

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav techniky a automobilové dopravy



TRIBOLOGIE A TRIBOTECHNIKA

Průvodce studiem předmětu

URČENO PRO VZDĚLÁVÁNÍ
V AKREDITOVANÝCH STUDIJNÍCH PROGRAMECH

VOJTĚCH KUMBÁR

BRNO 2023

OBSAH

1	ANOTACE	3
2	TŘENÍ	6
3	OPOTŘEBENÍ	8
4	MAZÁNÍ	10
5	TRIBODIAGNOSTIKA	12
6	LITERATURA	14

1 ANOTACE

Název předmětu:	Tribologie a tribotechnika
Vyučovací jazyk:	český
Garant předmětu:	doc. Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.
Vyučující (přednášející):	doc. Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D. (85 %) doc. Ing. Jiří Votava, Ph.D. (15 %)
Vyučující (cvičící):	doc. Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D. (85 %) doc. Ing. Jiří Votava, Ph.D. (15 %)
Rozsah (přednášky/cvičení):	8/8
Organizace výuky:	přednášky, cvičení, konzultace, samostudium, práce na samostatných úkolech
Cíle předmětu (výstupy z učení):	Cílem předmětu je poskytnout studentům základní znalosti v oblasti tření a snižování následků jeho působení. Podstatnou část výuky tvoří seznámení se s poznatky o mazivech a užití tribotechnické diagnostiky za pomoci pokročilých instrumentálních metod.
Výstupy z učení:	Po úspěšném absolvování předmětu student: <ul style="list-style-type: none">- rozumí základním pojmům tribologie, tribotechniky a tribotechnické diagnostiky,- dokáže aplikovat teoretické znalosti při tribotechnické diagnostice stacionární i mobilní techniky,- je schopen vypracovat protokol s vyhodnocením stavu degradace strojních součástí anebo upotřebených maziv a navrhnout potřebná opatření.

Osnova předmětu:

Tutoriál pokrývají následující témata:

- Konzultace 1
 - Úvod do studia předmětu – základní definice a terminologie (tribologie, tribotechnika, tribodiagnostika).
 - Technický, technologický a ekonomický význam tribologie.
 - Tribologický systém a tribologické procesy.
 - Tření a jeho rozdělení.
- Konzultace 2
 - Druhy a principy opotřebení technických materiálů.
 - Kombinace jednotlivých druhů opotřebení.
 - Rozdělení technických materiálů a jejich vhodnost do podmínek se zvýšeným namáháním.
 - Zvyšování životnosti strojních součástí.
 - Testování jednotlivých druhů opotřebení.
- Konzultace 3
 - Mazání a oblasti mazání, Stribeckův diagram.
 - Požadavky na maziva. Dělení, klasifikace a vlastnosti maziv.
 - Mazací soustavy, aplikace maziv.
 - Základové oleje, přísady (aditiva).
 - Tuhá, plastická, plynná a kapalná maziva.
- Konzultace 4
 - Tribotechnická diagnostika. PPP údržba. Metody odběrů vzorků.
 - Degradace maziv – viskozita, hustota, bod vzplanutí, odparnost, sulfátový popel, karbonizační zbytek, voda v oleji, nerozpustné látky, ošetrové částice, kód čistoty, měkké kaly, kolorimetrie, pěnovost olejů, deemulgace, kyselost a alkalita, oxidace a nitrace.

- Spektrometrie (infračervená, atomová absorpční a emisní, rentgenová), čítač a analyzátor částic,
- Mazivostní zkoušky – čtyřkuličkový test, Reichert test, Timket a Falex test, Brugger test.

Dodatek k osnově předmětu: Jednotlivé lekce zpravidla obsahují:

- formulaci cílů lekce (tedy toho, co by měl student po jejím prostudování umět, znát, pochopit),
- odkazy na základní zdroje, které se podrobně věnují příslušné problematice,
- kontrolní otázky k procvičení učiva,
- korespondenční úkol.

Ukončení předmětu: zápočet, zkouška

Podmínky pro ukončení: Zařazené korespondenční úkoly mají charakter individuální práce, která je určena k ověření schopností aplikovat získané teoretické znalosti na řešení konkrétních problémů. Povinnou součástí studijních povinností je vypracování dvou korespondenčních úkolů:

- 1) prakticky zaměřená seminární práce na zvolené téma z 1. až 3. konzultace,
- 2) protokol s vyhodnocením stavu degradace maziva a doporučením dalších opatření.

Pro úspěšné splnění předmětu je nutné odevzdat oba kvalitně zpracované korespondenční úkoly, za které student obdrží zápočet.

Zkouška je písemnou formou v podobě testu, který obsahuje 20 otázek, kdy za správnou odpověď student získá 1 bod, při špatné odpovědi se body neodečítají. U každé otázky má student na výběr ze 3 odpovědí, kdy právě 1 je správná. Hodnocení testu je následující: A (20-19), B (18-17), C (16-15), D (14-13), E (12-11), F (10-0).

Doplňující informace učitele: Konzultace mohou probíhat v předem určený čas osobně nebo on-line v prostředí MS Teams.

