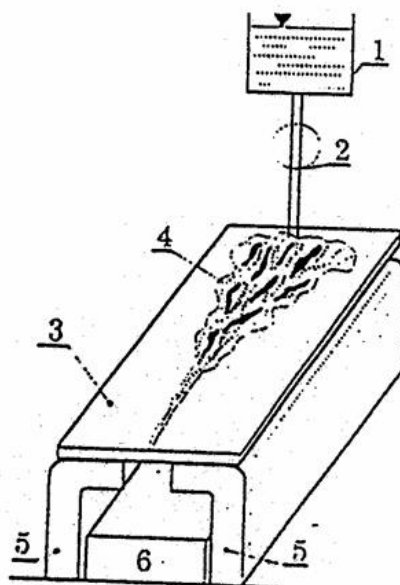
Ferografie vychází při hodnocení ze tří základních poznatků:

- každá tribologická jednotka produkuje při daném režimu otěrové částice zcela určitého tvaru a velikosti → se změnou (začínající porucha, začátek mezního opotřebení ...) dochází k markantním změnám v množství, tvaru a velikosti částic,
- se stoupající intenzitou opotřebení stroje dochází ke změnám:
 - roste velikost otěrových částic, přesněji objem velkých L-částic s rozměrem 15 μm a mění se podstatně i poměr mezi těmito částicemi a částicemi menšími než 15 μm , tzv. S-částicemi,
 - mění se morfologie částic, objevují se částice charakterizující druh opotřebení a může se měnit chemické složení částic,
- morfologie, velikost a počet částic se při změně režimu mění s dostatečně velkým předstihem před měřitelnými projevy opotřebení.

Vyhodnocení ferogramu:

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





Obr. 11 Funkční schéma ferografu

Feroskopické vyhodnocení ferogramu:

- mikroskopicky při bichromatickém osvětlení,
- morfologie částic je závislá na druhu tření a podává informace o povrchových vrstvách částí strojního zařízení a druhu opotřebení:
 - **adhezivní otěr** - šupinky vločkovitého tvaru, tzv. jednorozměrné částice, šířka a délka téměř stejná ($5 \div 15 \mu\text{m}$) → pokud pokrývají větší část ferograf. stopy a jejich velikost L nepřesáhne $15 \mu\text{m}$, můžeme být se stavem opotřebení spokojeni,
 - **abrazivní otěr** - dlouhý lineární rozměr částic a velmi malá tloušťka, délka desítky až stovky, tloušťka desetiny mikrometrů,
 - **únavové opotřebení** - částice mají typický trojrozměrný tvar, délka, šířka a hloubka téměř stejné rozměry, povrch vykazuje řadu nerovností a rýhování → typické pro převodové systémy.

5 TRIBODIAGNOSTIKA – METODY HODNOCENÍ PLASTICKÝCH MAZIV

5.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI PLASTICKÉHO MAZIVA

- plastická maziva (mazací tuky) jsou koloidní podskupiny gelů, někdy solí nebo rosolů,
- makroskopicky jsou máslovité, vláknité, houbovitě nebo zrnité,
- použití z důvodů konstrukčních, výrobních nákladů, snadného domazávání a podobně,
- pro výběr maziva jsou prvořadě provozní podmínky, zvláště zatížení, otáčky a provozní teplota ložiska, v úvahu je třeba brát také vlivy okolí,
- jsou určena na krátkodobá mazání s delšími mazacími intervaly, s výjimkou valivých ložisek, kde se dotěšňovací schopnost plastických maziv využívá na dlouhodobé, někdy na životnostní mazání,
- **složení plastických maziv:**

Plastické mazivo = Olejová složka + Zpevňovadlo + Aditiva

- **kapalná fáze** - základový olej, nejčastěji olej ropný (70÷90%), syntetické oleje se používají jen pro náročnější aplikace (vysoké teploty nad 150 °C, velmi nízké teploty, apod.),
- **zpevňovadlo** - tvoří strukturní mřížku, v níž je vázána olejová složka, zastoupeno 5÷30%, nejčastěji mýdla některých kovů - lithia, vápníku, sodíku, hliníku,
- **zušlechťujících přísady** - nejčastěji antioxidanty, antikorodanty, vysokotlaké přísady, zastoupeny 0,5÷5%.
- používaná zpevňovadla PM:
 - **vápenatá mýdla** - hladká, máslovitá struktura, velmi dobrá odolností proti vodě, použitelnost do 70°C,
 - **sodná mýdla** - dobrá přilnavost a těsnící účinek, vodě neodolná, použití do 100°C,
 - **litná mýdla** - sdružují výhody vápenatých i sodných PM, přilnavost ke kovovým povrchům a odolnost proti vysokým teplotám je velmi dobrá, ve vodě nerozpustná, teplotní použitelnost je od -30 do +120°C,
 - **hlinitá mýdla** - dobře odolná vodě, přilnavá a velmi tažná, teploty od -15 do +80°C,
 - **komplexní mýdla** - zpevňovadlo tvořeno mimo kovového mýdla další látkou (jinou sloučeninou stejného kovu), zvyšují hraniční teplotu použitelnosti maziva oproti běžným mýdlům.
- volba druhu plastického maziva závisí od:



- rozsahu teplotního použití,
- stálosti proti hnětení,
- odolnosti proti vodě,
- ochranných schopností proti korozi,
- provozní trvanlivosti v závislosti na teplotu použití,
- podle specifických podmínek (papírny, ocelárny, doprava ...)
- podle doporučení výrobců strojů.

Poznámka:

Při používání PM je nutno zohlednit skutečnost, že plastická maziva různých druhů se nemusí navzájem snášet. Mohou se rozrušit a tím způsobit vážné poškození.

Při domazávání je nutno použít stejný druh maziva, zásadně nemísit!

5.2 HODNOCENÍ PLASTICKÝCH MAZIV

5.2.1 Penetrace

Vyjadřuje stupeň tuhosti plastických maziv a rozděluje se do devíti konzistenčních stupňů 000 až 6.

- **penetrační zkouška**

- je vyjádřena hloubkou vniknutí normalizovaného zkušebního kužele vlivem vlastní hmotnosti do vzorku maziva při teplotě 25°C za definovaný čas,
- hloubka se měří v desetinách milimetrů,

- **konzistence**

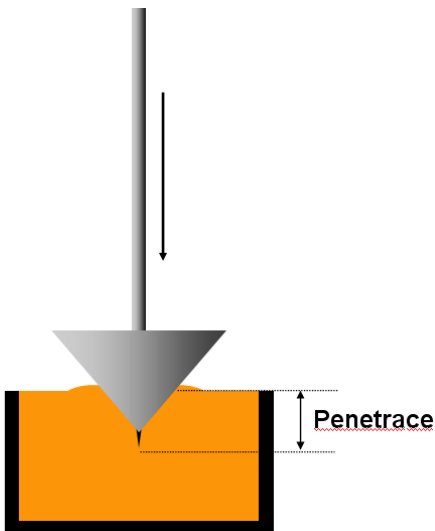
- je základní klasifikační parametr plastického maziva,
- je vyjádřením stupně jeho tuhosti,
- je závislá zejména na druhu a množství zpevňovadla,
- je klasifikována podle stupnice zavedené organizací National Lubricating Grease Institut (NLGI).





Obr. 12 Ukázka penetrační zkoušky dle ASTM D 217: kuželová penetrace plastických maziv

Třída NLGI	Penetrace po prohnětení v mm
000	44,5 až 47,5
00	40,0 až 43,0
0	35,5 až 38,5
1	31,0 až 34,0
2	26,5 až 29,5
3	22,0 až 25,0
4	17,5 až 20,5
5	13,0 až 16,0
6	8,5 až 11,5



Obr. 13 Závislost konzistence podle tříd NLGI a hloubky penetrace

5.2.2 Teplota odkápnutí

Její hodnota určuje teplotu, při které přechází plastické mazivo do kapalného stavu.

- **bod skápnutí** - je teplota, při které se za podmínek zkoušky v normovaném přístroji oddělí z plastického maziva první kapka oleje.

5.2.3 Mez pevnosti

Představuje kritické zatížení, při němž začíná být plastické mazivo tekuté, tzn., dochází k poklesu meze pevnosti na nulu a při určitém smykovém spádu nastává mez tekutosti.

- **Falex test**
 - stanovuje odolnost proti tlaku a protioděrové vlastnosti,
 - princip zkoušky - zkušební ocelová hřídel se otáčí v testovaném mazivu mezi bloky s ocelovými čelistmi tvaru V - zatížení je zvyšováno přitlačováním čelistí, dokud nedojde k záděru - měří se stopa opotřebení na blocích.

5.2.4 Dělení plastických maziv podle stálosti

- **tepelně stálá maziva** - jejich struktura se vlivem teploty nerozrušuje anebo po ochlazení se opět obnoví,



- **mechanicky stálá maziva** - jejich reologické vlastnosti se v rozrušeném i v nerozrušeném stavu jen málo odlišují,
- **koloidně nestálá maziva** - maziva, která se rozpadávají na viskózní fázi a nerozpustný koloid - xerogel.



6 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Tribodiagnostika - degradace kapalných maziv, hodnocení fyzikálně chemických a dalších parametrů (metody, podstata a jejich princip, způsob vyhodnocení).
- Tribodiagnostika - stavu opotřebení strojních zařízení (metody zjišťování, jejich podstata a princip, způsob vyhodnocení).
- Tribodiagnostika - degradace plastického maziva (složení plastických maziv, volba druhu maziva, penetrace, konzistence).



7 DOPLŇUJÍCÍ ZDROJE – KNIHY, INTERNET, ...

- [1] Manual Cleveland Flash Point. Normalab : Manufacturing of Petroleum Trstiny and Instruments Glassware. [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: [http://www.normalab.com/upload/D%2092 Cleveland manual NCL 120.pdf](http://www.normalab.com/upload/D%2092%20Cleveland%20manual%20NCL%20120.pdf)
- [2] Coulometer WTD. Diram s.r.o. - vývoj a výroba specializovaných laboratorních přístrojů. [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: http://www.diram.cz/wp-content/images/wtd_h2o_1024.jpg
- [3] Coulometer pro stanovení čísla kyselosti. Diram s.r.o. - vývoj a výroba specializovaných laboratorních přístrojů. [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://www.diram.cz/wp-content/uploads/koh-cz.pdf>
- [4] Metoda ATR. Wydział Chemii UJ. 2013 [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://www.chemia.uj.edu.pl/~jamroz/wyklad/ATR.pdf>
- [5] Přístrojové uspořádání v AAS. Datový standard MZ ČR - verze 4. [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: http://ciselniky.dasta.mzcr.cz/CD_DS4/hypertext/JVABL.htm



8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Třebický, Vladimír a Kotlánová, Alice. *Klasifikace a zkoušení maziv*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 20 s. Chemie, chemické strojírenství a potravin. ISBN 80-7283-222-0
- [2] Helebrant, František, Ziegler, Jiří a Marasová, Daniela. *Technická diagnostika a spolehlivost. I., Tribodiagnostika*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. 155 s. ISBN 80-7078-883-6
- [3] Štěpina, Václav a Veselý, Václav. *Maziva v tribologii: vysokoškolská příručka pre vysoké školy technické*. 1. vydání. Bratislava: Veda, 1985. 406 s.
- [4] Szczerek, Marian. *Metodologiczne problemy systematyzacji eksperymentalnych badań tribologicznych*. Radom: Institut Technologii Eksploatacji. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, 1997. 245 s. ISBN 83-87039-42-X



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ

Ošetření maziv, význam aplikace tribodiagnostiky

doc. Ing. Helebrant František, CSc.

Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D.

Ing. Blata Jan, Ph.D.

Ostrava 2013

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

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3028-5



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

OBSAH

1	OŠETŘENÍ MAZIV, VÝZNAM APLIKACE TRIBODIAGNOSTIKY.....	4
1.1	Úvod	5
1.2	Základní pojmy	5
2	TRIBODIAGNOSTIKA – ODBĚR VZORKŮ	7
2.1	Hlavní zásady pro odběr vzorků	7
2.2	Příklad metodiky pro odběr motorového oleje	7
3	OŠETŘENÍ OPOTŘEBENÝCH MAZIV – FILTRACE OLEJŮ	9
3.1	Druhy znečištění olejů a následné nepříznivé účinky	9
3.2	Filtrace olejů.....	10
3.2.1	Filtrace oleje v nádrži za provozu	10
3.2.2	By-pass filtrace	10
4	OŠETŘENÍ OPOTŘEBENÝCH MAZIV – REGENERACE OLEJŮ	12
4.1	Příklad postupu regenerace olejů.....	12
4.2	Možné způsoby regenerace turbínového oleje	12
4.2.1	Metoda by-pass v nádrži za provozu	12
4.2.2	Metoda z nádrže do nádrže	12
4.3	Výhody regenerace oleje.....	13
5	MAZACÍ SLUŽBA – JEJÍ OBSAH A MAZACÍ PLÁN.....	14
5.1	Obsah mazací služby.....	14
5.2	Mazací plán.....	14
6	VÝZNAM APLIKACE TRIBODIAGNOSTIKY	15
6.1	Úspory plynoucí ze správné aplikace zásad tribodiagnostiky	15
6.2	Podmínky správně fungujícího diagnostického systému.....	15
6.3	Přínosy plynoucí ze znalosti skutečného stavu stroje	16
6.4	Nejčastější problémy se zaváděním systematického sledování strojů.....	16
6.5	Tribodiagnostika a základních doporučení pro zvýšení spolehlivosti	17
7	VYHODNOCENÍ TRIBOROZBORŮ PODLE VYUŽITÍ	18
7.1	Rozdělení hodnocení maziva podle využití.....	18
7.2	Komplexní hodnocení opotřebení strojů	18
7.3	Údaje nutné pro komplexnost vyhodnocení z pohledu tribodiagnostiky	19
7.4	Multiparametrická diagnostika.....	20



7.5	Tribodiagnostika a prognózování technického stavu	20
8	PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM	22
9	POUŽITÁ LITERATURA	23



1 OŠETŘENÍ MAZIV, VÝZNAM APLIKACE TRIBODIAGNOSTIKY



STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Tribodiagnostika – odběr vzorků, poslání.

Ošetření opotřeбенých maziv – filtrace olejů.

Ošetření opotřeбенých maziv – regenerace olejů.

Mazací služba – její obsah a mazací plán.

Význam aplikace tribodiagnostiky – poruchy, požadavky, úspory a přínosy.

Vyhodnocení triborozborů podle využití – hodnocení maziva, opotřebení strojů, komplexnost, multiparametrická diagnostika, prognózování technického stavu.



MOTIVACE:

Patrně se dá souhlasit s obecným názorem, že nejlepší motivací pro zaměstnance je ta, která se dá vyjádřit finančními prostředky navíc na jejich výplatní pásce. Aby k tomu ale mohlo dojít, je potřeba minimálně tyto prostředky někde ušetřit.

Prostředkem k dosažení takových úspor při provozování strojních zařízení s velkými olejovými náplněmi je důsledné uplatňování zásad tribotechnické diagnostiky, které se následně promítají do rozhodnutí o ošetřování použitých maziv - filtrace, regenerace nebo do celé řady doporučení v organizaci a provozu mazací služby.



1.1 ÚVOD

Odběr vzorků

Základem správného rozhodnutí o stavu a budoucím provozu sledovaného strojního zařízení jsou výsledky rozborů maziva v tribodiagnostické laboratoři. Ale ani nejlépe vybavená laboratoř s odborně vyškoleným personálem nám nezajistí pro tato rozhodnutí relevantní podklady, pokud dostane od provozovatele k rozboru vzorky maziv, které nebyly odebrány podle platných norem a dalších obecně platných zásad pro odběr vzorků.

Ošetření opotřeбенých maziv

Správné vyhodnocení vzorku maziva, na jehož základě se rozhoduje o jeho dalším možném využití, je nutné zejména u strojních zařízení s velkými olejovými systémy v řádech tisíců litrů. V těchto případech je rozhodnutí o výměně olejové náplně až tím úplně krajním řešením, kdy již není možné využít žádné možnosti jeho ošetření, které nabízí například filtrace nebo regenerace.

Mazací služba

Strohý pojem mazací služba v sobě zahrnuje velkou oblast práce s mazivy. Nejedná se pouze o vlastní aplikaci maziv v provozu samotných strojních zařízení, ale také o celou organizaci mazací služby, dodržování nebo někdy také zpracování návodů k mazání strojů, dopravu a jejich skladování, až po hospodaření s upotřebenými oleji a jejich následnou likvidaci jako nebezpečného odpadu.

Význam aplikace tribodiagnostiky

Tribodiagnostika se podobně jako další obory technické diagnostiky podílí významnou měrou na snížení nákladů spojených s provozem strojních zařízení. V první řadě se jedná o zvýšení provozní spolehlivosti a životnosti strojů, snížení nákladů na údržbu a opravy nebo snížení prostojů vzniklých v důsledku poruch. Mezi další přínosy pak patří snížení nákladů potřebných k zajištění vhodných maziv, snížení spotřeby energie k pohonu strojů, zvýšení výrobní přesnosti strojů a další.

Multiparametrická diagnostika

V provozu strojních zařízení však nezdědka existují případy, kdy není možné o dalším provozu stroje kvalifikovaně rozhodnout na základě informací získaných aplikací pouze jedné z metod technické diagnostiky. V těchto případech pak jsme nuceni ke zvýšení jistoty využít výsledků z více dostupných diagnostických metod.

1.2 ZÁKLADNÍ POJMY

- **FILTRACE OLEJE** - zpravidla se jedná o odstranění všech mechanických nečistot, a to od velikosti 1 μm .
- **REGENERACE OLEJE** - je komplexní úprava oleje, jejímž cílem je obnova všech vlastností a parametrů oleje na úroveň blízkou kvalitě oleje nového.



- **MULTIPARAMETRICKÁ DIAGNOSTIKA** - představuje využití dvou nebo více diagnostických metod ke zvýšení jistoty při rozhodování o technickém stavu sledovaného objektu.



2 TRIBODIAGNOSTIKA – ODBĚR VZORKŮ

2.1 HLAVNÍ ZÁSADY PRO ODBĚR VZORKŮ

- vzorek musí představovat průměrné složení maziva v zařízení,
- vzorky by měla odebírat jedna osoba (nebo musí být vypracován přesný pracovní postup a jednotná metodika - např. ČSN 65 6207 - odběr vzorků hydraulických kapalin),
- zařízení musí být minimálně 20 minut v provozu z důvodu dokonalého promíchání a ohřátí oleje na provozní teplotu,
- odpustíme cca 500 ml oleje do čisté nádoby a nalijeme zpět do zařízení,
- po propláchnutí odběrných zařízení provedeme odběr cca 200 ÷ 250 ml oleje,
- vzorky odebírají do čistých vzorkovnic o obsahu 300 ml,
- odebraný vzorek se označí a předá k rozboru,
- popis musí být přesný a čitelný, zejména musí obsahovat:
 - číslo a název stroje,
 - mazané místo,
 - druh maziva,
 - datum odběru,
 - kdo odebral,
 - označení požadovaných rozborů,
- způsobu hodnocení rozhoduje tribotechnik, který je zodpovědný za vedení diagnostiky a mazacích služeb.

2.2 PŘÍKLAD METODIKY PRO ODBĚR MOTOROVÉHO OLEJE

- olej se odebírá při pracovní teplotě motoru (min. 65°C, max. 15 min po zastavení motoru),
- odběr se provádí pomocí přípravku pro odběr (zpravidla odsávání z olejové nádrže motoru - např. otvorem pro kontrolní měрку),
- vzorek musí být odebrán před doplněním olejové náplně novým olejem,
- při odběru ani po něm se nesmí do vzorku dostat nežádoucí příměsi (požadavek nutno zabezpečit čistotou přípravku pro odběr a čistotou vzorkovnice, v níž bude vzorek uchováván do provedení analýzy),



- vzorkovnice musí být suchá, čistá, ihned po odběru musí být pečlivě uzavřena a označena štítkem s číslem vzorku,
- po odebrání vzorku je třeba provést do knihy vzorků (pod příslušné číslo vzorku) ihned záznam všech potřebných údajů.



3 OŠETŘENÍ OPOTŘEBENÝCH MAZIV – FILTRACE OLEJŮ

Důvodem ošetření opotřebených maziv (kapalných) je jejich znečištění se všemi následnými projevy nepříznivých účinků tohoto znečištění.

3.1 DRUHY ZNEČIŠTĚNÍ OLEJŮ A NÁSLEDNÉ NEPŘÍZNIVÉ ÚČINKY

- **pevné částice:**
 - kovové částice a nekovové částice,
 - vlákna,
 - guma z těsnění,
 - plasty,
 - písek, prach, saze a jiné.
 - **účinky:**
 - nadměrné opotřebení,
 - poruchy a prostoje strojů.
- **kapalné látky:**
 - voda,
 - produkty oxidace (kyseliny, zásadité látky),
 - chladicí emulze,
 - palivo,
 - účinky:
 - stárnutí oleje,
 - ucpávání filtrů,
 - snížení životnosti ložisek,
 - poruchy transformátorů,
 - rozklad aditiv.
- **plyny:**
 - vzduch,
 - amoniak,

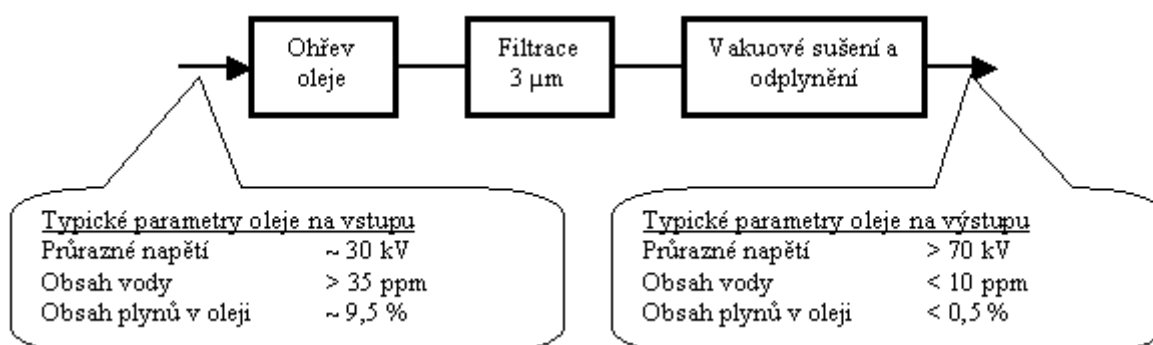


- uhlovodíky,
- smíšené plyny,
- účinky:
- pění,
- rozklad oleje,
- zvýšená hlučnost.

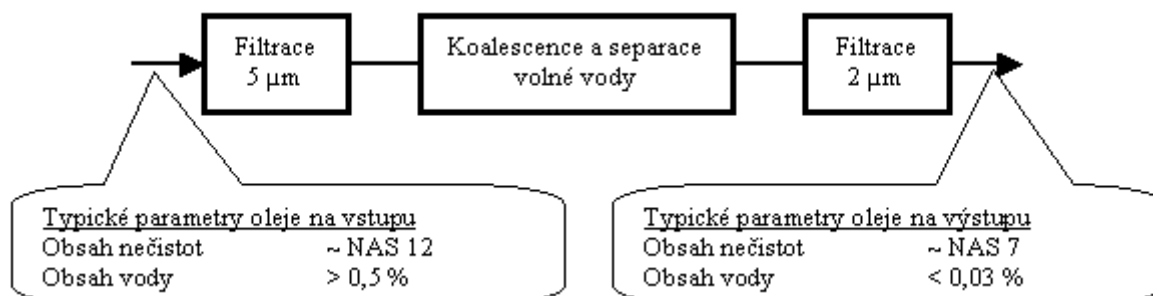
3.2 FILTRACE OLEJŮ

3.2.1 Filtrace oleje v nádrži za provozu

- čistý olej se míchá s původní náplní,
- je potřebných několik oběhů olejové náplně filtrační stanicí,
- filtrace se provádí tak dlouho, dokud náplň nezíská vyhovující parametry (zpravidla po čtyřech obězích),
- dosahovaný stupeň čistoty závisí na množství usazených částic,
- při velkém množství usazenin je potřebné olej při odstávce vyčerpat, nádrž i celý systém vyčistit a poté naplnit filtrovaným olejem.



Obr. 1 Příklad filtrace transformátorového oleje



Obr. 2 Příklad filtrace turbínového oleje

3.2.2 By-pass filtrace

- jedná se o vysoce kompaktní a vysoce účinné filtrační systémy,



- je instalována do tlakové větve hydraulického systému,
- malé množství oleje z hlavního toku prochází přes filtrační vložku, která je schopná zachytit mechanické nečistoty do velikosti až $1\mu\text{m}$ a taky je schopná absorbovat až 1,5 litru vody,
- vyčištěný olej po průchodu přes filtrační vložku se vrací zpět do zásobníku oleje.



Obr. 3 Ukázka by-pass filtračních zařízení

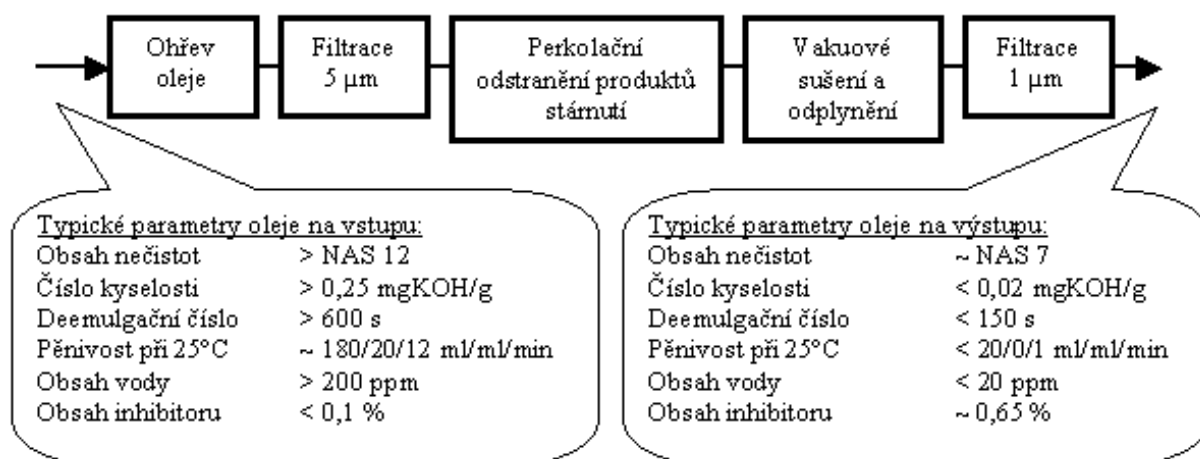
- **výhody filtrace by-pass filtry:**
 - jedná se o trvalou, dlouhodobou filtraci s nejvyšší účinností,
 - několikanásobné prodloužení životnosti oleje a olejových filtrů,
 - snížení poruchovosti hydraulického systému až o 90%,
 - snížení energetické spotřeby strojů s vyčištěným olejem,
 - jednoduchá výměna filtrační vložky bez nutnosti zastavení stroje,
 - zvýšení životnosti strojního zařízení,
 - snížení množství nebezpečného odpadu a další.

4 OŠETŘENÍ OPOTŘEBENÝCH MAZIV – REGENERACE OLEJŮ

Regenerace olejů je vhodným řešením ošetření maziv zejména pro turbínové oleje, případně dalších olejů u systémů s velkou olejovou náplní (transformátorové, kompresorové, ...).

4.1 PŘÍKLAD POSTUPU REGENERACE OLEJŮ

- ohřev a filtrace pevných částic větších než 5 mikrometrů,
- v sorpční koloně - perkolátorů se z oleje odstraňují produkty stárnutí (organické kyseliny, aldehydy, ketony a mýdla, polymery nenasycených uhlovodíků, ... atd.), jde o fyzikálně-chemické čištění porézním materiálem (např. fullerská hlínka), potřebná doba styku regenerovaného oleje s aktivním materiálem 30÷40 minut,
- vysušení a odplynění ve vakuové komoře,
- čistý regenerovaný olej pak pomocí výtlačného čerpadla opouští zařízení ještě průchodem přes 1 μm filtr pro dosažení vyšší čistoty.



Obr. 4 Příklad regenerace turbínového oleje

4.2 MOŽNÉ ZPŮSOBY REGENERACE TURBÍNOVÉHO OLEJE

4.2.1 Metoda by-pass v nádrži za provozu

- nutné většinou 3 oběhy olejové náplně regenerační stanicí,
- po ošetření zbylá kontaminace starým olejem cca 5 %,
- vhodné, pokud není v nádrži mnoho usazenin,
- počáteční třída čistoty má být lepší než NAS 11.

4.2.2 Metoda z nádrže do nádrže

- olej na výstupu má uspokojivé parametry již po jednom průchodu,
- doporučená aditiva jsou přidávány automaticky průběžně do oleje před vakuovým sušením a odplyněním,



- metoda je vhodná v případě odstávky zařízení při celkové opravě a čištění nádrže,
- obvykle je třída čistoty po regeneraci odpovídající NAS 7.

4.3 VÝHODY REGENERACE OLEJE

- prodloužení životnosti všech částí systému používajících olej,
- nezanedbatelná finanční úspora ve srovnání s výměnou oleje a dalšími manipulačními náklady,
- omezení problémů spojených s přepravou a likvidací použitého oleje,
- parametry regenerovaných olejů a nových olejů mohou být téměř srovnatelné a v praxi dostačující.



5 MAZACÍ SLUŽBA – JEJÍ OBSAH A MAZACÍ PLÁN

Mazací služba je nedílnou součástí tzv. techniky mazání, která musí zabezpečit správné mazání strojů a také správné hospodaření s mazivy.

5.1 OBSAH MAZACÍ SLUŽBY

- **organizace mazací služby** - počínaje odborníkem na danou problematiku (tribotechnikem) až po doplňování maziva a jeho kontrolu,
- **návody k mazání strojů** - dodává výrobce, pokud ne, tak sestavuje tribotechnik a zároveň řeší otázku náhrad maziv a sjednocení dodavatelů a druhů maziv,
- **doprava maziv** - typ dopravy je přímo závislý na objemech dodávaného daného typu maziva,
- **hospodaření s mazivy v provozu** - zabezpečení mazání přímo na strojích včetně řešení hospodárnosti,
- **hospodaření s mazivy ve skladech** - otázky správného uskladnění, vstupní kontroly a evidence,
- **hospodaření s upotřebenými oleji** - řeší se zejména otázky regenerace filtrací (fyzikální, chemická), dalšího možného použití, vratnosti a podobně.

5.2 MAZACÍ PLÁN

Hlavní úkoly mazacího plánu jsou následující:

zajištění bezproblémového mazání svěřených a provozovaných zařízení,

- automatizace operací mazací údržby (patří sem například hlídání termínů výměn maziv, laboratorních kontrol a podobně),
- usnadnění kontroly množství maziv umístěných na skladě zpětným provázáním informací o spotřebovaných mazivech během těchto operací,
- archivování všech operací, generování měsíčních výkazů.

Poznámka:

Řešení hlavních úkolů v rámci mazacího plánu je možné podpořit nasazením vhodného programového vybavení v rámci organizace.

Výhody nasazení programových prostředků ocení zejména:

- **průmyslové podniky** s pravidelným provozem mazaných a sledovaných zařízení,
- **mazací údržba** - prostředky umožňují generovat rozpisy práce pro daný den i delší časový úsek,
- **údržba zařízení** - prostředky umožňují lepší náhled na stav zařízení s možností sledovat množství spotřebovaného maziva v závislosti na času.



6 VÝZNAM APLIKACE TRIBODIAGNOSTIKY

Tribodiagnostika má v rámci údržby své poměrně specifické postavení, které je dáno:

- relativní samostatností,
- nutností začlenění do organizačního systému údržby,
- nutností propojení technických řešení a výkonné údržbářské práce pro zajištění plné funkčnosti,
- nutností napojení na tribodiagnostikou laboratoř.

Z pohledu tribotechniky a tribodiagnostiky vznikají poruchy zejména:

- z titulu nesprávné aplikace mazací náplně,
- z nesprávného mazání z pohledu časového,
- ze znečištění mazací náplně a podobně.

6.1 ÚSPORY PLYNOUCÍ ZE SPRÁVNÉ APLIKACE ZÁSAD TRIBODIAGNOSTIKY

- zvýšení výrobní přesnosti strojů,
- snížení nákladů potřebných k zajištění vhodných maziv (jejich efektivní volbou a výběrem dodavatele),
- snížení spotřeby energie k pohonu strojů,
- zvýšení životnosti strojů a zařízení,
- snížení prostojů vzniklých v důsledku poruch a následných oprav,
- snížení nákladů na údržbu a opravy strojů,
- snížení investičních nákladů.

6.2 PODMÍNKY SPRÁVNĚ FUNGUJÍCÍHO DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU

Zaměříme-li se na správně fungující tribodiagnostický systém ve vztahu k provozovateli zařízení, pak se jedná zejména o následující položky:

- využití kvalifikované pracovní síly (technika bez znalých lidí nefunguje, resp. nepomáhá),
- neustálé ukládání a vyhodnocování diagnostických dat, které mimo jiné umožní neustále doladovat diagnostické algoritmy,



- vždy aktualizovaný a adekvátní zásah na základě zjištěných diagnóz, které se neustále zpřesňují,
- neustálé plánování a reagování na změny,
- neustálá údržba vlastního diagnostického systému (čidla a měřicí aparatura, vyhodnocovací jednotky, aktualizace programového vybavení),
- odůvodněné dodatečné investice (na základě diagnóz, změn technologie i řídicích systémů, změn legislativy),
- účinné zapojení všech zúčastněných pracovníků do procesu udržování diagnostiky v chodu, včetně stálého aktivního kontaktu s výrobcí komponent technologického zařízení a dodavateli řídicího a diagnostického systému,
- zodpovědný manažerský přístup, tj. mít neustále na mysli všechny zmíněné body.

6.3 PŘÍNOSY PLYNOUCÍ ZE ZNALOSTI SKUTEČNÉHO STAVU STROJE

- provozovatel může prediktivně plánovat údržbu,
- periody údržby mají optimální délku,
- je možné optimální využití pracovní kapacity a kvalifikace údržbářů,
- dochází k optimálnímu využití životnosti většiny komponent, což znamená menší náklady na jejich pořízení,
- velmi pravděpodobně nedojde k neočekávaným ani zbytečným výpadkům výroby, příp. k haváriím s dopadem na bezpečnost či životní prostředí,
- provozovatel může reálně plánovat využití svých zdrojů, protože předem ví, kdy budou v provozu a kdy v opravě.

6.4 NEJČASTĚJŠÍ PROBLÉMY SE ZAVÁDĚNÍM SYSTEMATICKÉHO SLEDOVÁNÍ STROJŮ

- celková výše finančních nákladů na pořízení diagnostického systému a následný provoz,
- objem prací (a lidských zdrojů) nutných k udržení systému v chodu po celou dobu provozního života technologického zařízení,
- provozovatel nepocítuje potřebu předcházet problémům, pokud se sám nedostal do větších problémů (nedošlo u něj k velké havárii),
- firma si nedává do souvislostí náklady na zavedení diagnostiky s náklady na likvidaci škod (zvláště u provozů s možností tzv. „dominového efektu“, často srovnatelnými s náklady na vybudování celé nové výrobní linky); klíčovými pojmy zde jsou spolehlivost, bezpečnost a pravděpodobnost.



6.5 TRIBODIAGNOSTIKA A ZÁKLADNÍCH DOPORUČENÍ PRO ZVÝŠENÍ SPOLEHLIVOSTI

- využívání jen jakostních maziv,
- věnování maximální péče čistotě maziv,
- provádění pravidelných diagnostických rozborů,
- provádění výměn maziv na základě těchto rozborů,
- využívání služeb kvalifikovaných pracovišť.

Poznámka:

Provozní spolehlivost je podmíněna správnou aplikací tribologie a tím následně tribotechniky a tribodiagnostiky.



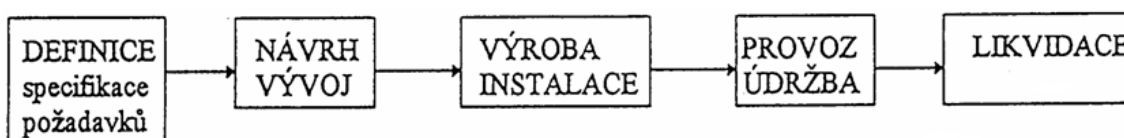
7 VYHODNOCENÍ TRIBOROZBORŮ PODLE VYUŽITÍ

7.1 ROZDĚLENÍ HODNOCENÍ MAZIVA PODLE VYUŽITÍ

- **v mazacích službách** - objektivní posouzení kvality (stavu) olejů, tzn. výměna na základě laboratorního rozboru,
- **v údržbě (v systému údržby)** - na základě objektivního určení technického stavu se plánuje a řídí další průběh údržby, resp. výroby - přechod od preventivně korektivní na preventivně proaktivní údržbu s produktivním přínosem do výroby,
- **v kontrolně inspekční a revizní činnosti** - oblast detekování, specifikování, lokalizování poruchy, tedy prognózování (predikování) zbytkové životnosti (doby do nutné opravy) - hovoříme o objektivních prohlídkách metodami technické diagnostiky,
- **v provozu** - jde o zproduktivnění výroby pomocí produktivního přínosu údržby (snížení prokazatelných nákladů na údržbu, snížení doby neplánovaných odstávek, snížení poruchovosti, zvýšení provozní spolehlivosti, atd.).

7.2 KOMPLEXNÍ HODNOCENÍ OPOTŘEBENÍ STROJŮ

- každé komplexní hodnocení provozovaného stroje je ve své podstatě hodnocením spolehlivosti,
- spolehlivost lze chápat jako stálost užitných vlastností během užívání, ale nepřímo znamená systematické vytváření předpokladů a podmínek k dosažení potřebné úrovně:
 - bezpečnosti,
 - pohotovosti,
 - a životnosti s dostatečnou jistotou,
- řešení problematiky spolehlivosti ve všech fázích technického života objektu je:
 - analýza,
 - hodnocení a řízení udržovatelnosti,
 - zajištění údržby,
 - a řešení bezporuchovosti,



Obr. 5 Průběh technického života objektu (základní členění životního cyklu objektu)

- řešení problémů technického charakteru s cílem zabezpečení spolehlivosti:
 - vymezení (kvalifikace) spolehlivosti výrobku jako celku - ve smyslu platných evropských norem (ISO, IEC),



-
- ```
graph LR; A[PROJEKCE KONSTRUKCE] -- "vprojektovaná spolehlivost" --> B[VÝROBA MONTÁŽ]; B -- "inherentní spolehlivost" --> C[INSTALACE PROVOZ]; C -- "provozní spolehlivost" --> D[];
```
- Poruchy z vnitřních příčin
- konstrukční
  - výrobní
  - z poddimenzování
  - způsobené stárnutím, opotřebením
- Poruchy z vnějších příčin
- z nesprávného použití, zacházení

### 7.3 ÚDAJE NUTNÉ PRO KOMPLEXNOST VYHODNOCENÍ Z POHLEDU TRIBODIAGNOSTIKY

- identifikační údaje o stroji,
- technická dokumentace,
- provozní údaje mechanika stroje,
- údaje o druhu maziva,
- údaje o údržbě,
- provozní údaje inspekčně diagnostické,
- vzorek s průvodním štítkem,
- devastovaný vzorek,
- protokol o výsledcích testů ověřený vedoucím diagnostického střediska s popisem další činnosti.



- příkazy vedoucího diagnostického střediska,
- komunikace diagnostického střediska a laboratoře,
- požadavek na mimořádný odběr vzorku,
- protokol rozboru maziv,
- výsledky AAS (AES) a ferrogramy.

## 7.4 MULTIPARAMETRICKÁ DIAGNOSTIKA

- základem každé prognózy zbytkové životnosti je objektivní znalost technického stavu sledovaného objektu,
- umožní odhalit závady nezjistitelné při použití pouze jedné měřicí (diagnostické) metody,
- spočívá v použití několika měřicích, resp. diagnostických metod,
- zlepšuje detekci a diagnostiku závad,
- umožňuje zvýšení jistoty rozhodnutí o technickém stavu,
- zvýší jistotu rozhodnutí o technickém stavu se všemi návaznými pozitivy.

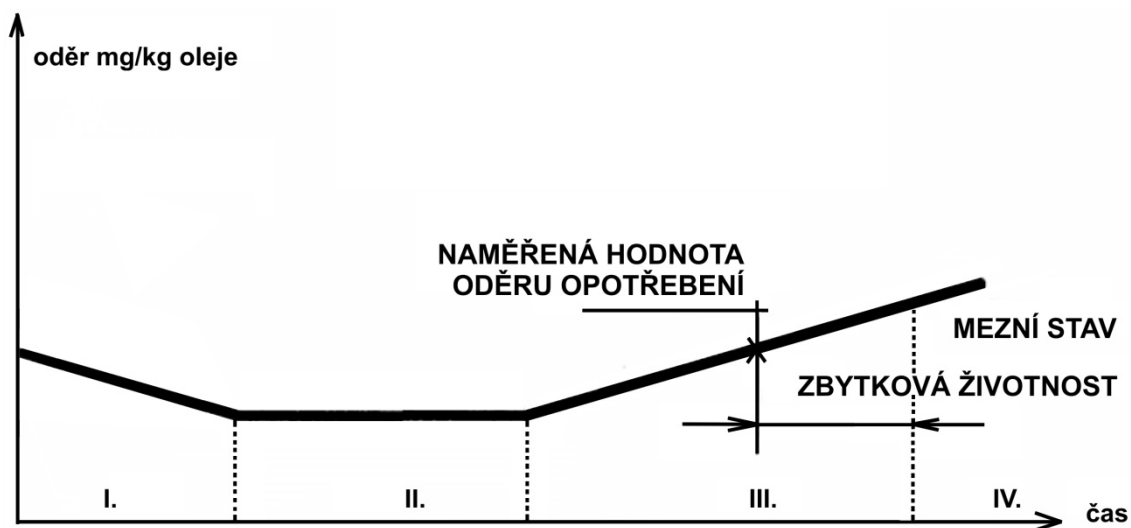
Multiparametrická diagnostika (jak je uvedeno výše) využívá dvou a více metod technické bezdemontážní diagnostiky. Může se jednat například o kombinace:

- vibrodiagnostika + tribodiagnostika,
- vibrodiagnostika + tribodiagnostika + termodiagnostika,
- vibrodiagnostika + tribodiagnostika + optická defektoskopie,
- vibrodiagnostika + optická defektoskopie,
- vibrodiagnostika + výkonové parametry a další.

## 7.5 TRIBODIAGNOSTIKA A PROGNÓZOVÁNÍ TECHNICKÉHO STAVU

- degradační (postupná) forma vzniku poruchy jednoznačně dává možnost určit, resp. prognózovat tzv. zbytkovou životnost (čas do nutné opravy),
- pro sledování nárůstu otěrových částic v mazivu se jako sledovaný parametr používá počet a velikost otěrových částic v závislosti na čase,
- toto je známá křivka pod označením - **vanová křivka** (obr. 7),
- stejný průběh má také závislost vibrací na čase a spolehlivost na čase u sledovaného objektu.





Obr. 7 Obecný průběh poškození vlivem opotřebení (vanová křivka)

Legenda: I. - záběh, II. - normální opotřebení, III. - zvýšené opotřebení, IV. - oblast poruch



## 8 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Ošetření maziv - odběr vzorků, filtrace olejů, regenerace.
- Význam aplikace tribodiagnostiky, tribotechniky a její vazba na diagnostické systémy, využití vyhodnocování triborozborů.



## 9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČSN 65 6690: *odpadní oleje*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 7 s.
- [2] Helebrant, František, Ziegler, Jiří a Marasová, Daniela. *Technická diagnostika a spolehlivost. I., Tribodiagnostika*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. 155 s. ISBN 80-7078-883-6
- [3] Šafr, Emil. *Tribotechnika*. Praha: Redakce báňské a strojírenské literatury, SNTL - Nakladatelství technické literatury. Knižní výroba, Brno, 1984. 300 s. 04-244-84
- [4] Štěpina, Václav a Veselý, Václav. *Maziva v tribologii: vysokoškolská příručka pre vysoké školy technické*. 1. vydání. Bratislava: Veda, 1985. 406 s.





INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



# **PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ**

---

## **Technická diagnostika a její metody**

doc. Ing. Helebrant František, CSc.

Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D.

Ing. Blata Jan, Ph.D.

**Ostrava 2013**

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

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3028-5



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

## OBSAH

|          |                                                     |           |
|----------|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA A JEJÍ METODY .....</b>    | <b>3</b>  |
| 1.1      | ÚVOD.....                                           | 4         |
| 1.2      | Základní rozdělení metod technické diagnostiky..... | 4         |
| 1.3      | Vibrodiagnostika.....                               | 7         |
| 1.3.1    | Základní vztahy .....                               | 7         |
| 1.3.2    | Základní veličiny .....                             | 9         |
| 1.3.3    | Snímače vibrací.....                                | 9         |
| 1.3.4    | Umístování snímačů, provozní pokyny .....           | 16        |
| 1.3.5    | Rychlá Fourierova transformace FFT.....             | 18        |
| 1.3.6    | Příklad jednoduchého skládání signálu.....          | 19        |
| <b>2</b> | <b>DOPLŇUJÍCÍ ZDROJE – KNIHY, INTERNET, ... ..</b>  | <b>22</b> |
| <b>3</b> | <b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>                     | <b>23</b> |



# 1 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA A JEJÍ METODY



## STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Principy technické diagnostiky a údržby  
Metody pro aplikaci technické diagnostiky  
Vibrodiagnostika  
Základní vztahy  
Snímače vibrací  
Rychlá Fourierova transformace FFT  
Skládání signálu



## MOTIVACE:

Správná aplikace technické diagnostiky přináší řadu výhod ve formě ochrany zdraví a života obsluhy, prodloužení životnosti a spolehlivosti strojních zařízení, což má ve výsledku přímou souvislost s ekonomičností a ekologičností provozu.



## 1.1 ÚVOD

Použití metod technické diagnostiky a údržby jsou jednou z nezbytností pro včasnou identifikaci vznikajících poruch nebo pro zajištění bezpečného, ekonomického a ekologického provozu strojních zařízení. Úkolem metod technické diagnostiky je také včasná identifikace vznikající závady, což umožní včasné naplánování a provedení opravy ve vhodném časovém intervalu. Aplikací technické diagnostiky a údržby je dosahováno ekonomicko-ekologického provozu a současně je zajištěna vysoká spolehlivost a bezpečnost strojních zařízení. Pro zajištění těchto úkolů je využíváno velké množství metod. Bohužel žádná metoda není stoprocentní nebo použitelná na všechny zařízení nebo za všech provozních podmínek, proto velmi často dochází ke kombinaci jednotlivých metod a tím ke zvýšení pravděpodobnosti včasné identifikace vznikající poruchy a tím zabránění ohrožení zdraví i života obsluhy, výpadkům výroby, druhotným škodám na zařízení apod.

## 1.2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ METOD TECHNICKÉ DIAGNOSTIKY

### *Vibrodiagnostika*

*Je jednou z nejpoužívanějších metod pro diagnostiku technického stavu strojních zařízení. Pro vyhodnocení stavu využívá vibrační signál, který je dále zpracován a analyzován. Pro měření a analýzu vibračního signálu využíváme rychlost, zrychlení nebo výchylku vibrací.*



### *Tribodiagnostika*

*Tribodiagnostika se zabývá praktickou aplikací poznatků tribologie (třením a procesy souvisejícími). Předmětem zájmu jsou dvě hlavní oblasti, kdy dochází ke zjišťování stavu degradace samotného maziva nebo z maziva určuje celkové poškození, opotřebení provozovaného zařízení.*



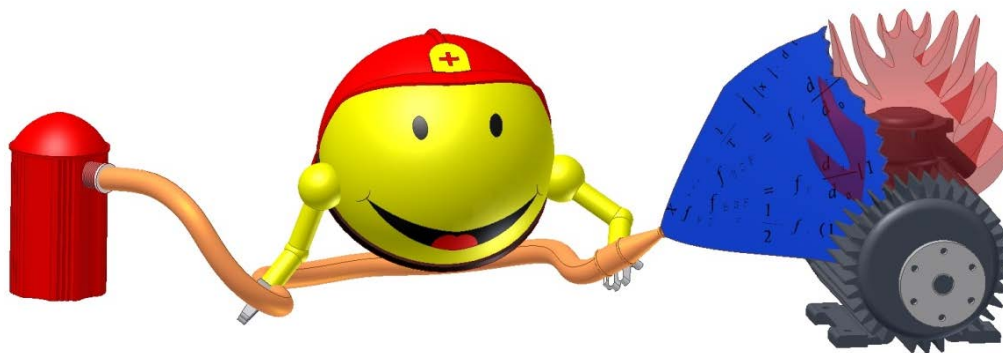
### Akustická diagnostika

Určitá podobnost s vibrodiagnostikou, sleduje projevy závad strojních zařízení za pomoci vyhodnocení akustického signálu. Často je sledováno také působení hluku na lidský organizmus, hlučnost zařízení, hygienicko-technické hledisko.



### Termodiagnostika

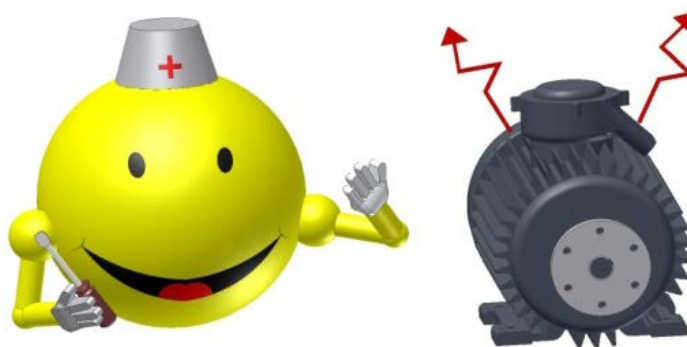
Jejím úkolem je měření a vyhodnocení teploty a teplotních obrazců, pro objektivizaci technického stavu zařízení, budov apod. Pro měření teploty lze využít nejrůznější druhy dotykových teploměrů, ale lze provádět i bezdotykové měření za pomoci infračervených teploměrů nebo pro zhotovení teplotních obrazců lze použít termovizní kamery. S rozvojem termovizních kamer získávají termovizní měření stále širší uplatnění v nejrůznějších oblastech, např. ve strojírenském, automobilovém, stavebním, hutním a potravinářském průmyslu, ve zdravotnictví, u záchranných, policejních a vojenských složek a v řadě dalších oblastech a aplikacích.



### Elektrodiagnostika

Jedná se o technickou diagnostiku elektrických zařízení za pomoci nejrůznějších metod. Velmi často je využito pro identifikaci poruch elektrického proudu, napětí, odporu apod. Často se také pro odhalení elektrických závad využívají již zmíněné metody, např. pro odhalení přechodového odporu ve spoji termodiagnostika nebo pro odhalení nesymetrie elektromagnetického pole vibrodiagnostika apod.





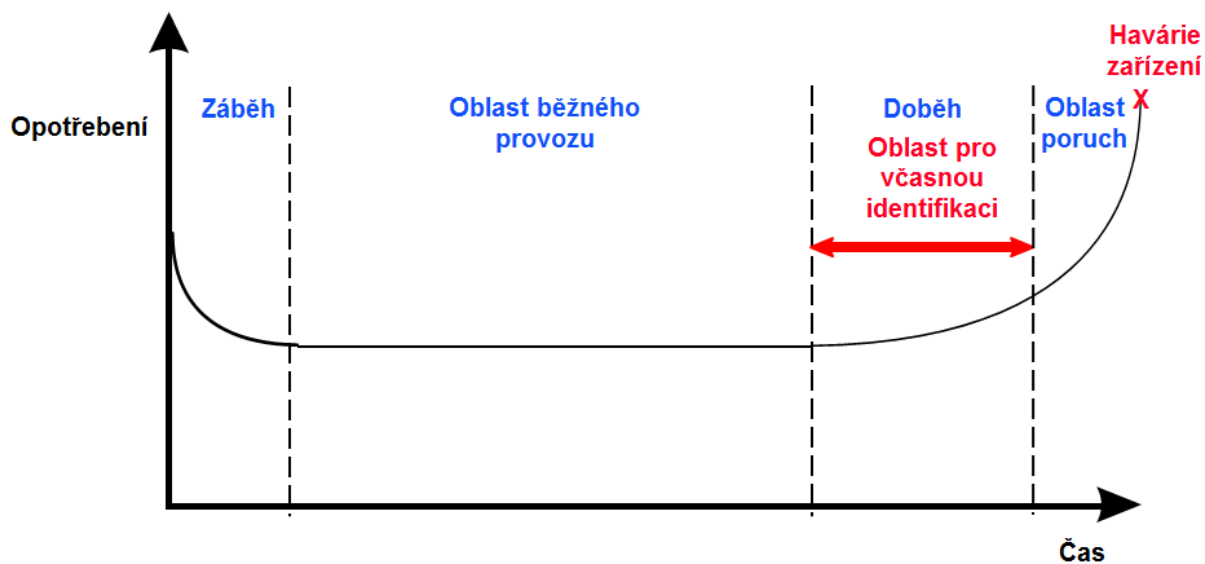
### *Jiné metody a postupy*

*Mezi které lze zahrnout nejrůznější metody a postupy pro diagnostiku strojních zařízení, tak pro prodloužení jejich životnosti, údržbu, vyvažování, ustavování, mazání atd.*

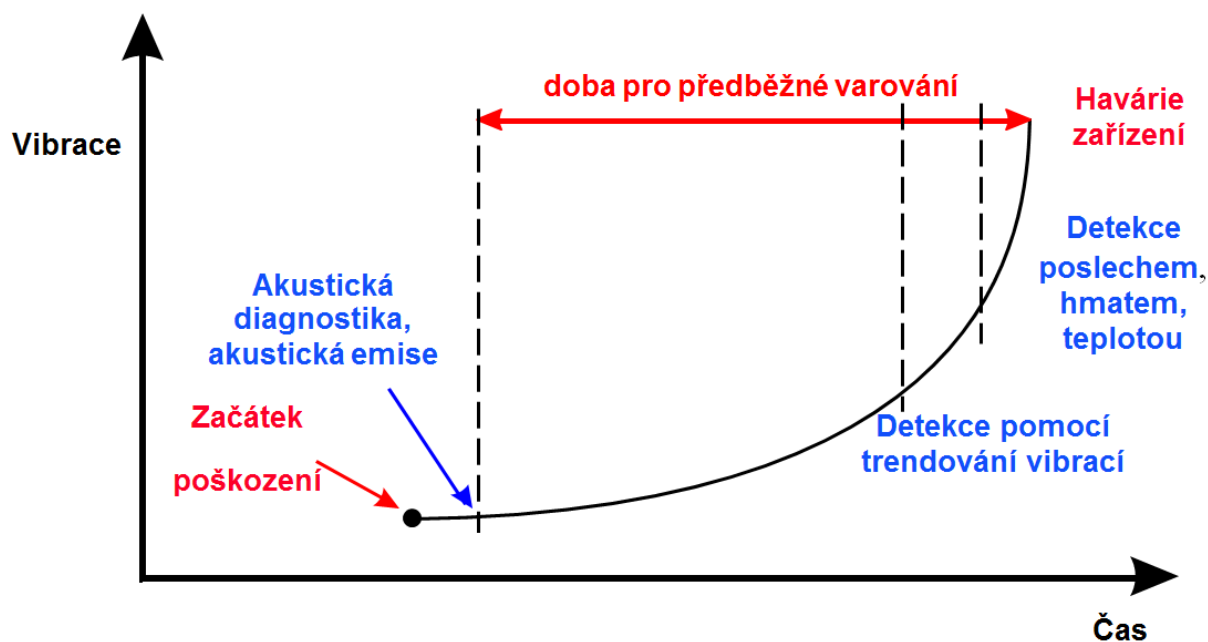
Pro diagnostikování technického stavu strojních zařízení můžeme použít rozličných diagnostických metod. Tyto metody mohou dávat samozřejmě i rozdílné výsledky. Pro různé strojní zařízení a různé provozní podmínky nelze použít některé metody nebo jejich výsledky mohou být často zkreslené nebo zavádějící. Proto je pro získání odpovídajících výsledků vhodné kombinovat jednotlivé metody, čímž se podstatně zpřesní identifikace technického stavu strojních zařízení. V případě kombinací jednotlivých metod hovoříme o tzv. multiparametrické diagnostice.

Na následujícím obrázku (obr. 2-1) je znázorněna vanová křivka, která zobrazuje jednotlivé oblasti průběhu opotřebení v čase. Je logické, že u nového zařízení dochází na začátku provozu ke zvětšenému opotřebení (oblast záběhu), což je způsobeno vzájemným záběhem jednotlivých součástí. Toto opotřebení se postupně snižuje, až se ustálí na běžném provozním opotřebení. V závěrečné fázi dochází k postupnému zvyšování opotřebení až k prudkému nárůstu. V případě, že není zařízení včas odstaveno, případně odhalena rozvíjející se porucha, může dojít ke vzniku havárie celého zařízení, s čímž souvisí celá řada negativních faktorů (bezpečnost, ekonomičnost provozu apod.). Tak jako byla v tomto případě vysvětlena a popsána vanová křivka s průběhem opotřebení, které se především využívá v tribologii, tak lze obdobným způsobem aplikovat průběh vanové křivky na průběh opotřebení, vibrací, teploty, hluku, apod.

Pro určování technického stavu můžeme využít různé metody technické diagnostiky, například akustickou diagnostiku, která dokáže odhalit teprve vznikající poškození (obr. 2-2) nebo dokonce poškození ještě před jeho projevem na povrchu materiálu, resp. již při vzniku pod povrchem, kdy dochází ke spojování podpovrchových mikrotrhlin. Toto vznikající poškození vydává vysokofrekvenční signál, který je možné zachytit při aplikaci akustické diagnostiky. Ta ovšem bývá často ovlivněna okolními zařízeními nebo okolními vlivy, proto se s výhodou využívá vibrodiagnostických metod, např. vysokofrekvenční metody např. metoda SEE (Spectral Emitted Energy) nebo HF (High Frequency Emission). Tyto metody dokážou již v počátcích upozornit na vznik poškození nebo na špatné mazání apod.



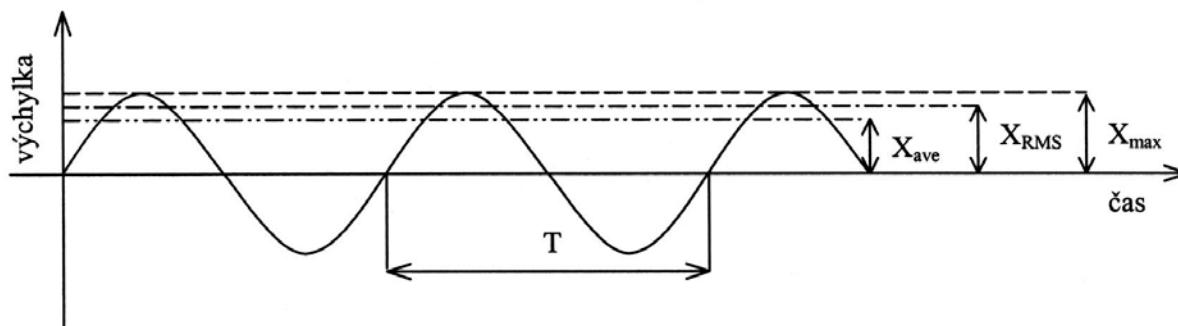
Obr. 2-1 Vanová křivka průběhu opotřebení.



Obr. 2-2 Konečná fáze vanové křivky, možnosti identifikace.

## 1.3 VIBRODIAGNOSTIKA

### 1.3.1 Základní vztahy



Obr. 3-3: Harmonického kmitání se znázorněním maximální amplitudy, střední kvadratické a absolutní hodnoty [1]



**Okamžitá výchylka:**

$$x = X_{MAX} \cdot \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) = X_{MAX} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = X_{MAX} \cdot \sin(\omega t) \quad [\text{mm}] \quad (3-1)$$

Pro úpravu vzorce bylo použito:

$$f = \frac{1}{T} \quad \dots \text{frekvence kmitání} \quad [\text{Hz}] \quad (3-2)$$

$$\omega = 2\pi \cdot f \quad \dots \text{úhlová rychlost} \quad [\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3-3)$$

$X_{\max}$  ... maximální výchylka – amplituda výchylky

**Rychlost:**

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega \cdot X_{\max} \cdot \cos(\omega t) = V_{\max} \cdot \cos(\omega t) = V_{\max} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad [\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3-4)$$

$V_{\max}$  ... maximální rychlost, maximální amplituda rychlosti

**Zrychlení:**

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 \cdot X_{\max} \cdot \sin(\omega t) = -A_{\max} \cdot \sin(\omega t) = A_{\max} \cdot \sin(\omega t + \pi) \quad [\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (3-5)$$

$A_{\max}$  ... maximální zrychlení, maximální amplituda zrychlení

**Střední absolutní hodnota výchylky:**

$$X_{ave} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x| \cdot dt \quad [\text{mm}] \quad (3-6)$$

**Střední kvadratická hodnota výchylky (Efektivní hodnota - RMS):**

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T x^2 \cdot dt} \quad [\text{mm}] \quad (3-7)$$

Pro harmonický pohyb platí:

$$X_{RMS} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \cdot X_{ave} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot X_{MAX} \cong 0,707 \cdot X_{MAX} \quad [\text{mm}] \quad (3-8)$$

Efektivní hodnota - RMS (root mean square value) hodnota je významná tím, že obsahuje informaci o výkonu kmitání. Tato hodnota vznikla původně v elektrotechnice jako porovnání mezi výkonem stejnosměrného a střídavého proudu.

**Některé výrazy často používané při měření vibrací:**

- Špička (peak) - vzdálenost mezi vrcholem amplitudy ( $X_{\max}$ ) a nulovou úrovní signálu.
- Špička – špička (peak - to - peak) - vzdálenost mezi nejnižším a nejvyšším vrcholem vlny ( $2 \cdot X_{\max}$ ).

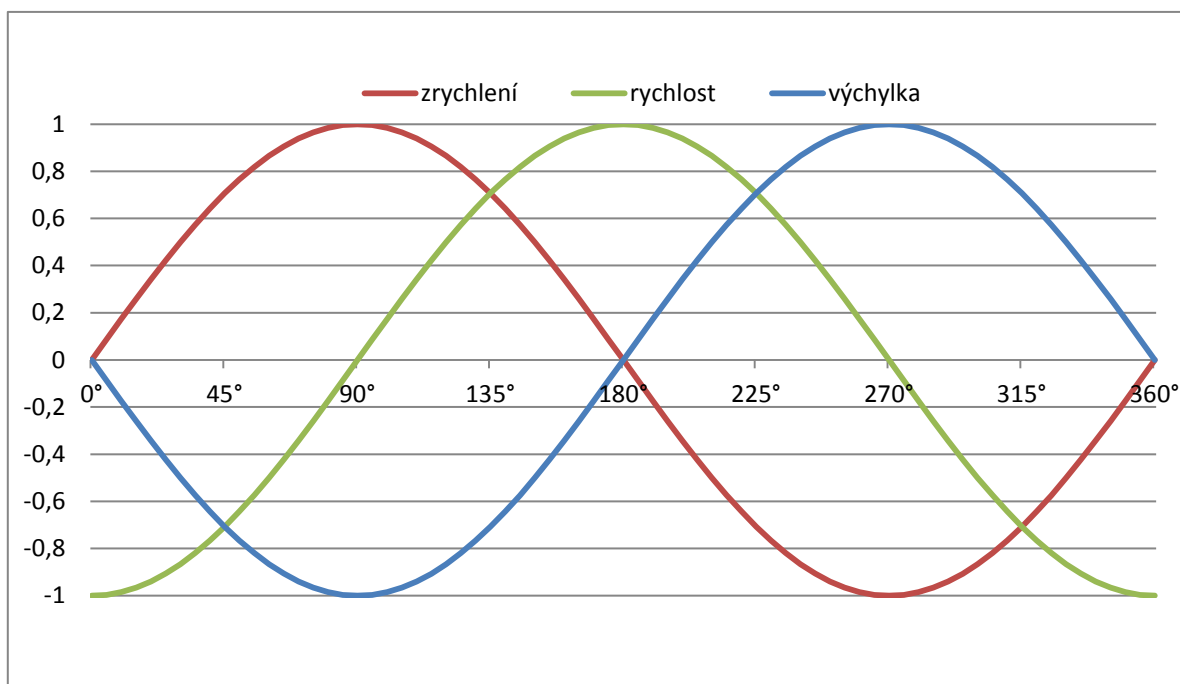




- Průměrná hodnota (Average) - vzhledem k neideálnímu sinusovému průběhu je průměrná hodnota nenulová (nebo také střední absolutní hodnota) ( $0,637 \cdot X_{\max}$ ).
- Celkové vibrace (Overall) - číslo reprezentující množství energie obsažené v pásmu mezi dvěma frekvencemi.

### 1.3.2 Základní veličiny

Ve vibrodiagnostice jsou měřeny a následně vyhodnocovány dle nejrůznějších metod tři základní veličiny, rychlost, zrychlení a výchylka vibrací. Rychlost vibrací (mm/s) se využívá pro identifikaci poruch projevujících se v nízkých nebo středních frekvencích, zpravidla ve frekvenčním pásmu 10 - 1 000 Hz, jako jsou nevývaha, nesouosost, uvolnění apod. Pro základní vyhodnocení mohutnosti rychlosti vibrací soustrojí slouží např. norma ČSN ISO 10816, viz obr. 5-2. Zrychlení vibrací je důležité pro včasnou identifikaci poruch projevujících se ve vysokých frekvencích, zpravidla v jednotkách až desítkách kHz, kde se projevují počáteční problémy závady ložisek, převodů, mazání apod. V případě zrychlení se můžeme velmi často setkat mimo jednotky  $\text{mm/s}^2$  také s jednotkou g nebo G, kdy se jedná o veličinu vycházející z gravitačního zrychlení, kde  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ . Poslední veličinou je výchylka vibrací ( $\mu\text{m}$ ), tato veličina má úzký profil použití, velmi často se ale využívá pro monitorování technického stavu turbín, velmi často za pomoci bezdotykových sond. Na obr. 3-2 je znázorněn fázový vztah, rozdíl mezi jednotlivými veličinami, je třeba si uvědomit, že výchylka a zrychlení jsou vzájemně v protifázi a rychlost je vůči těmto veličinám posunuta o  $90^\circ$ .



Obr. 3-4 Fázové porovnání zrychlení, rychlosti a výchylky

### 1.3.3 Snímače vibrací

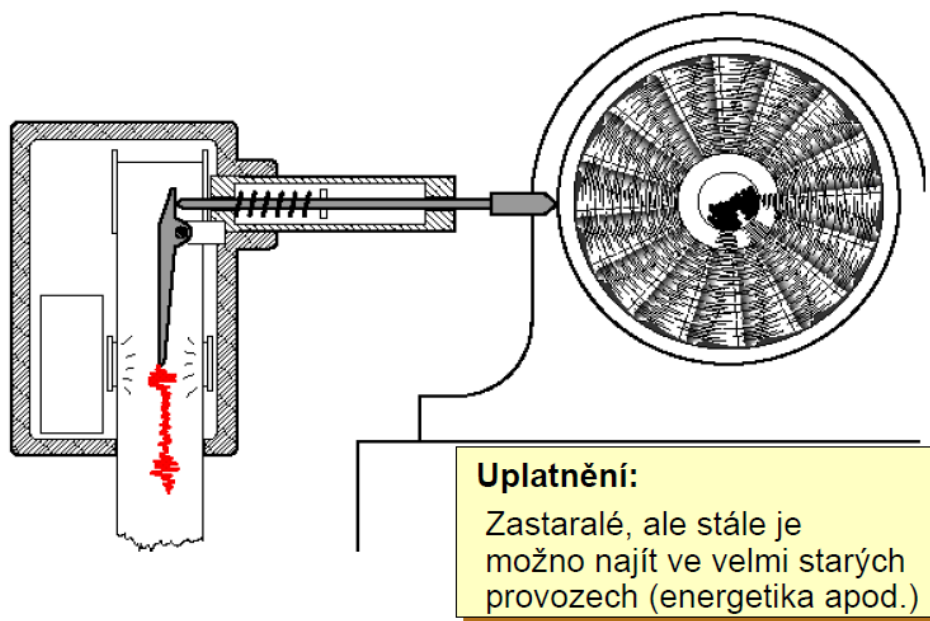
Pro měření mechanické výchylky vibrací a její převod na elektrickou veličinu, která se dále zesiluje a zpracovává, slouží snímače vibrací. Pro rozdílné podmínky a aplikace jsou vytvořeny různé druhy snímačů vibrací, které se mohou lišit např. rozsahem frekvence, dynamickým rozsahem, přesností, citlivostí na teplotu, cenou apod. Pro základní rozdělení snímačů je možné uvést dva základní druhy:



- Seismická zařízení, která se normálně připevňují na konstrukci stroje a jejichž výstup je mírou absolutních vibrací konstrukce.
- Snímače relativní výchylky, které měří relativní vibrační výchylku mezi rotujícími a nerotujícími díly strojního zařízení.

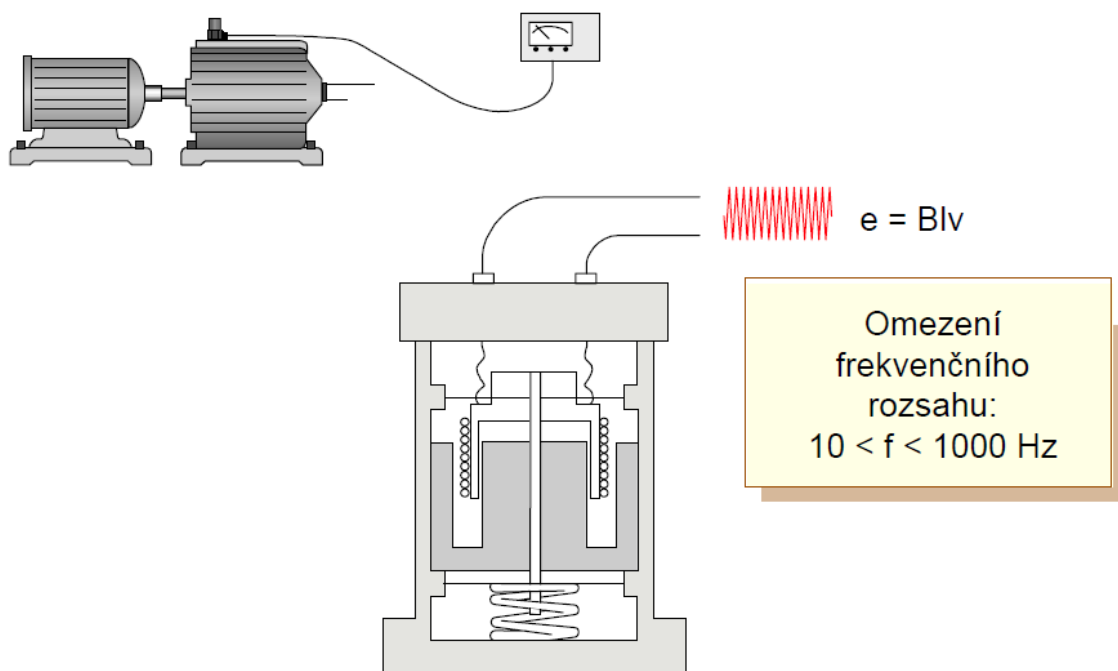
Další rozdělení můžeme provést pomocí měřené veličiny, tj. zrychlení, rychlost, výchylka.

- **Snímače výchylky** vibrací, jedná se o nejstarší snímače, konstrukčně velmi jednoduché, kde se výchylka zařízení zaznamenává za pomoci mechanického pákového mechanismu. Tyto snímače se v současnosti prakticky nevyskytují, ovšem měření výchylky vibrací je stále využíváno, ovšem pro měření je používáno jiných zařízení (např. akcelerometry, velometry) a následný matematický přepočet.



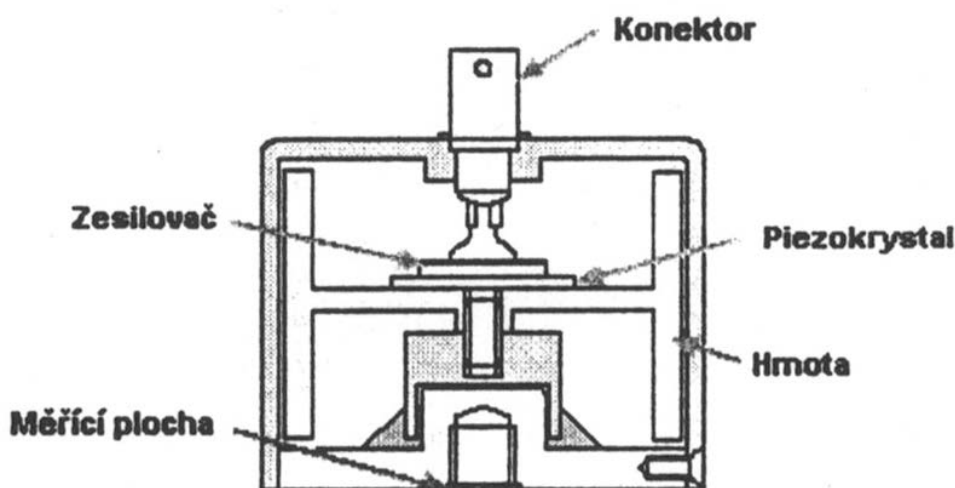
Obr. 3-5 Mechanický pákový snímač výchylky [7]

- **Snímač rychlosti** vibrací (obr. 3-4), jeho výstup lze matematicky převést na výchylku a zrychlení vibrací. Snímač rychlosti je také seismické zařízení, které generuje napětový signál úměrný mechanické vibrační rychlosti tělesa. Snímač rychlosti se skládá z cívky, ve které se díky pohybujícímu se magnetu indukuje elektrický proud a napětí. Tyto snímače rychlosti jsou v porovnání s akcelerometry rozměrově větší, těžší a také dražší, proto se v současné době nejvíce využívá akcelerometrů, se kterými se můžeme setkat v řadě aplikací.

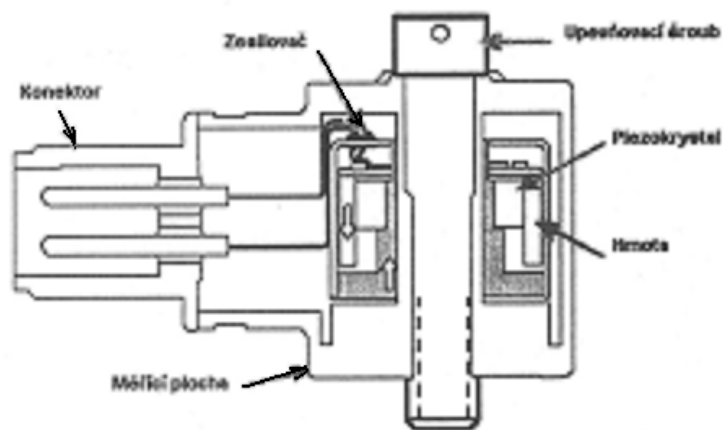


Obr. 3-6 Indukční snímač rychlosti [7]

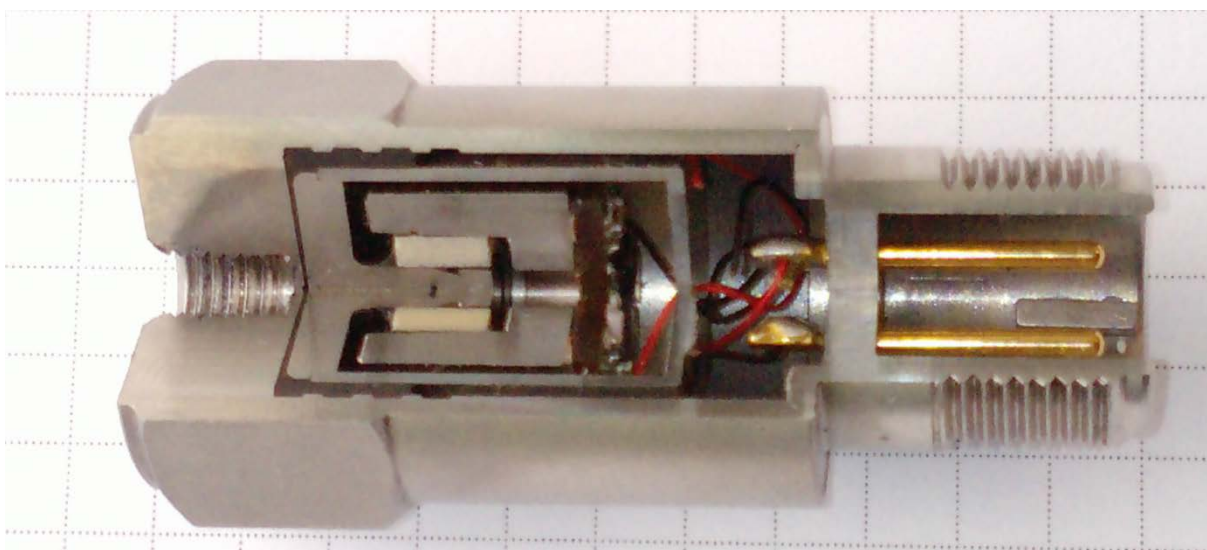
- Nejběžnějšími snímači vibrací jsou **akcelerometry**, měřenou veličinou je zrychlení, které se dle potřeby může početně převést na rychlost nebo výchylku vibrací. V případě akcelometru se jedná o seismické zařízení, které vyhodnocuje absolutní vibrace měřeného zařízení. Velkého rozšíření dosáhly akcelerometry díky své jednoduché konstrukci a nižší ceně. Akcelerometry jsou tvořeny pomocí piezoelektrického krystalu (jednoho nebo více), kde se při působení síly na stěny krystalu vytváří elektrický náboj, který se dále zpracovává. Protože je elektrický náboj úměrný síle a hmota snímače je konstantní, je tedy elektrický náboj úměrný zrychlení - akceleraci. Dle směru působící síly rozdělujeme základní druhy akcelometrů na tlakový, smykový a ohybový.



Obr. 3-7 Tlakový akcelerometr[1]



Obr. 3-8: Smykový akcelerometr[1]



Obr. 3-9 Řez smykovým akcelerometrem [3]

Příklady praktického využití snímačů:

- Měření vibrací – především v technické diagnostice pro identifikaci technického stavu strojních zařízení.
- Automobilový průmysl – aktivace airbagů, systémy jízdní stability, klepání motoru – řízení předstihu.
- Měření a detekce seismické aktivity.
- Měření zrychlení (akcelerace), pohybu a rychlosti.
- Měření odstředivé síly.
- Měření náklonu apod.

Některé vlastnosti důležité pro volbu akcelerometrů:

**Dynamický rozsah** - je to +/- maximální amplituda, kterou lze změřit, než se snímač poškodí. Je uváděn v násobcích **g** (gravitační zrychlení  $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ).



**Frekvenční odezva** - je určena hmotností snímače, piezoelektrickými vlastnostmi krystalu a rezonanční frekvencí krytu snímače. Je to frekvenční rozsah, v němž výstupní hodnota signálu akcelerometru má dovolenou odchylku  $\pm 5\%$ .

**Horní frekvenční limit** - je to frekvence, kdy výstupní signál překročí dovolenou odchylku. Souvisí to vždy s mechanickou rezonancí daného snímače.

**Dolní prahová frekvence** - je to frekvence, při níž výstupní signál začíná klesat nebo jeho přesnost překračuje dovolenou mez. Není to zcela nulový signál, avšak citlivost velmi rychle s nižší frekvencí klesá.

**Rušení** - elektronické rušení je generováno v obvodech zesilovače. Toto frekvenční rušení může být buď širokopásmové nebo spektrální. Úrovně šumu jsou specifikovány v "g" např.: 0,0025 g; 2 – 25000 Hz. Šum obvykle klesá s frekvencí a rušení na nízkých frekvencích tak bývá větším problémem než na frekvencích vysokých.

**Rezonanční frekvence** - je to frekvence, na níž dochází k rezonanci snímače. Výsledkem je podstatné zkreslení měření. Frekvenční měření se snímači zrychlení se provádějí pod touto rezonanční frekvencí.

**Citlivost** - je to výstupní napětí snímače při měření určité síly vyjádřené v "g". Akcelerometry se převážně vyrábějí s citlivostí 10 mV/g nebo 100 mV/g. Frekvence střídavého výstupního napětí odpovídá frekvenci vibrací. Výstupní úroveň napětí odpovídá amplitudě vibrací. Akcelerometry s nízkou úrovní výstupu se používají k měření vyšších úrovní vibrací, zatímco akcelerometry s vysokou úrovní výstupu jsou používány k měření nízkých úrovní vibrací.

**Teplotní vliv** (citlivost na teplotu) - je to výstupní napětí na stupeň Celsia měřené teploty. Snímače jsou teplotně kompenzovány s cílem udržení změn výstupního signálu v daných limitech v daném rozsahu teploty.

**Teplotní rozsah** - je to teplotní rozsah, ve kterém je snímač schopen pracovat, aniž by hrozilo poškození snímače. Typický rozsah je  $-50$  až  $120$  °C.

Pro výběr snímače zrychlení je důležité brát ohled také na další otázky:

- Jaká je amplituda a frekvence měřených vibrací?
- Jaký je rozsah teploty dané instalace a jaké je okolí?
- Jaká je velikost a tvar (vibračního, frekvenčního) signálu, který se má měřit?
- Je v dané oblasti vysoká úroveň elektrického, elektromagnetického rušení?
- Je povrch, kde má být umístěn snímač, uzemněn?
- Je třeba použití přístrojů pro nevýbušné prostředí?

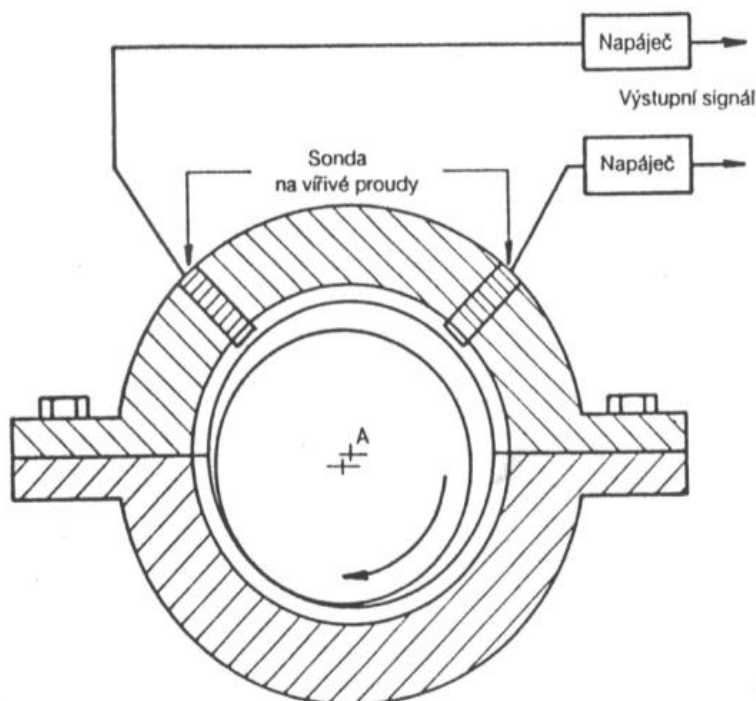
Poznámky k předcházejícímu:

Hmotnost akcelerometrů by měla být mnohem menší než hmotnost monitorovaného objektu řádově min. 10x menší. Dynamický rozsah akcelerometru má být větší než je předpokládaný rozsah amplitudy. Frekvenční rozsah akcelerometru má odpovídat předpokládanému rozsahu frekvence, popř. je volen dle zařízení nebo dle potřeby sledovat určité děje (projevy závad,



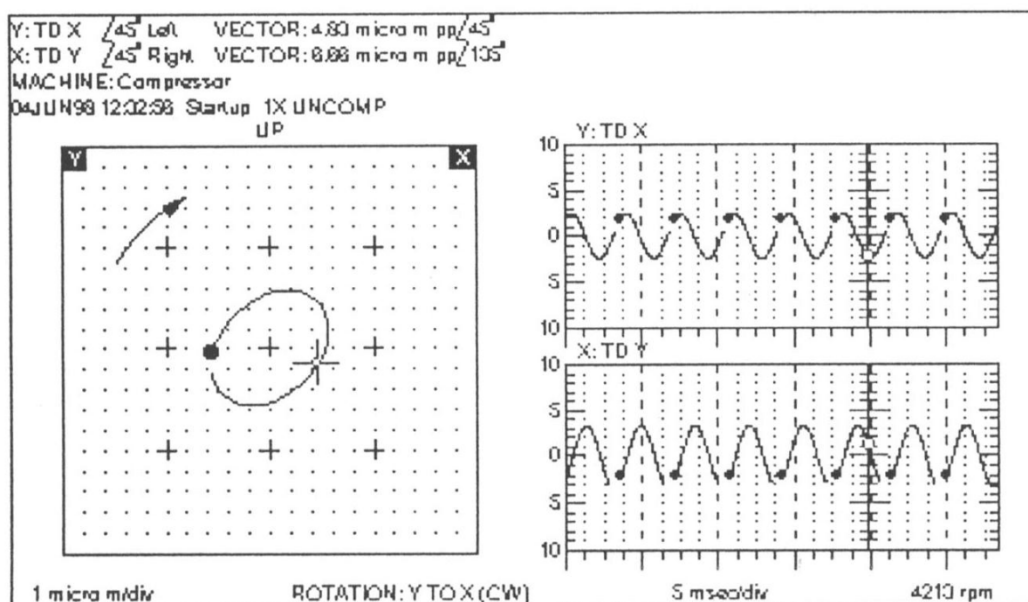
vysokofrekvenční metody atd.). Citlivost akcelerometru by měla být dostatečná, aby výstupní signál byl kompatibilní s navazujícími měřicími a vyhodnocovacími přístroji a metodami. Pro měření vibrací s vysokou amplitudou se použije snímač s nízkou citlivostí a naopak snímač s vysokou citlivostí se použije k měření vibrací s malou amplitudou.

- **Bezdotyková sonda**, její výstup je přímo úměrný relativní výchylce vibrací mezi rotujícími a nerotujícími díly stroje. Dochází ke snímání relativní výchylky stroje za pomoci dvou sond (viz obr. 3-8), resp. ke snímání vzdálenosti mezi dvěma díly stroje, většinou rotoru a domku ložiska. Většina bezdotykových snímačů pracuje na principu vířivých proudů. V cívce, kterou prochází generovaný vysokofrekvenční střídavý proud, se generuje vysokofrekvenční magnetické pole. Je-li v tomto magnetickém poli vložen elektricky vodivý materiál (hřídel rotoru), jsou v materiálu generovány vířivé proudy, které jsou nadále snímány. Tyto snímače jsou převážně umísťovány u velkých turbínových strojů, kde je mimo jiné možné provádět orbitální analýzu, při sloučení obou signálů sond (obr. 3-9). Názorně je možné vidět orbitální analýzu na obr. 3-10, kde lze pozorovat průběh bodu vytvářejícího orbitu. Dle tvaru orbity lze usuzovat na různé druhy poruch.

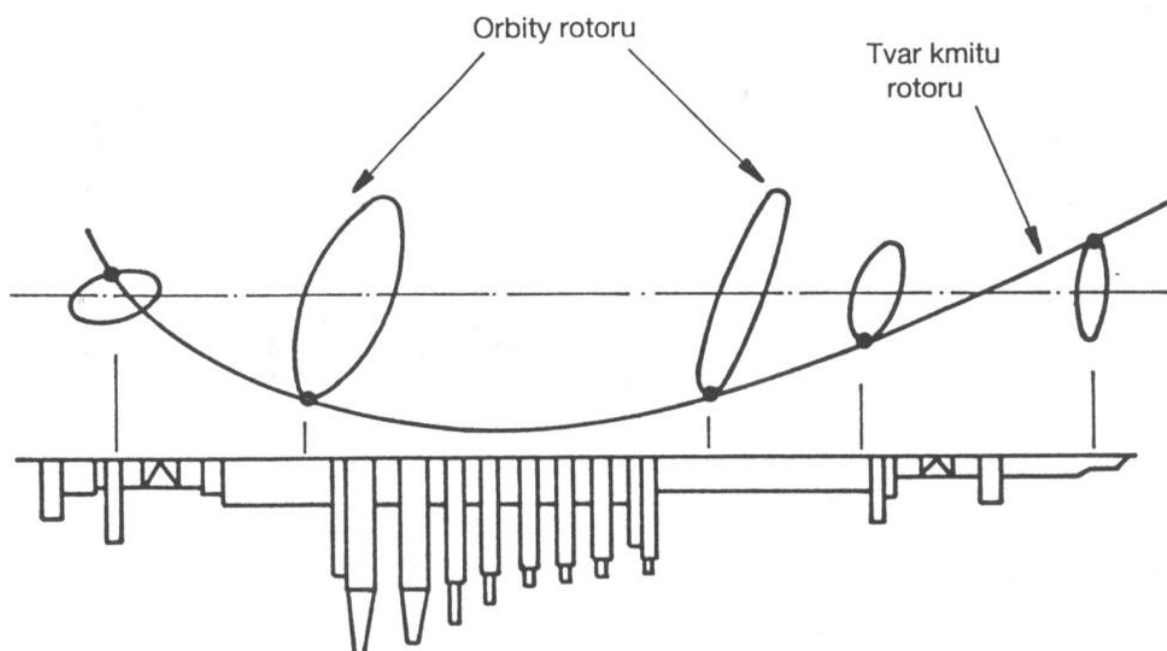


Obr. 3-10 Umístění snímačů na principu vířivých proudů pro měření relativního pohybu hřídele (orbity) [1]





Obr. 3-11 Skládání signálu dvou snímačů s vytvořením orbity [1]

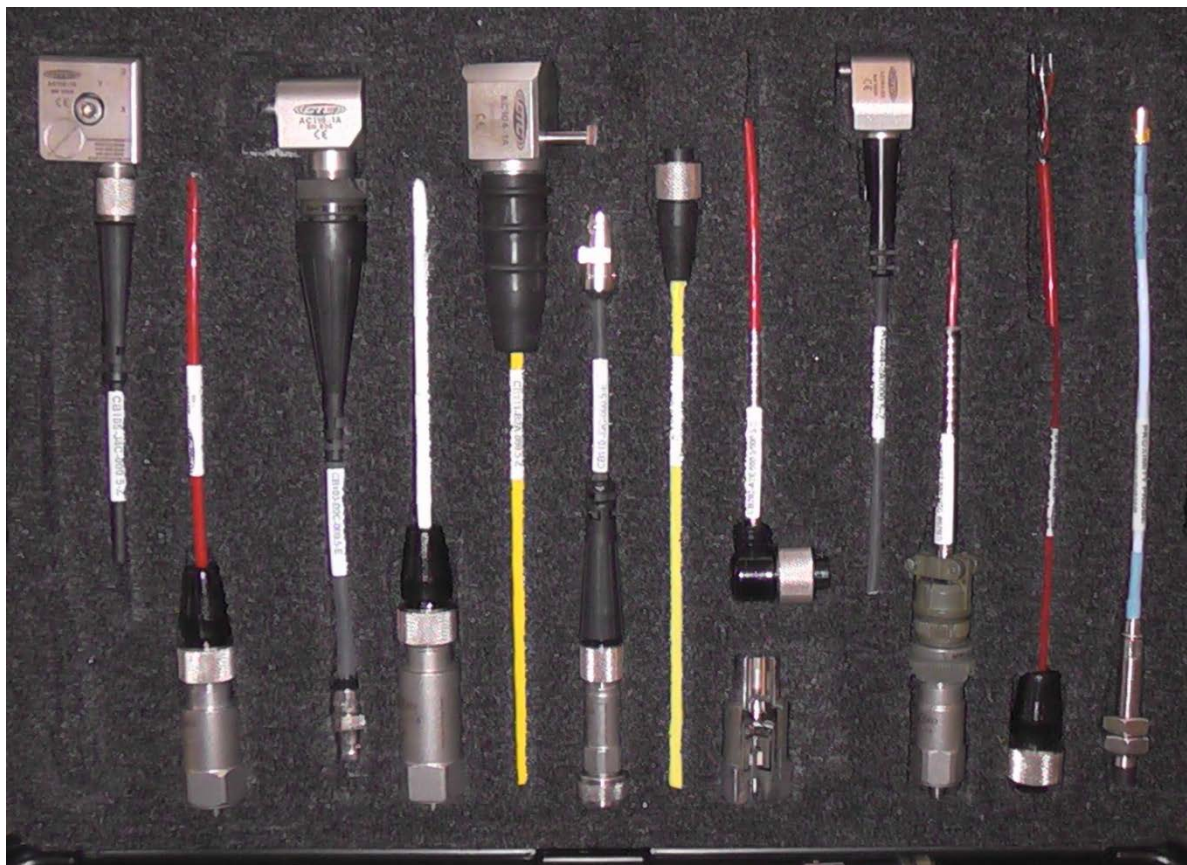


Obr. 3-12 Znáznornění orbitální analýzy na rotoru turbokompresoru [1]



Obr. 3-13 Bezdotyková sonda [3]





Obr. 3-14 Příklad rozličných druhů snímačů vibrací

#### 1.3.4 Umíst'ování snímačů, provozní pokyny

Pro získání relevantních dat při měření vibrací je důležité nejenom použití vhodných snímačů a zařízení, tak i umístění těchto snímačů. V případě nedodržení některých postupů a zásad při měření vibrací, můžou být výsledkem špatná nebo podstatně zkreslená data, což může mít ve výsledku katastrofální následky.

Při umíst'ování snímače musíme dbát na vhodnou volbu měřících míst, aby výsledky měření byly reprezentativní a vyjadřovaly co nejlépe skutečnou velikost vibrací, aby bylo možné co nejlépe stanovit technický stav zařízení. Snímač neumíst'ujeme na znečištěné, popř. lakované povrchy, dbáme na čistotu dosedací plochy snímače, zvláště u magnetického přichycení snímače často dochází ke zmagnetování volných ocelových pilin z okolí a přichycení ke snímači, resp. pod dosedací plochu snímače. Spousta těchto nečistot dokáže výrazně zkreslit skutečný vibrační signál. Dbáme také na co nejmenší vzdálenost snímače od místa vzniku vibrací, protože při jeho šíření dochází se vzdáleností k jeho útlumu.

Umíst'ujeme a měříme v horizontálním, vertikálním a axiálním směru (viz obr. 3-13), měření v horizontálním směru obvykle vykazují největší vibrace, je to způsobeno konstrukčním provedením, protože stroj bývá většinou v tomto směru poddajnější (je dobrým ukazatelem nevyváženosti). V axiálním směru jsou většinou nízké vibrace, v tomto směru se projevují vibrace souvisící s nesouosostí a ohnutým hřídelem.

Zásadně neměříme na přechodech, plechových krytech, ale přímo na materiálu, který je přímo v kontaktu s ložiskem. Pro tyto účely je nutné znát konstrukční uspořádání, resp. uložení ložisek v strojním zařízení, aby nedocházelo ke zkreslení měření vlivem přechodů mezi jednotlivými součástmi nebo materiály. Znalost konstrukčního uspořádání daného stroje nám může výrazně pomoci i při následném hledání závady, popř. hledání příčiny vzniku závady.

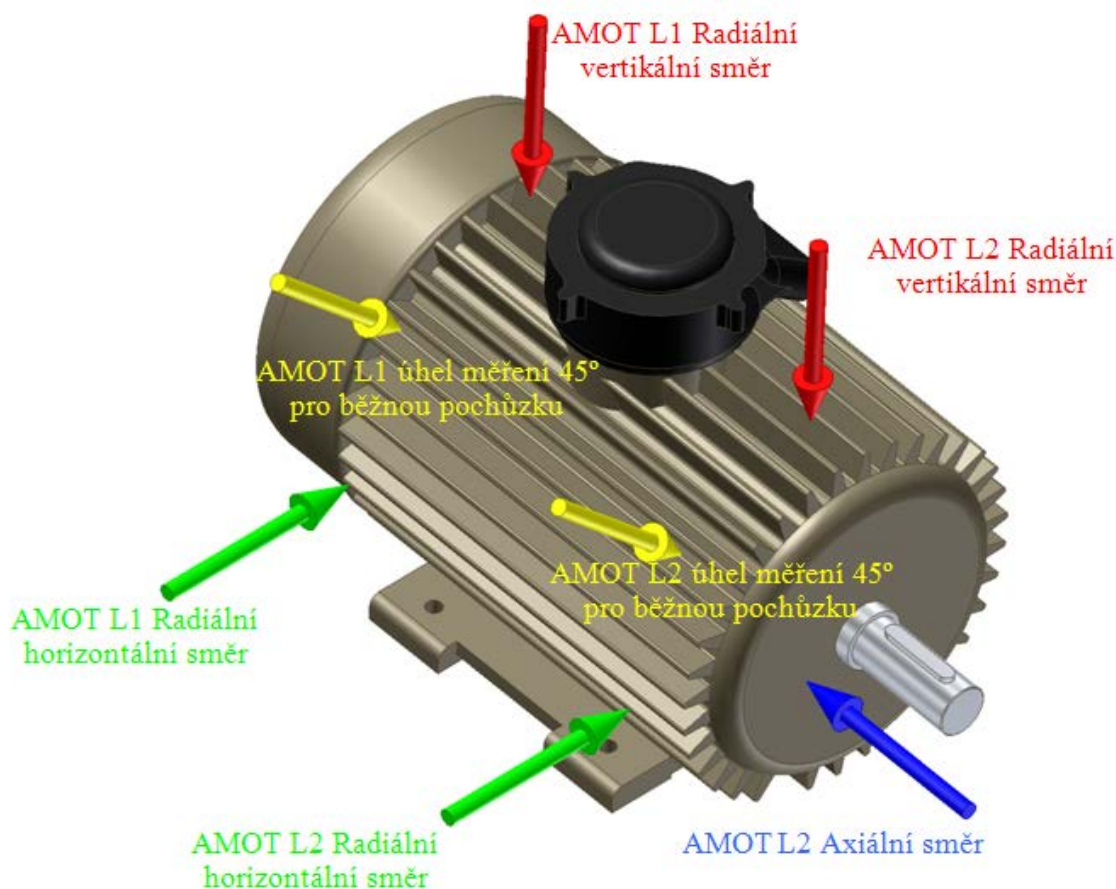




Měření je třeba provádět v pravidelných cyklech vždy na stejných místech, aby bylo možné správně porovnat s předchozími měřeními. Měření se provádějí za chodu stroje za běžných provozních podmínek, tzn. za ustálené provozní teploty a při jmenovitém zatížení (např. zatížení, napětí, otáčkách, tlaku, atd.).

Při umísťování snímače dbáme také na bezpečnost, umísťujeme v dostatečné vzdálenosti od rotujících součástí, umísťujeme na vhodných a dostupných místech. Při pokládání snímače na místo měření umísťujeme nejprve opatrně šikmo, posléze položíme úplně rovně. Dbáme na to, abychom se snímačem zbytečně silně neklepli, aby nedošlo k jeho poškození.

Na obr. 3-13 je znázorněno umísťování snímačů ve třech směrech, vertikálním, horizontálním a axiálním směru. Žlutý směr používáme pouze pro zrychlenou pochůzku, kterou používáme pro orientační diagnostikování technického stavu strojních zařízení. Chceme-li dosahovat lepších výsledků, při identifikaci závad, musíme provádět měření v každém bodě ve třech směrech (vertikálním, horizontálním a axiálním směru).



Obr. 3-15 Možnosti umístění snímačů na motoru [3]

Frekvenční rozsah měření za pomoci snímačů je mimo jiné ovlivněn také jejich připevněním k měřicím místům, s čímž je spojena problematika přenosu a šíření vibračního signálu. V následující tabulce (tabulka 1) je uvedeno omezení horní hranice frekvence při měření vibrací za použití jednotlivých způsobů uchycení snímačů.

Tabulka 1 Vliv připevnění snímače vibrací na způsobu připevnění [1]

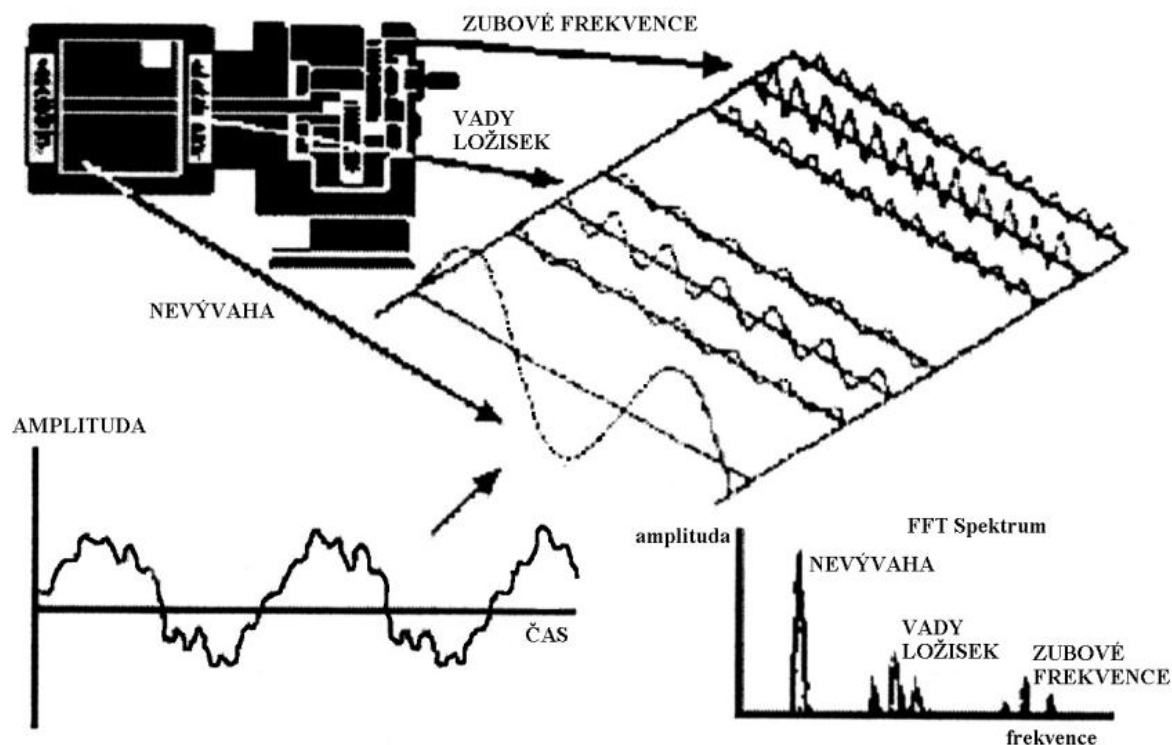
| Metoda připevnění                | Vliv na výkonnost snímače<br>(např. snímače s rezonancí 30 kHz)                                                                                                                     |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pevný šroubový spoj              | V tomto rozsahu snímače nedochází k žádnému snížení rezonanční frekvence snímače v důsledku připevnění.                                                                             |
| Izolovaný šroubový spoj          | Pokud je pro zabránění vzniku zemních smyček a jiných vlivů použit tuhý nevodivý materiál, jako je podložka ze slídy, montážní rezonanční frekvence je mírně snížena asi na 28 kHz. |
| Přilepení tuhým lepidlem         | Rezonance je snížena asi na 28 kHz                                                                                                                                                  |
| Přilepení měkkým epoxidem        | Rezonance je snížena asi na 8 kHz                                                                                                                                                   |
| Připevnění permanentním magnetem | Rezonance je snížena asi na 7 kHz                                                                                                                                                   |
| Ruční sonda se snímačem          | Rezonance je značně závislá na přítlaku a zkušenostech obsluhy. Metoda není doporučena pro měření nad 1kHz.                                                                         |

### 1.3.5 Rychlá Fourierova transformace FFT

Rychlá Fourierova transformace (FFT- Fast Fourier Transformation) je nejpoužívanější analytickou metodou, která ve vibračním signálu hledá periodické děje, které posléze zobrazuje dle příslušné frekvence ve frekvenčním spektru. U strojů s periodickým rotačním pracovním cyklem je vibrační signál způsoben tímto periodickým rotačním dějem. Potom frekvenční rozklad tohoto signálu (frekvenční spektrum), tedy rozklad na množství sinusových signálů s příslušnou amplitudou a počáteční fází, dává diagnostikovi významný nástroj pro identifikaci technického stavu strojních zařízení.

Bez použití této metody je signál složený z četného množství vibračních dějů, které je často těžké od sebe odlišit, jedná se o takzvaný časový záznam, který je výsledkem sčítání a odčítání vibrací jednotlivých součástí. Z hlediska přenášené energie si jsou časový průběh i frekvenční spektrum rovnocenné. Zjednodušeně lze vysvětlit tuto problematiku za pomoci obr. 3-14, kde lze vidět časový signál, který je výsledkem složení signálů z nevývahy, vady ložisek a zubové frekvence (včetně tzv. postranních pásem). Ve většině případů bývá harmonický signál způsobený nevývahou dominantní s největší amplitudou a vyskytuje se na otáčkové frekvenci, zatímco signál způsobený vadou ložiska, zubovou frekvencí apod. je o malé amplitudě a o určité specifické několikanásobné frekvenci oproti frekvenci nevývahy. Zjednodušeně lze říci, že nevyváženost (odstředivá síla od nevývahy) za jednu otáčku hřídele způsobí jednu vibrační harmonickou periodu, zatímco u vady valivého ložiska přejde za jednu otáčku hřídele několik valivých elementů přes vadu a způsobí tím za jednu otáčku hřídele více vibračních dějů než nevyváženost. Proto díky rozdílným frekvencím můžeme usuzovat o jakou vadu se jedná. Pozn. u valivých ložisek se dle frekvence dají rozeznávat vady vnitřního kroužku, vnějšího kroužku, valivého tělíska a klece ložiska. Pro výpočet těchto frekvencí lze použít ručních výpočtů za pomoci vzorců, v současnosti ale tyto frekvence udávají výrobci nebo jsou k dispozici v některých softwarech nebo přímo v analyzátoch určených pro měření.





Obr. 3-16 Zobrazení vibrací soustrojí, jejich skládání a zobrazení ve frekvenčním spektru [2]

### 1.3.6 Příklad jednoduchého skládání signálu

Pro tvorbu této podkapitoly byla využita vlastní literatura [3]

Princip jednoduchého skládání signálů je proveden na následujících příkladech, kde se jedná o pochopení skládání signálu mezi elektromotorem a ozubeným převodem. V praxi se tyto signály vlivem působení jiných vlivů (konstrukčních, okolních vlivů apod.) často liší od těchto ideálních průběhů.

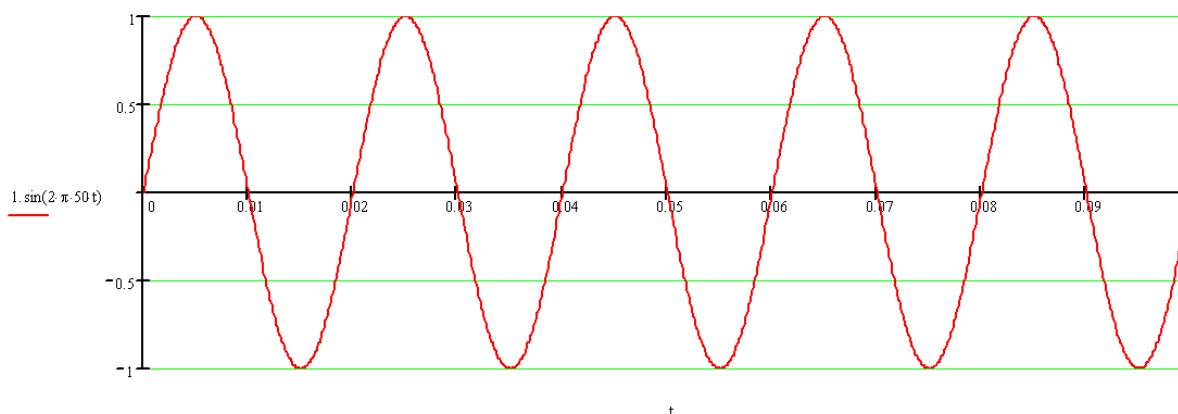
Vstupní hodnoty:

Elektromotor s otáčkami  $n_1 = 3000 \text{ min}^{-1}$

Frekvence otáčení  $f = \frac{3000}{60} = 50 \text{ Hz}$

Bereme-li v úvahu pouze ideální možnost, že bude působit pouze nevyváženost. Dostaneme následné harmonické kmitání s frekvencí 50 Hz.





Obr. 3-17 Periodický signál pocházející od elektromotoru způsobený nevývahou [3]

Jednostupňová převodovka:  $n_1 = 3000 \text{ min}^{-1}$

$z_1 = 10$ ,  $z_2 = 30 - z_1$ ,  $z_2$  počet zubů pastorku, kola

(Pozn. sudý počet zubů byl zvolen pro jednoduchost a názornost výpočtu.)

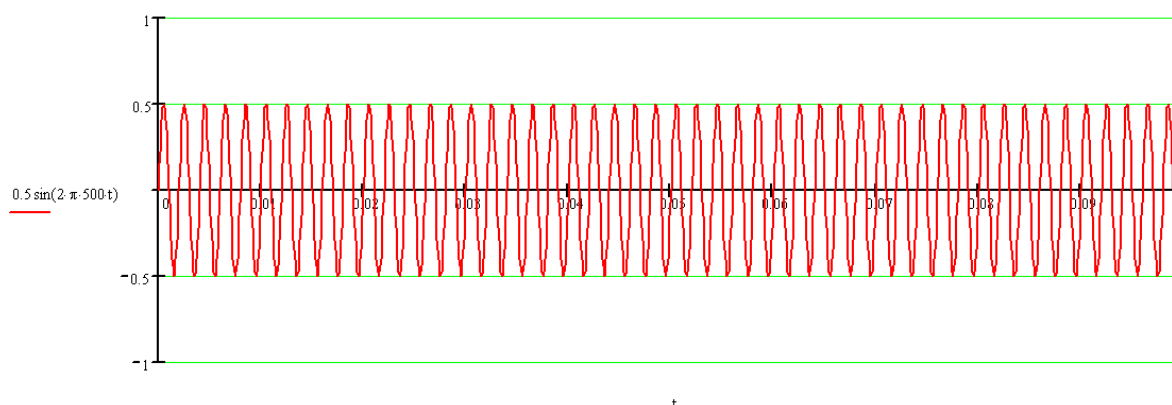
převodový poměr  $i = \frac{z_2}{z_1} = 3$

Nesprávná montáž a základní únavové poškození zubů se ve spektrech projevuje na zubové frekvenci  $f_{z12}$

$f_{z12} = z_1 \cdot f_{R1} = z_2 \cdot f_{R2} = 500 \text{ min}^{-1}$

$f_{R1}$ ,  $f_{R2}$  rotorová frekvence pastorku, kola

Zubová frekvence musí být stejná pro obě ozubená kola, protože právě každý zub na prvním ozubeném kole “narazí” pouze do jednoho proti zubu na druhém kole, tudíž způsobí rázovou vibraci. Tato zubová frekvence je potom rovna součinu počtu zubů a frekvence otáčení daného hřídele.



Obr. 3-18 Periodický signál generovaný převody [3]



Výsledný složený signál potom bude vypadat následovně:

$$1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 t)$$

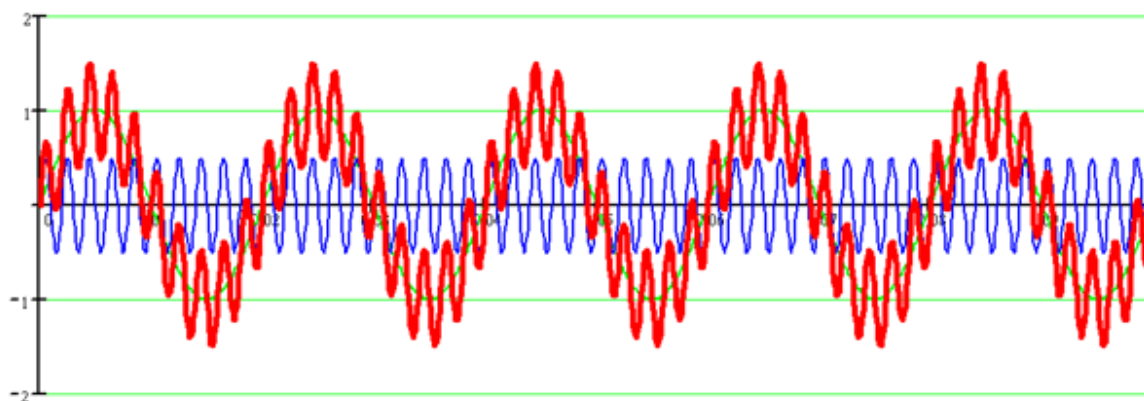
Elektromotor

$$0.5 \sin(2 \cdot \pi \cdot 500 t)$$

Převodovka

$$1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 t) + 0.5 \sin(2 \cdot \pi \cdot 500 t)$$

Složený signál



Obr. 3-19 Složený signál vzniklý kombinací signálu z převodovky a elektromotoru [3]



## 2 DOPLŇUJÍCÍ ZDROJE

- [1] WIKIPEDIA, části kapalinového teploměru [online], [cit. 2012-12-15]. Dostupné z WWW: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/Teplomer.jpg>
- [2] 3ZSCHEB, měření teploty [online], [cit. 2012-12-15]. Dostupné z WWW: <http://www.3zscheb.unas.cz/e-learning/fyzika%20web/teplotavyklad.htm>
- [3] WEBZDARMA, termočlánky [online], [cit. 2012-12-16]. Dostupné z WWW: <http://www.maryshfmmi.webzdarma.cz/mttd.htm>



### 3 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.
- [2] HELEBRANT, F. *Vibrační diagnostika VIB 01 - Základy vibrodiagnostiky*, Ediční středisko DTI, Bohumín 2007, 159 s.
- [3] BLATA, J. *Metody technické diagnostiky. /Učební text předmětu „Technická diagnostika“ / 1. vydání*, Ostrava: Vysoká škola báňská, 2011. 27 s.
- [4] BLATA, J. *Expertní aspekty diagnostického systému vibrací rotačních strojů*. Disertační práce na Fakultě strojní VŠB – TU Ostrava, Katedra výrobních strojů a konstruování. Vedoucí: Jurman, J. Ostrava, 2011. 117 s
- [5] VOŠTOVÁ, V. – HELEBRANT, F. – JEŘÁBEK, K. *Provoz a údržba strojů – II. část Údržba strojů*. ČVUT v Praze, Praha 2002, 124 s. ISBN 80-01-02531-4.
- [6] BLATA, J. *Vibrodiagnostika strojních zařízení /Učební text předmětu „Technická diagnostika“ / 2. vydání*, Ostrava: Vysoká škola báňská, 2012. 30 s.
- [7] Firemní literatura firmy Brüel & Kjaer
- [8] ČSN ISO 10816. *Vibrace - Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech - Část 1: Všeobecné směrnice*, 1998. 24 s. ISSN 011412
- [9] JENČÍK, J. – VOLF, J. a kol.: *Technická měření*. Vydavatelství ČVUT, Praha 2003, dotisk 1. vydání, 212s., ISBN 80-01-02138-6
- [10] KREIDL, M.: *Měření teploty – senzory a měřicí obvody*. BEN – technická literatura, Praha 2005, 1. vydání, 240 s., ISBN 80-7300-145-4





INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



**PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA  
STROJŮ**

**ZÁKLADNÍ PORUCHY A JEJICH PROJEVY VE FREKVENČNÍCH  
SPEKTRECH**

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

**Ostrava 2013**

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

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3028-5



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



## OBSAH

|          |                                                                                  |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>ZÁKLADNÍ PORUCHY A JEJICH PROJEVY VE FREKVENČNÍCH SPEKTRECH.....</b>          | <b>3</b>  |
| 1.1      | Nevyváženost .....                                                               | 4         |
| 1.2      | Statická nevyváženost.....                                                       | 4         |
| 1.3      | Momentová nevyváženost (dvojicová nevyváženost).....                             | 4         |
| 1.4      | Dynamická nevyváženost .....                                                     | 5         |
| 1.5      | Úhlová a rovnoběžná nesouosost .....                                             | 6         |
| <b>2</b> | <b>METODY PRO HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU STROJNÍCH ZAŘÍZENÍ .....</b>           | <b>9</b>  |
| 2.1      | Trendování vibrací.....                                                          | 9         |
| 2.2      | Identifikace technického stavu při využití časového záznamu - přidírání rotoru11 |           |
| <b>3</b> | <b>DOPLŇUJÍCÍ ZDROJE – KNIHY, INTERNET, ... ..</b>                               | <b>13</b> |
| <b>4</b> | <b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>                                                   | <b>14</b> |



# 1 ZÁKLADNÍ PORUCHY A JEJICH PROJEVY VE FREKVENČNÍCH SPEKTRECH



## STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Základní poruchy a jejich projevy ve frekvenčních spektrech

Statická nevyváženost

Momentová nevyváženost (dvojicová nevyváženost)

Dynamická nevyváženost

Úhlová a rovnoběžná nesouosost

Metody pro hodnocení technického stavu strojních zařízení

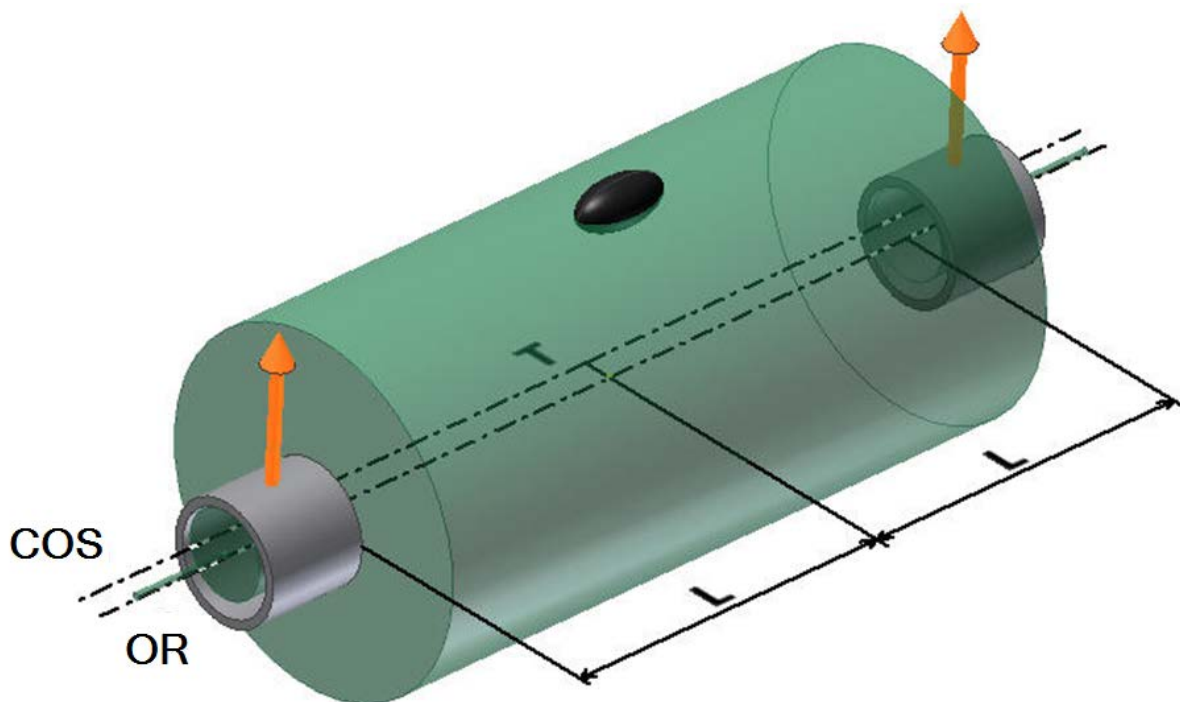


## 1.1 NEVYVÁŽENOST

Nevyváženost způsobuje vznik mechanického kmitání, které má za následek velké namáhání celého stroje. Nevvyváženost je jedním z nejběžnějších jevů, mající v praxi za následek vznik velkého dynamického namáhání a tím i razantní zkrácení životnosti těchto strojních zařízení.

## 1.2 STATICKÁ NEVYVÁŽENOST

Vyskytuje se výjimečně, většinou je přítomna pouze u rotujících kotoučů, kde průměr kotouče je podstatně větší, než jeho šířka. Statická nevyváženost má posunutou centrální osu setrvačnosti (COS) oproti ose rotace (OR), vzájemně jsou spolu ale rovnoběžné (obr. 4-1).



Obr. 4-1 Statická nevyváženost [4]

### Projev ve frekvenčním spektru vibrací:

Statická nevyváženost se projevuje výraznou amplitudou na otáčkové frekvenci v radiálním směru na obou ložiscích s nulovým nebo malým fázovým posuvem ( $\pm 30^\circ$ ). Tato amplituda bývá ve většině případů dominantní a je přítomná na základní rotorové frekvenci. Fázový rozdíl mezi horizontálním a vertikálním směrem je přibližně  $90^\circ$  ( $\pm 30^\circ$ ). Přítomnost harmonických násobků otáčkové frekvence ukazuje na vysokou nevyváženost nebo na vymezování vůlí v ložiskách.

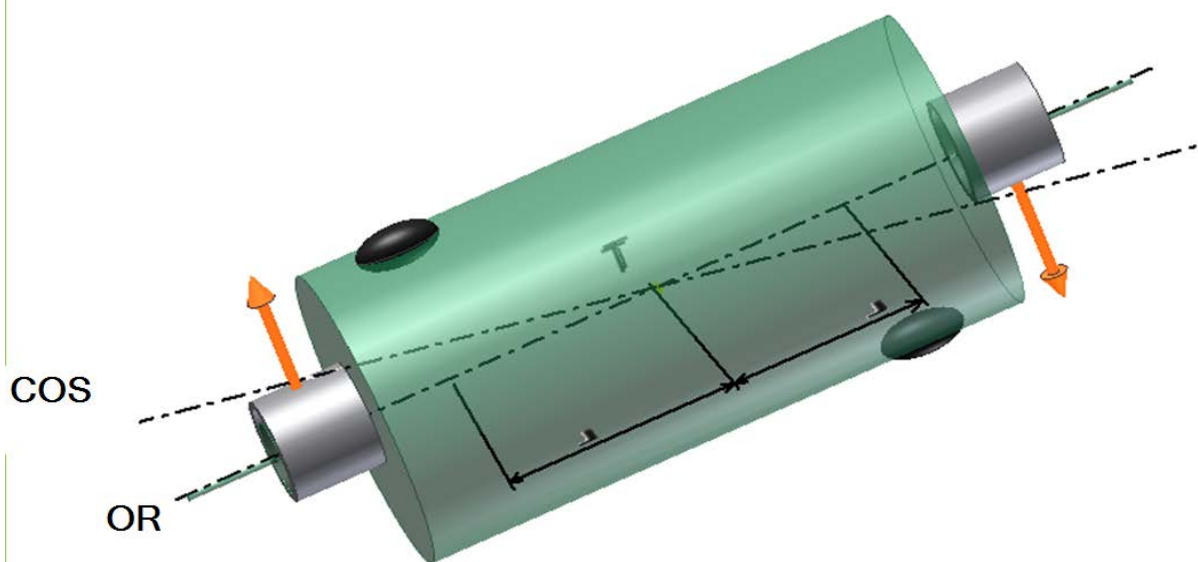
## 1.3 MOMENTOVÁ NEVYVÁŽENOST)

## NEVYVÁŽENOST

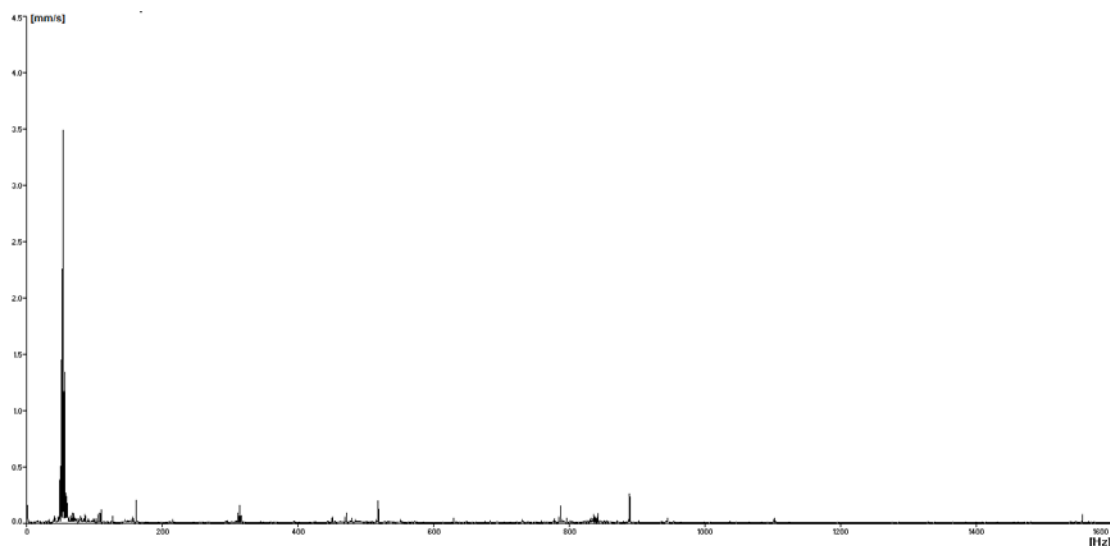
## (DVOJICOVÁ

V případě momentové nevyváženosti jsou osy rotace (OR) a centrální osa setrvačnosti (COS) různoběžné, ale osy se protínají v těžišti rotoru. Při otáčení rotoru působí dvojice setrvačných sil způsobených dvěma nevyvážky na rotor, což způsobuje vibrace. V klidovém stavu se rotor jeví jako vyvážený, nevyváha se projevuje až při pohybu a to dvojicí sil, které způsobují momentové namáhání (obr. 4-2).





Obr. 4-2 Momentová nevyváženost [4]



Obr. 4-3 Příklad frekvenčního spektra s nevyváhou statickou nebo momentovou [4]

### Projev ve frekvenčním spektru vibrací:

Momentová nevyváženost se projevuje výraznou amplitudou v radiálním směru na obou ložiskách (viz obr. 4-3) s nulovým nebo malým fázovým posuvem ( $\pm 30^\circ$ ). Tato amplituda bývá ve většině případů dominantní a je přítomná na základní rotorové frekvenci. Fázový rozdíl mezi horizontálním a vertikálním směrem je přibližně  $90^\circ$  ( $\pm 30^\circ$ ). Přítomnost harmonických násobků otáčkové frekvence ukazuje na vysokou nevyváženost nebo na vymezování vůlí v ložiskách.

## 1.4 DYNAMICKÁ NEVYVÁŽENOST

Ve většině případů se vyskytuje dynamická nevyváženost, která v sobě kombinuje statickou a momentovou nevyváženost. Hlavní osa setrvačnosti neprotíná osu rotace v těžišti, ale k protnutí dochází mimo těžiště (obr. 4-4).

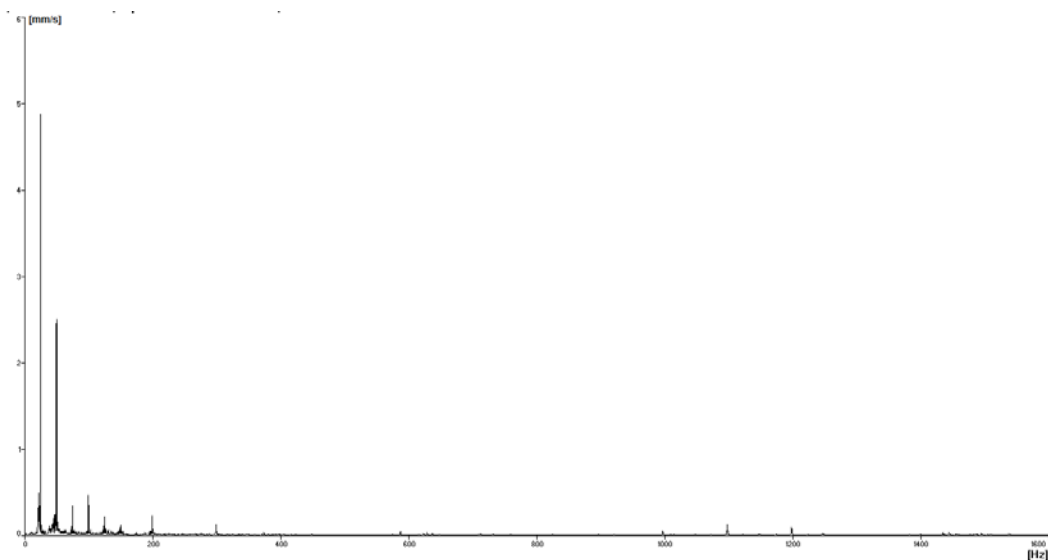




Obr. 4-4 Dynamická nevyváženost [4]

### Projev ve frekvenčním spektru vibrací:

Dynamická nevyváženost se také projevuje výraznou amplitudou na otáčkové frekvenci v radiálním směru na obou ložiskách, při velké nevyváženosti se může vytvořit amplituda na druhém násobku otáčkové frekvence (obr. 4-5). Pro odstranění nevyváženosti je třeba vyvažovat ve dvou rovinách. Fázový rozdíl mezi vibracemi v horizontálním směru na vnitřním a vnějším ložisku se může pohybovat od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ . Fázový rozdíl ve vertikálním směru musí být shodný s fázovým rozdílem v horizontálním směru.



Obr. 4-5 Projev dynamické nevyváženosti ve spektru vibrací [4]

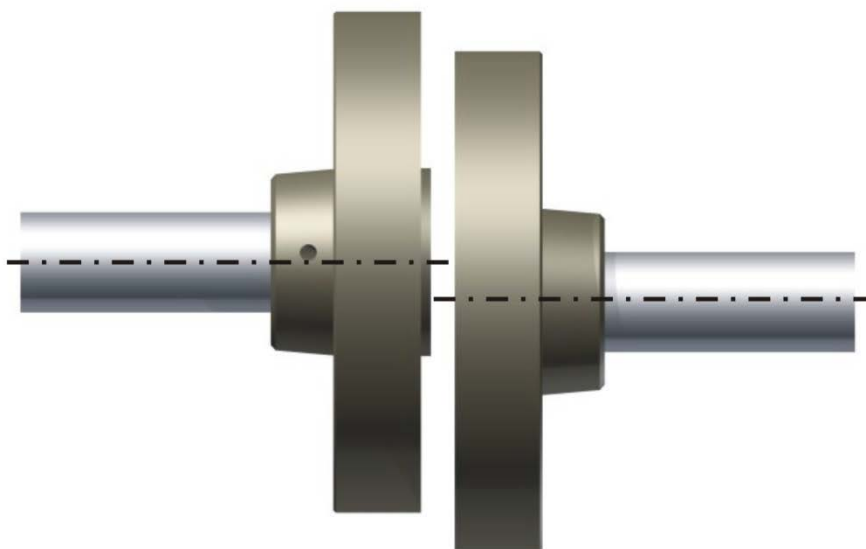
## 1.5 ÚHLOVÁ A ROVNOBĚŽNÁ NESOUOSOST

Velká část strojních zařízení je provozována se špatným ustavením nebo se špatnou, popř. poškozenou spojkou. Špatné ustavení nejvíce působí na spojku, což vede k velkému tepelnému i silovému namáhání spojky i k dodatečné deformaci hřídelů a zvyšování vibrací.

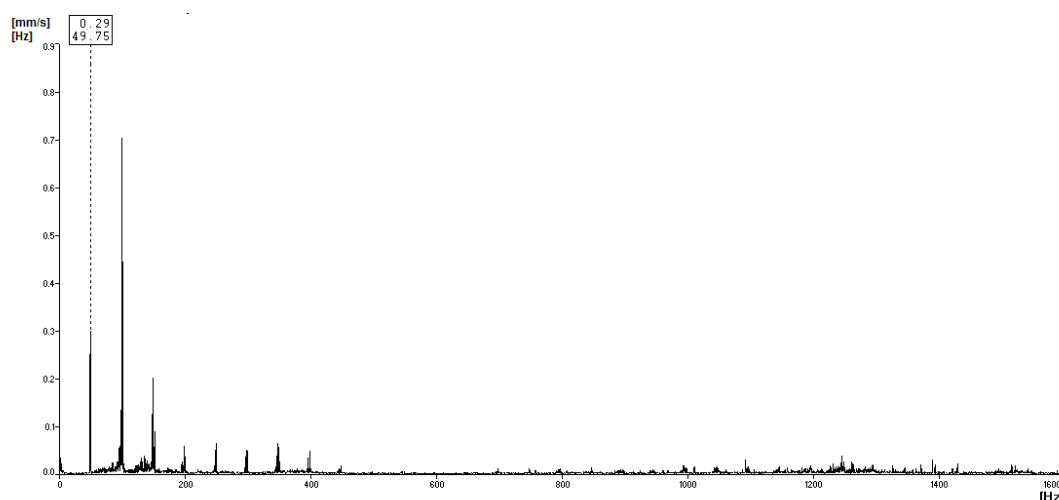


Tyto vibrace se dále přenášejí do celého soustrojí a způsobují tak podstatné zvýšení vibrací, což vede k druhotnému poškození celého soustrojí.

**Rovnoběžná nesouosost**, kdy původní osy rotací hřídelí před smontováním byly rovnoběžné (obr. 4-6). Projevuje se velkými radiálními vibracemi. Druhá harmonická často bývá větší než první. S rostoucím přesazením hřídelů se generují ve spektru amplitudy s čtvrtým až osmým harmonickým násobkem.



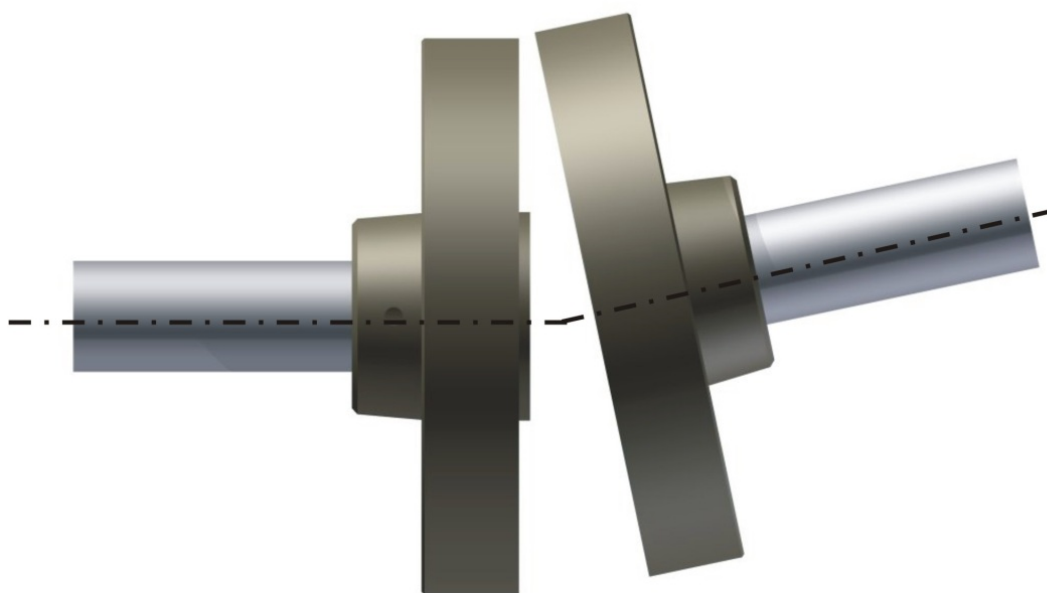
Obr. 4-6 Znázornění rovnoběžné nesouososti při rovnoběžném přesazení hřídelů



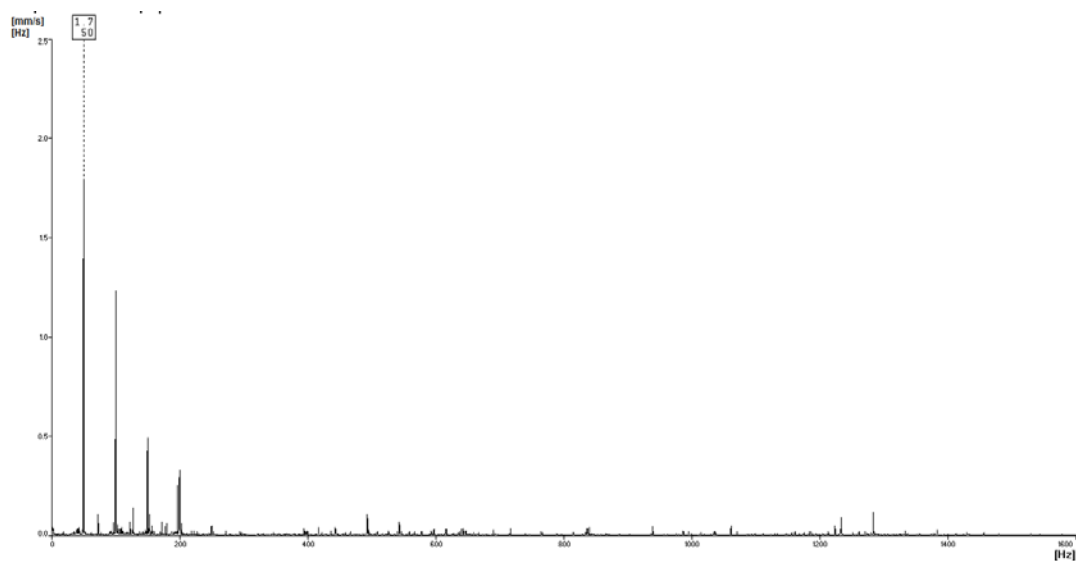
Obr. 4-7 Typický projev rovnoběžné nesouososti v radiálním směru s vyznačením otáčkové složky ve frekvenčním spektru [4]

**Úhlová nesouosost**, kdy původní osy rotací hřídelů před smontováním byly nerovnoběžné, ale protínaly se (obr. 4-8). Projevuje se velkými axiálními vibracemi. Ve spektru může dominovat amplituda na první, druhé nebo také třetí harmonické frekvenci. Fázový rozdíl na obou stranách spojky je opačný, tudíž fázový rozdíl je  $180^\circ$ .





Obr. 4-8 Znázornění úhlové nesouososti



Obr. 4-9 Typický projev úhlové nesouososti v axiálním směru s vyznačením otáčkové složky ve frekvenčním spektru [4]

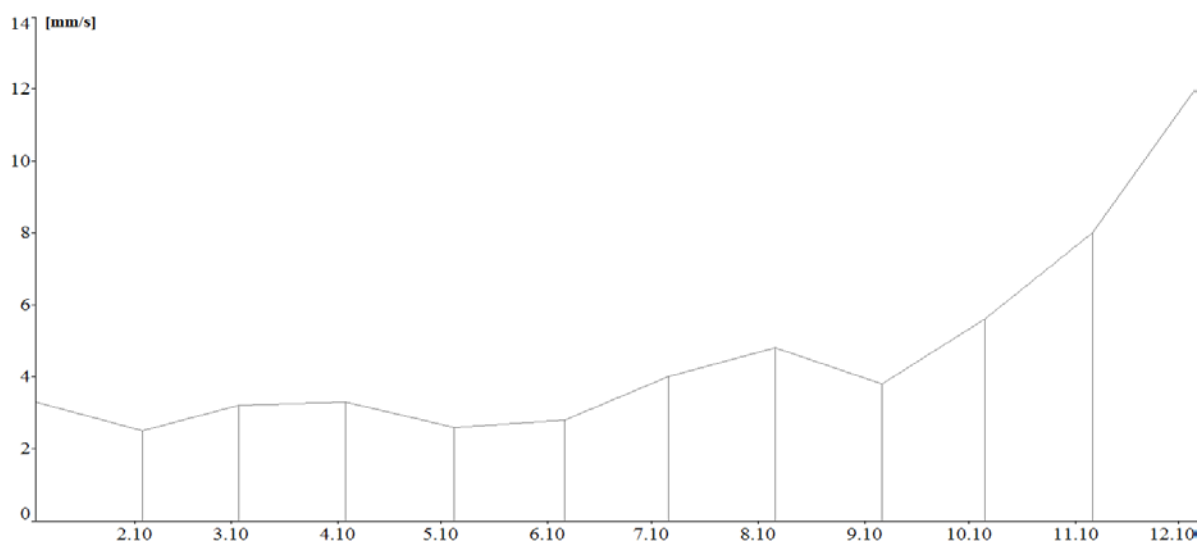
## 2 METODY PRO HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU STROJNÍCH ZAŘÍZENÍ

### 2.1 TRENDOVÁNÍ VIBRACÍ

V případě trendování se jedná o provádění měření v pravidelných intervalech, např. měření vibrací, teploty apod. a jejich dlouhodobý záznam pro možnost porovnání aktuální hodnoty s dlouhodobým ustáleným stavem. V podstatě se jedná o vytvoření vanové křivky v průběhu času a sledování vývoje měřené hodnoty. Při prudkém zvyšování této hodnoty oproti ustálenému stavu to znamená blížící se poruchu. Praktická ukázka takového trendu je na obr. 5-1. Zde můžeme sledovat roční průběh rychlosti vibrací a ke konci můžeme pozorovat patrné zhoršení technického stavu. Toto zhoršení se projevuje prudkým zvyšováním hodnoty vibrací a je třeba naplánovat a provést co nejdříve odstávku tohoto zařízení a posléze provést opravu. Pro určení limitních hodnot nám můžou sloužit nejrůznější normy, např. ČSN ISO 10 816 (obr. 5-2), dle těchto hodnot a zkušeností můžeme nastavit alarmové hodnoty, kdy při překročení této hodnoty dojde k varování o překročení nastavených hodnot, případně k zastavení celého zařízení.

V případě vibrodiagnostiky provádíme měření a trendování rychlosti, zrychlení nebo výchylky vibrací. Při sledování těchto veličin musíme mít ale na paměti, že jsou vibrace velmi závislé na otáčkách a zatížení. Proto je nutné, aby měření probíhala vždy za stejných podmínek. Na obr. 5-3 je znázorněn rozdíl mezi měřením rychlosti vibrací v zatíženém a nezatíženém stavu. Jak je patrné, rychlost vibrací se s otáčkami i se zatížením výrazně mění. Rozdíl mezi nezatíženým a zatíženým stavem v tomto případě dosahuje skoro hodnoty 100 %. Abychom zajistili možnost správného porovnávání výsledků, je nezbytné, aby měření probíhalo za stejných podmínek, tj. za stejných otáček i zatížení atd.

V případě sledování zrychlení vibrací má zrychlení oproti rychlosti vibrací velkou výhodu a to v tom, že nedochází ke změně hodnoty zrychlení se zatížením (obr. 5-4), což je velká výhoda. Otáčky zařízení musí být ovšem obdobné, protože dochází ke změně zrychlení s otáčkami nebo lze provést přepočty. V případě rychlosti vibrací se sledují a také nejvíce projevují spíše mechanické vlivy jako je nevyváženost, nesouosost apod., tak v případě zrychlení vibrací sledujeme opotřebení ložisek, ozubení atd.



Obr. 5-1 Roční průběh trendu rychlosti vibrací [6]

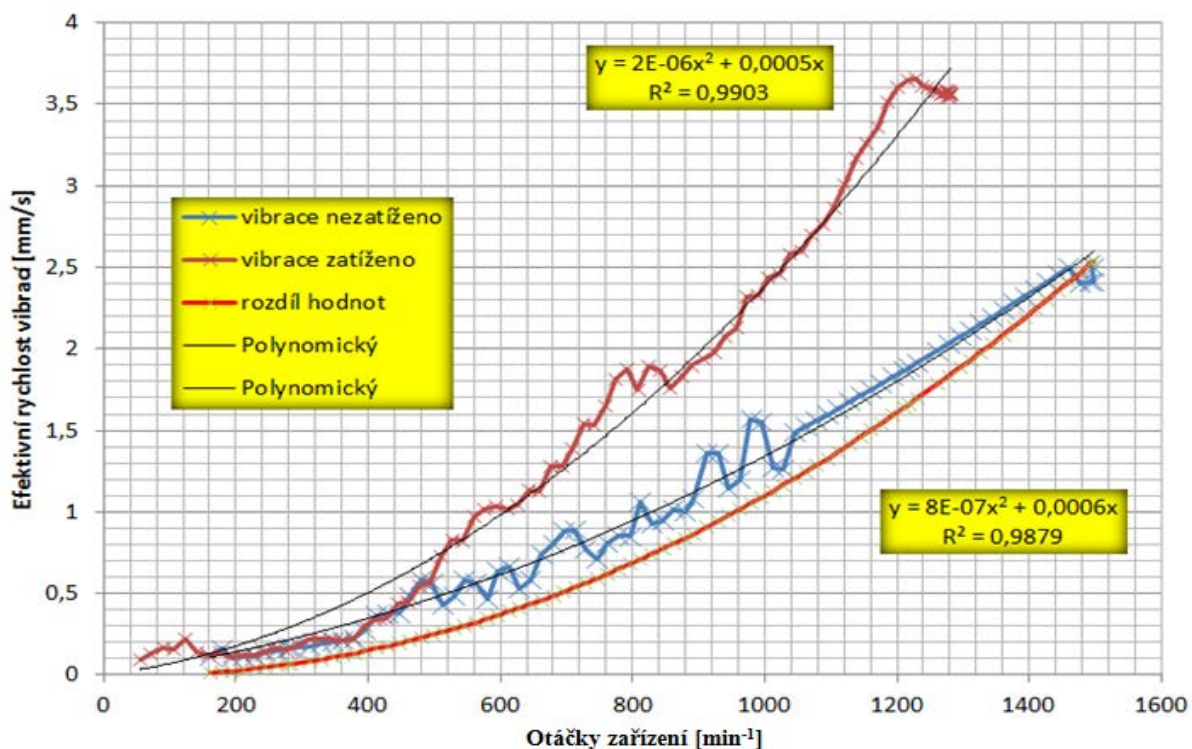




| Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s] | Třída I<br>Malé stroje<br>do 15KW | Třída II<br>Středně velké stroje<br>15-75KW | Třída II<br>Velké stroje<br>na pevných<br>základech<br>> 75KW | Třída IV<br>Velké stroje<br>na měkkých<br>základech<br>> 75KW |
|--------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 0,28                                       | Green                             | Green                                       | Green                                                         | Green                                                         |
| 0,45                                       |                                   |                                             |                                                               |                                                               |
| 0,71                                       |                                   |                                             |                                                               |                                                               |
| 1,12                                       |                                   |                                             |                                                               |                                                               |
| 1,8                                        | Yellow                            | Yellow                                      | Green                                                         | Green                                                         |
| 2,8                                        | Orange                            | Yellow                                      |                                                               |                                                               |
| 4,5                                        | Orange                            | Orange                                      |                                                               |                                                               |
| 7,1                                        | Red                               | Orange                                      |                                                               |                                                               |
| 11,2                                       | Red                               | Red                                         | Red                                                           | Orange                                                        |
| 18                                         |                                   |                                             | Red                                                           | Orange                                                        |
| 28                                         |                                   |                                             | Red                                                           | Red                                                           |
| 45                                         |                                   |                                             | Red                                                           | Red                                                           |

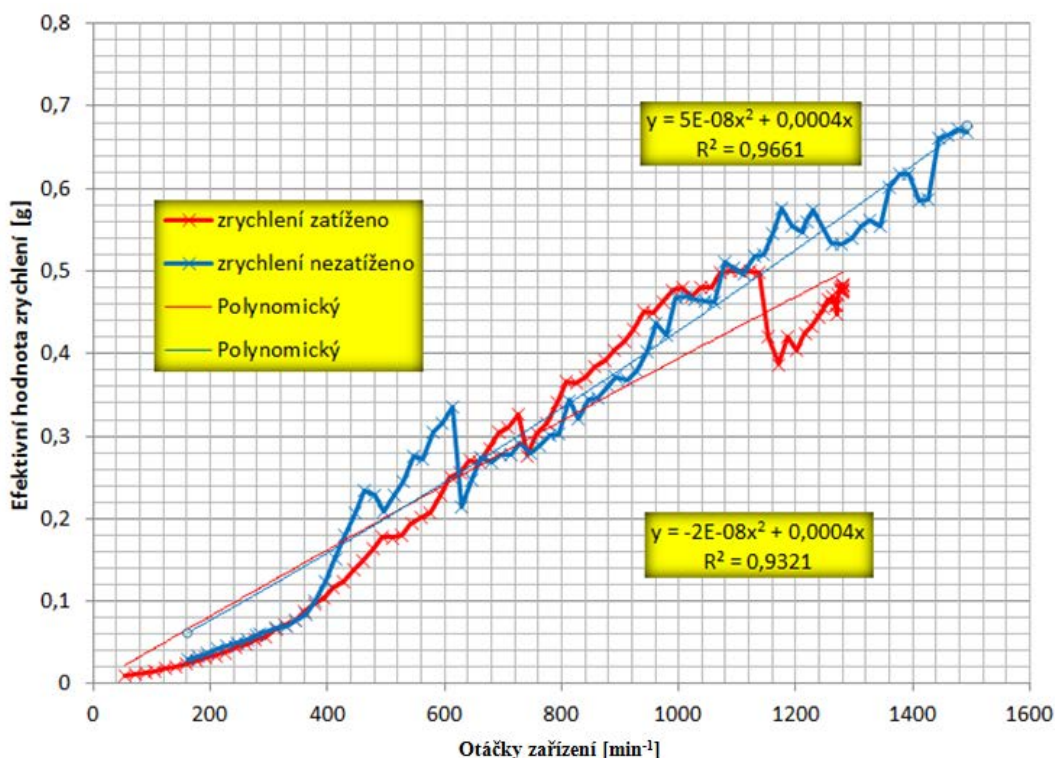
|   |                                                                                       |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------|
| A | Stav nového stroje.                                                                   |
| B | Za tohoto stavu je provoz stroje dovolen po neomezeně dlouhou dobu.                   |
| C | Přípustný je krátkodobý provoz stroje, z pravidla jen do doby nejbližší možné opravy. |
| D | Stav je neuspokojivý, hrozí poškození stroje.                                         |

Obr. 5-2 Doporučené hodnoty celkové rychlosti vibrací [8]



Obr. 5-3 Rozběh zařízení - porovnání rozdílu hodnot rychlosti vibrací mezi zatíženým a nezatíženým zařízením od nízkých po vysoké otáčky [4]



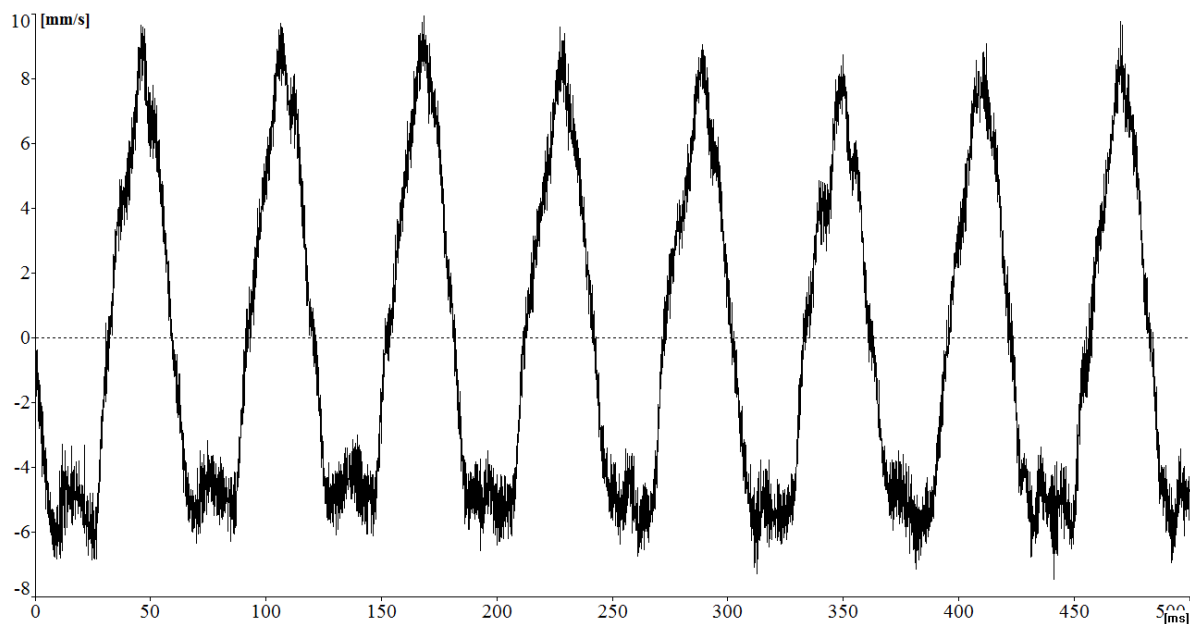


Obr. 5-4 Porovnání rozdílů hodnot zrychlení vibrací mezi zatíženým a nezatíženým zařízením [4]

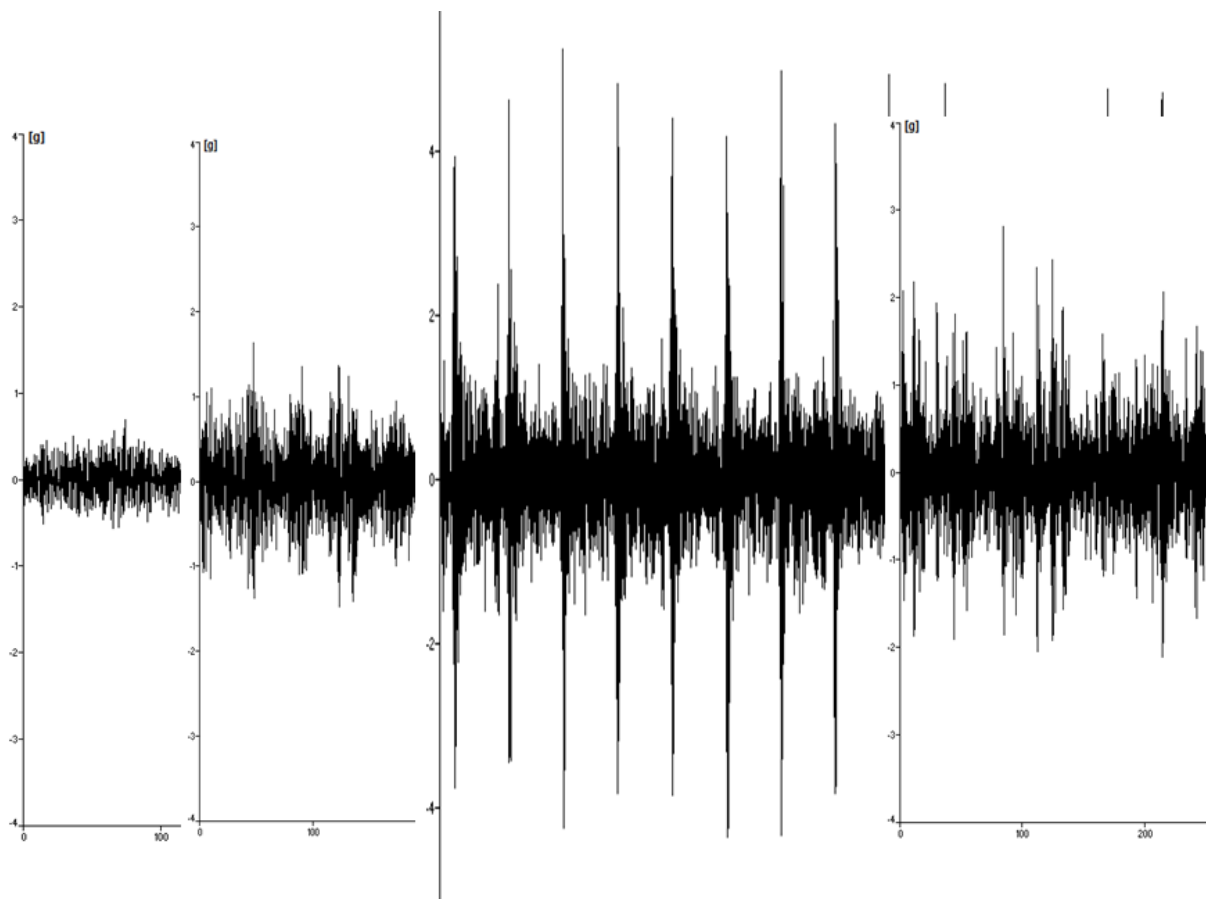
## 2.2 IDENTIFIKACE TECHNICKÉHO STAVU PŘI VYUŽITÍ ČASOVÉHO ZÁZNAMU - PŘIDÍRÁNÍ ROTORU

Časový záznam a možnosti jeho vyhodnocení jsou v současnosti velmi opomíjeným nástrojem. Spousta diagnostiků časový záznam a jeho vyhodnocení využívá zřídka nebo vůbec ne. To je ale obrovská škoda, protože časový záznam je nosičem řady informací, které za pomoci jiných metod nelze vůbec nebo jen problematicky identifikovat. Vyhodnocování časových záznamů a jejich případná kombinace s dalšími nástroji technické diagnostiky může poskytnout cenný nástroj pro vyhodnocení technického stavu strojních zařízení.

Na obr. 5-5 je znázorněn časový signál s projevem poruchy přidírání rotoru, resp. dochází k tření rotoru o stator. Na obrázku je patrný rozdíl mezi ořezanou a neořezanou půlvalnou časového záznamu rychlosti vibrací. Identifikace tohoto problému je nejvhodnější pouhým pohledem s využitím základních znalostí a zkušeností, tento problém se velmi těžko diagnostikuje za pomoci jiných metod. Na dalším obrázku (obr. 5-6) je znázorněn průběh opotřebení ložiska, kdy z dobrého stavu postupně dochází k vývoji prvního pittingu a tím k tvorbě vysokých ostrých špiček v časovém záznamu zrychlení, což je způsobeno vytvořením prvních ostrých hran, kdy při nárazu valivého tělíska dochází k inicializaci velmi krátkých, ale výrazných dějů. Postupně dochází k zahlazování těchto hran, což má za následek snižování špičkových hodnot, ale postupně roste energie těchto vibrací. Postupně dochází ke vzniku nových trhlin a postupnému zahlazování jejich hran, což má za následek výkyvy špičkových hodnot zrychlení vibrací v časovém záznamu.



Obr. 5-5 Záznam časového záznamu vibrací s přidáním rotoru elektromotoru [4]



Obr. 5-6 Průběh postupného poškození ložiska v časovém signálu zrychlení vibrací

### 3 DOPLŇUJÍCÍ ZDROJE

- [1] WIKIPEDIA, části kapalinového teploměru [online], [cit. 2012-12-15]. Dostupné z WWW: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/Teplomer.jpg>
- [2] 3ZSCHEB, měření teploty [online], [cit. 2012-12-15]. Dostupné z WWW: <http://www.3zscheb.unas.cz/e-learning/fyzika%20web/teplotavyklad.htm>
- [3] WEBZDARMA, termočlánky [online], [cit. 2012-12-16]. Dostupné z WWW: <http://www.maryshfmmi.webzdarma.cz/mttd.htm>



## 4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.
- [2] HELEBRANT, F. *Vibrační diagnostika VIB 01 - Základy vibrodiagnostiky*, Ediční středisko DTI, Bohumín 2007, 159 s.
- [3] BLATA, J. *Metody technické diagnostiky. /Učební text předmětu „Technická diagnostika“ / 1. vydání*, Ostrava: Vysoká škola báňská, 2011. 27 s.
- [4] BLATA, J. *Expertní aspekty diagnostického systému vibrací rotačních strojů*. Disertační práce na Fakultě strojní VŠB – TU Ostrava, Katedra výrobních strojů a konstruování. Vedoucí: Jurman, J. Ostrava, 2011. 117 s
- [5] VOŠTOVÁ, V. – HELEBRANT, F. – JEŘÁBEK, K. *Provoz a údržba strojů – II. část Údržba strojů*. ČVUT v Praze, Praha 2002, 124 s. ISBN 80-01-02531-4.
- [6] BLATA, J. *Vibrodiagnostika strojních zařízení /Učební text předmětu „Technická diagnostika“ / 2. vydání*, Ostrava: Vysoká škola báňská, 2012. 30 s.
- [7] Firemní literatura firmy Brüel & Kjaer
- [8] ČSN ISO 10816. *Vibrace - Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech - Část 1: Všeobecné směrnice*, 1998. 24 s. ISSN 011412
- [9] JENČÍK, J. – VOLF, J. a kol.: *Technická měření*. Vydavatelství ČVUT, Praha 2003, dotisk 1. vydání, 212s., ISBN 80-01-02138-6
- [10] KREIDL, M.: *Měření teploty – senzory a měřicí obvody*. BEN – technická literatura, Praha 2005, 1. vydání, 240 s., ISBN 80-7300-145-4



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



# **PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ**

---

## **Termodiagnostika**

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

**Ostrava 2013**

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

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3028-5



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

## OBSAH

|          |                                                    |           |
|----------|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>TERMODIAGNOSTIKA .....</b>                      | <b>3</b>  |
| 1.1      | Úvod .....                                         | 4         |
| 1.2      | Základní vztahy a veličiny.....                    | 4         |
| 1.3      | Rozdělení dotykových teploměrů .....               | 4         |
| <b>2</b> | <b>DOPLŇUJÍCÍ ZDROJE – KNIHY, INTERNET, ... ..</b> | <b>9</b>  |
| <b>3</b> | <b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>                    | <b>10</b> |



# 1 TERMODIAGNOSTIKA



## STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Základní vztahy  
Rozdělení senzorů teploty  
Dilatační teploměry  
Odporové teploměry  
Polovodičové teploměry  
Termoelektrické teploměry



## MOTIVACE:

Měření teploty a správné vyhodnocení změřených dat má zásadní význam při aplikaci termodiagnostiky. Termodiagnostika, zvláště pak aplikace zviditelnění teplotních polí za pomoci vizualizace termokamerami, má široké uplatnění v řadě technických aplikací a v řadě dalších oborů.





## 1.1 ÚVOD

S měřením teplot a jejich vyhodnocením se můžeme setkat v nejrůznějších aplikacích a oblastech, například ve strojírenském, automobilovém, stavebním, hutním a potravinářském průmyslu, ve zdravotnictví, u záchranných, policejních a vojenských složek a v řadě dalších oblastech a aplikacích.

## 1.2 ZÁKLADNÍ VZTAHY A VELIČINY

Výraz teplota pochází z latinského slova „temperatura  $\approx$  příjemný pocit“ jak sám název napovídá, tak termín teplota vychází ze zvláštního subjektivního pocitu člověka, který je schopen vnímat a také reagovat na teplo, případně chlad. Teplota se neprojevuje jen jako subjektivní pocit, ale i řadou jiných způsobů: např. změna teploty mění rozměry většiny těles (některá se zvětšují, jiná zmenšují). Zvýšením teploty se kovová tyč roztahuje, kaučukové vlákno se zkracuje, plyny mění svůj objem atd. Teplota je jednou z nejdůležitějších stavových veličin ovlivňujících téměř všechny stavy a procesy v přírodě.

Teplota je stavová veličina určující stav termodynamické rovnováhy. Fyzikální veličina teplota se nesmí zaměňovat za fyzikální veličinu teplo, neboť teplo je forma energie související s pohybem částic dané soustavy těles, ale není stavovou veličinou, neboť nezávisí na přítomném stavu soustavy, ale na celé minulosti vývoje této soustavy. Teplota je jedna z mála veličin, která se nedá měřit přímo, ale pouze prostřednictvím jiných fyzikálních veličin. Měření teploty je tedy měření nepřímé.

## 1.3 ROZDĚLENÍ DOTYKOVÝCH TEPLOMĚRŮ

Pro tvorbu této kapitoly byly použity některé informace z literatury [9], [10]

Dotykové teploměry jsou při měření v přímém styku s měřeným prostředím (objektem).

Dotykové teploměry lze rozdělit podle fyzikálního principu funkce na:

- **dilatační** - využívají teplotní roztažnosti tuhých látek, kapalin a plynů.
  - kapalinový teploměr - k měření teploty využívá teplotní roztažnosti kapaliny (rtuť, etylalkohol, pentanová směs apod.).
  - bimetalový teploměr – je složen ze dvou pevně spojených kovů s různými teplotními součiniteli délkové roztažnosti. Při změně teploty se bimetalový (dvojkový) pás ohýbá, tento ohyb je závislý na teplotě a je zobrazen na stupnici nebo displeji. Výhodami bimetalických teploměrů je nízká cena, jednoduchá údržba a obsluha, robustní konstrukce. Nevýhodou bimetalických teploměrů je menší rozsah teplot (pouze do 400 °C), menší přesnost (do 1,5 %), pomalá odezva na změnu teploty (musí se prohřát nejen vnější trubice, ale i stočený bimetalický pásek uvnitř).
  - plynový teploměr – pro měření teploty se využívá závislost tlaku plynu na teplotě při stálém objemu plynu, popř. závislost objemu plynu na teplotě při stálém tlaku.
- **odporové** - pro měření teploty využívá závislost elektrického odporu vodiče nebo polovodiče na teplotě. Pro měření teploty se využívá především čistých kovů (platina,

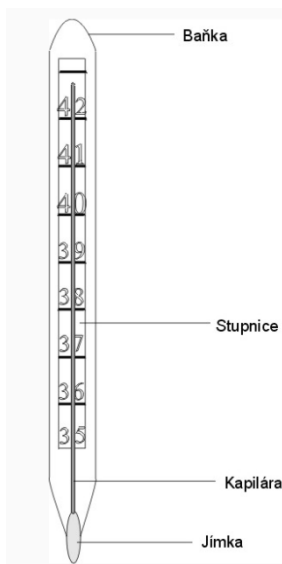


měď a nikl) a polovodičů. Platina je nejvhodnějším materiálem pro realizaci měřicích odporů. Teplotní součinitel odporu je poměrně velký a hlavně časově stálý. To umožňuje vzájemnou záměnu měřicích odporů bez dodatečného ověřování. Výhodné vlastnosti platiny řadí platinové odporové teploměry mezi nej přesnější teploměry.

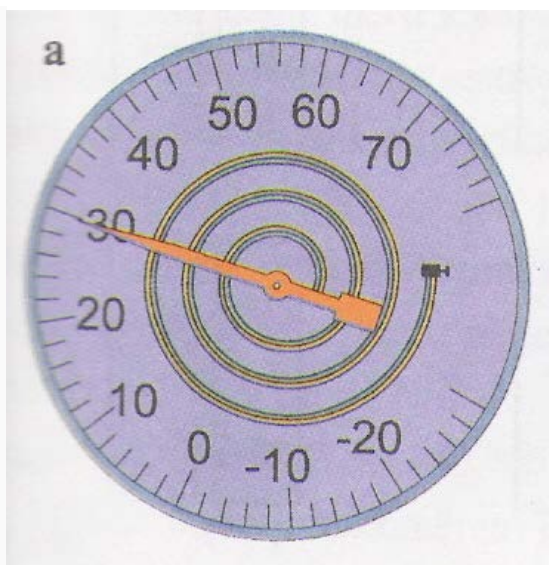
- **polovodičové** - využívají změn vlastností polovodičových materiálů se změnou teploty. Velmi často je tato změna převáděna na změnu odporu čidla, proto jsou také často řazeny k odporovým. Polovodičové odporové snímače teploty (termistory) využívají změny svého odporu v závislosti na teplotě, obdobně jako kovové odporové teploměry. U polovodičů je dominantní teplotní závislostí koncentrace nositelů náboje. Na rozdíl od teploměrů odporových kovových se může odpor měnit dvěma způsoby:
  - se vzrůstající teplotou odpor klesá (negativní teplotní koeficient odporu  $\alpha$ )
  - se vzrůstající teplotou odpor stoupá (pozitivní teplotní koeficient odporu  $\alpha$ )

Termistory jsou oproti kovům asi 10x citlivější, ale jejich charakteristika je výrazně nelineární. Můžou být provedeny jako NTC s negativním součinitelem odporu  $\alpha$  a PTC s kladným součinitelem  $\alpha$ . Termistory NTC se také nazývaly "negastory", termistory PTC "pozistory". Pro měření teploty se výhradně používají termistory NTC (se zahřátím součástky odpor klesá), proto jim zůstal zjednodušený název termistory. Termistory NTC (negastory) jsou vyráběny práškovou technologií ze směsi oxidů kovů. Termistory PTC (pozistory) jsou víceméně vyráběny technologií tlustých vrstev z ferroelektrických keramických látek (např.  $\text{BaTiO}_3$ ) nebo použitím cermentových past na bázi uhlíku.

- **termoelektrické** (také termočlánek) - ve kterém se k měření teploty využívá termoelektrický jev, objeveném Seebeckem v roce 1821. Termočlánek je tvořen dvojicí elektricky vodivých drátů různého chemického složení. Je-li spoj těchto drátů (teplý konec termočlánu) zahřát na teplotu vyšší, než je teplota na opačném konci drátů - studený konec) vzniká termočlánekové napětí.

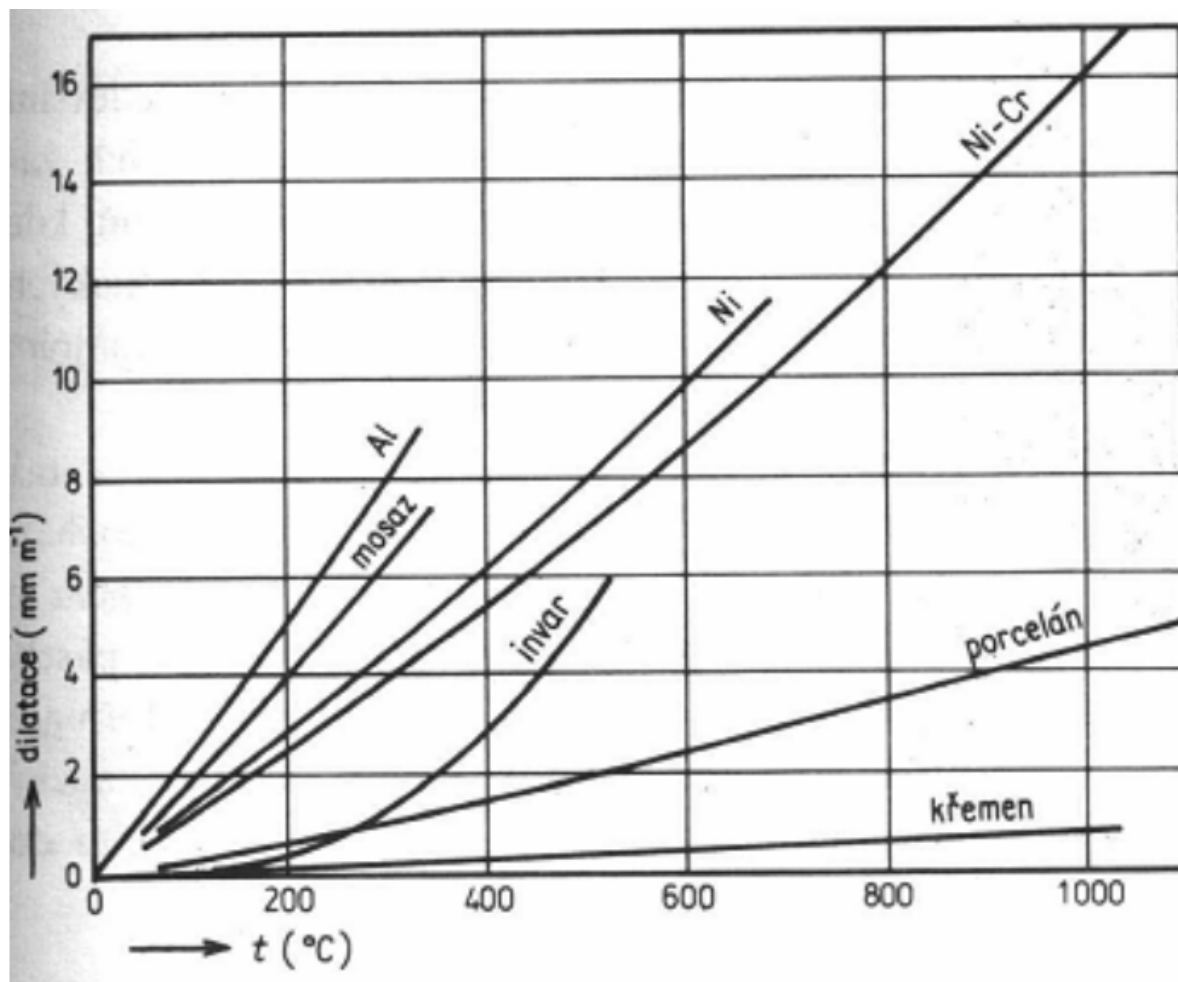


Obr. 6-1 Části kapalinového teploměru [11]

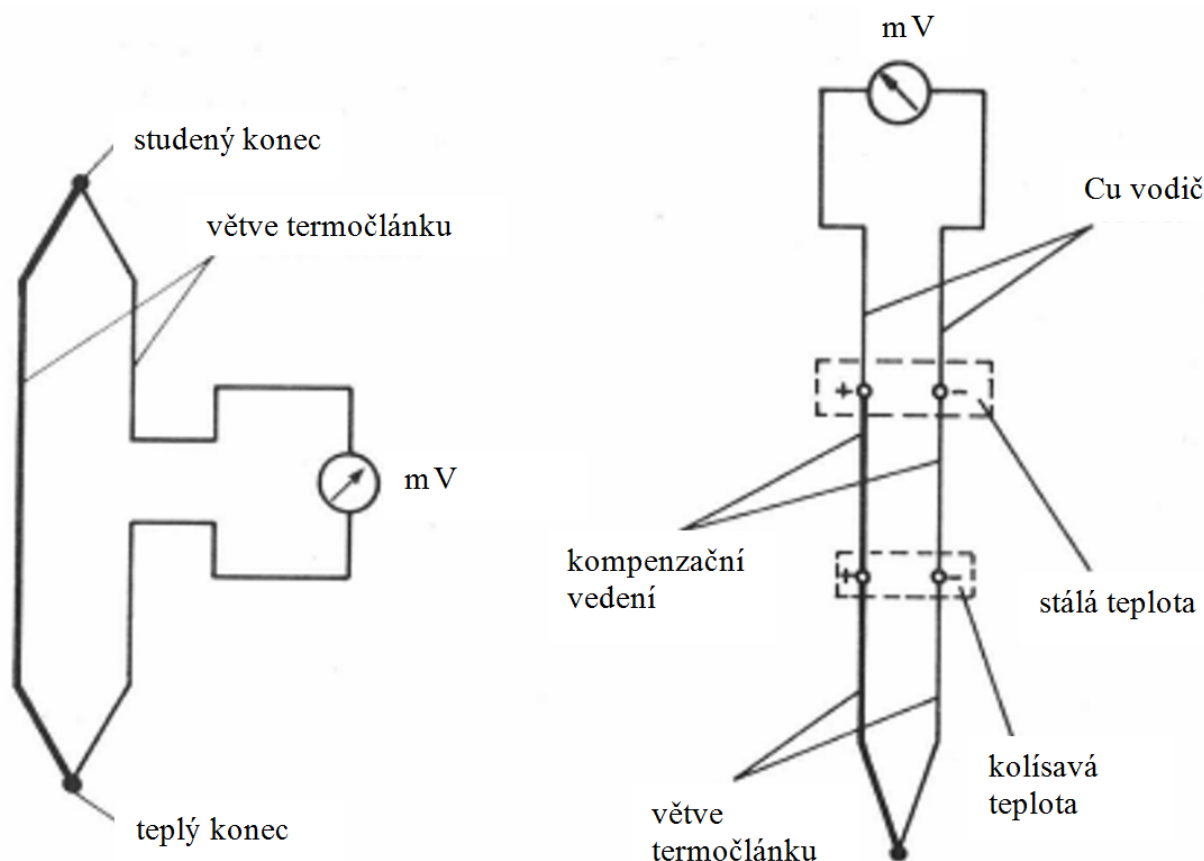


Obr. 6-2 Zobrazení bimetalového teploměru [12]





Obr. 6-3 Roztažnost některých materiálů v závislosti na teplotě [13]



Obr. 6-4 Princip termočlánku a schéma zapojení termočlánku [13]

- **indikátory teploty** – jejich použití je pouze pro stanovení přibližné hodnoty teploty tělesa. Teplota je stanovena dle limitní hodnoty indikátoru, tzn. teplota na kterou je indikátor navrhnut a při které indikátor změní barvu, teplotu, tvar, skupenství. Přesnost měření výraznou měrou záleží na prostředí, tj. řada parametrů ovlivňujících měření, jako např. rychlost ohřevu, tlak apod. Barevné indikátory můžeme dále rozdělit na nevratné a vratné, kdy dochází k nevratnému poškození nebo kdy je opětovná možnost použití indikátoru.
- **keramické žároměrky** – jedná se o nevratné deformační indikátory s teplotním rozsahem od 600 °C do 2000 °C. Odstupňování bývá po 10 °C až do 50 °C, přesnost měření  $\pm 15$  °C.
- **tavné indikátory teploty**
  - teploměrové tablety – nevratné indikátory, které se po dosažení kritické teploty roztaví. Rozsah od 40 °C do 1650 °C.
  - teploměrové kapaliny - nevratné indikátory z keramického prášku rozpuštěného v těkavé kapalině. Nanáší se štětcem nebo sprejem. Po dosažení limitní teploty se značka zředí a rozteče. Rozsah od 40 °C do 1371 °C.
  - teploměrové tužky – nevratné indikátory z keramického prášku spojeného pojídlem. Stopa nakreslená tužkou se roztaví ve skvrnu a ztmavne. Rozsah od 40 °C do 1371 °C.



- › teploměrové nálepky – nevratné indikátory. Nálepka s adhezivní vrstvou na spodní straně po dosažení teploty zčerná. Rozsah od 38 °C do 316 °C.

#### - barevné indikátory teploty

- › chemické barevné indikátory - jsou to složité chemické látky, které při dosažení potřebné teploty změni svoji barvu. Tato změna může být vratná nebo nevratná a může probíhat rychle nebo pomalu. Rozsah od 40 °C do 1000 °C.
- › teploměrové barvy – jsou provedeny v prášku a teprve před aplikací na měřený povrch se rozmíchají v alkoholu nebo jsou vyrobeny k použití přímo v kapalném stavu. Teplotní rozsah barev je od 40 °C do 1370 °C, přesnost 1 %.
- › teploměrové tužky - jsou jednozvrtné (mají pouze jednu změnu barvy), dvouzvrtné (mění svoji barvu při dvou teplotách) nebo reverzibilní (mění svoji barvu při stoupání teploty a při jejím poklesu nabývá původní barvy). Teplotní rozsah do 1400 °C. Používají se pouze pro měření teploty u kovových těles.
- › teploměrové tablety - při dosažení limitní teploty se změni barva tablety. Teplotní rozsah až 1650 °C.
- › teploměrové nálepky – lepí se přímo na měřený materiál, nálepka je tvořena černým kroužkem s bílým středem, tzv. indikačním okénkem. Jakmile je dosaženo limitní teploty okénko zčerná.
- › luminiscenční indikátory – indikátory po dosažení limitní teploty změni luminiscenci, to se projeví pod ultrafialovým zářením změnou jasu nebo barvy.
- › kapalné krystaly - jsou organické sloučeniny, které při ohřevu na určitou teplotu tají a během tání mění své vlastnosti, především index lomu bílého světla.



## 2 DOPLŇUJÍCÍ ZDROJE

- [1] WIKIPEDIA, části kapalinového teploměru [online], [cit. 2012-12-15]. Dostupné z WWW: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/Teplomer.jpg>
- [2] 3ZSCHEB, měření teploty [online], [cit. 2012-12-15]. Dostupné z WWW: <http://www.3zscheb.unas.cz/e-learning/fyzika%20web/teplotavyklad.htm>
- [3] WEBZDARMA, termočlánky [online], [cit. 2012-12-16]. Dostupné z WWW: <http://www.maryshfmmi.webzdarma.cz/mttd.htm>



### 3 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.
- [2] HELEBRANT, F. *Vibrační diagnostika VIB 01 - Základy vibrodiagnostiky*, Ediční středisko DTI, Bohumín 2007, 159 s.
- [3] BLATA, J. *Metody technické diagnostiky. /Učební text předmětu „Technická diagnostika“ / 1. vydání*, Ostrava: Vysoká škola báňská, 2011. 27 s.
- [4] BLATA, J. *Expertní aspekty diagnostického systému vibrací rotačních strojů*. Disertační práce na Fakultě strojní VŠB – TU Ostrava, Katedra výrobních strojů a konstruování. Vedoucí: Jurman, J. Ostrava, 2011. 117 s
- [5] VOŠTOVÁ, V. – HELEBRANT, F. – JEŘÁBEK, K. *Provoz a údržba strojů – II. část Údržba strojů*. ČVUT v Praze, Praha 2002, 124 s. ISBN 80-01-02531-4.
- [6] BLATA, J. *Vibrodiagnostika strojních zařízení /Učební text předmětu „Technická diagnostika“ / 2. vydání*, Ostrava: Vysoká škola báňská, 2012. 30 s.
- [7] Firemní literatura firmy Brüel & Kjaer
- [8] ČSN ISO 10816. *Vibrace - Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech - Část 1: Všeobecné směrnice*, 1998. 24 s. ISSN 011412
- [9] JENČÍK, J. – VOLF, J. a kol.: *Technická měření*. Vydavatelství ČVUT, Praha 2003, dotisk 1. vydání, 212s., ISBN 80-01-02138-6
- [10] KREIDL, M.: *Měření teploty – senzory a měřicí obvody*. BEN – technická literatura, Praha 2005, 1. vydání, 240 s., ISBN 80-7300-145-4