2 KONZULTACE 1 – TŘENÍ

Úvodní téma se zaměřuje na představení základních definic a terminologie tribologie, tribotechniky a tribologické diagnostiky (tribodiagnostika). Jsou popsány významy tribologie se zaměřením na význam technický, technologický a ekonomický. Dále jsou pomocí vhodných obrázků a schémat vysvětleny tribologický systém a jednotlivé tribologické procesy. Hlavní část této konzultace je věnována samotnému pojmu tření a jeho rozdělení dle různých ohledů.

Cíle kapitoly

- základní definice a terminologie tribologie, tribotechniky a tribodiagnostiky
- technický, technologický a ekonomický význam tribologie
- tribologický systém, tribologické procesy
- tření a jeho rozdělení

Výstupy z učení

- definovat tribologie a ovládat užitou terminologii
- znát hlavní významy tribologie
- popsat tribologický systém a jednotlivé procesy
- definovat tření a rozdělit ho dle různých hledisek

Studijní zdroje

- HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. Technická diagnostika a spolehlivost. I. Tribodiagnostika. Ostrava: VŠB-TUO, 2000. 156 s. ISBN 80-7078-883-6.

Dostupné z: <https://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/340/.content/galerie-souboru/vyuka/Technicka-diagnostika-I-Tribodiagnostika-skripta.pdf>.

- Kapitoly 1 (str. 5–9) a 2.1–2.3 (str. 9–21).

Kontrolní otázky

1. Jak je definována tribologie, tribotechnika a tribologie?
2. Jaké jsou hlavní významy tribologie?
3. Rozdělte tribologický systém na jednotlivé procesy.
4. Charakterizujte vnější a vnitřní tření.
5. Jak se dělí tření z hlediska pohybu?

6. Uveďte vztahy pro výpočet smykového tření (statického a dynamického).
7. Uveďte vztah pro výpočet valivého odporu.

Zadání samostatné práce (úkolů)

Pro získání zápočtu je nutné vypracovat seminární práci (min. 10 normostran) na konkrétní téma vycházející z 1. až 3. konzultace (přednášky), tzn. Tření, Opotřebením, Mazání. Student může navrhnout téma vlastní (schválené vyučujícím) nebo si vybere ze seznamu témat zadaných vyučujícím.

3 KONZULTACE 2 – OPOTŘEBENÍ

Hlavním cílem této konzultace je seznámit studenty se základními druhy a principy opotřebení technických materiálů využívaných nejen ve strojírenské praxi. Úvodní část daného bloku je věnována převážně abrazivnímu a erozivnímu opotřebení, které představují primární podíl při opotřebení strojních součástí v průběhu jejich životnosti. Následně budou studenti seznámeni i s dalšími druhy opotřebení jako je například opotřebení kavitační, únavové nebo korozní poškození vlivem transkrystalické eventuálně mezikrystalické koroze. Důraz bude kladen nejen na popis mechanismu opotřebení, ale především na jeho eliminaci v důsledku volby vhodného materiálu. V praktických ukázkách budou studentům představeny konkrétní strojní součásti zatížené mechanickou degradací. Rovněž bude studentům představeno laboratorní vybavení pro testování abrazivního opotřebení, kdy na základě získaných výsledků lze predikovat vhodnost konkrétního materiálu do podmínek se zvýšeným mechanickým namáháním.

Cíle kapitoly

- základní principy opotřebení technických materiálů
- možnosti kombinace jednotlivých druhů opotřebení
- rozdělení technických materiálů a jejich vhodnost do podmínek se zvýšeným namáháním
- zvyšování životnosti strojních součástí
- možnosti testování jednotlivých druhů opotřebení základní pojmy

Výstupy z učení

- definovat jednotlivé druhy opotřebení
- predikovat kombinace opotřebení jednotlivých součástí u stroje jako celou
- zvolit vhodný technický materiál do konkrétních podmínek
- eliminovat rizika předčasného poškození součástí v důsledku nadměrného opotřebení
- určit metodu testování jednotlivých druhů opotřebení definovat systém

Studijní zdroje

- HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. Technická diagnostika a spolehlivost. I. Tribodiagnostika. Ostrava: VŠB-TUO, 2001. 156 s. ISBN 80-7078-883-6. Dostupné z:

<https://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/340/.content/galerie-souboru/vyuka/Technicka-diagnostika-I-Tribodiagnostika-skripta.pdf>.

- Kapitola 2.4 (str. 22–25).
- POŠTA, J., VESELÝ, P., DVOŘÁK, M. Degradace strojních součástí. [online]. Dostupné z: <http://degradace.tf.czu.cz>.
 - Fotogalerie různých druhů lomů a opotřebení.

Kontrolní otázky

1. Popište základní princip abrazivního a erozivního opotřebení.
2. Kde se můžete setkat s kavitačním opotřebením?
3. Kam zařadíte pittingové poškození.
4. Jaké materiály jsou vhodné pro součásti s nadměrným opotřebením?
5. Jaké znáte metody testování technických materiálů na opotřebení?
6. Jaké jsou možnosti zvyšování životnosti strojních součástí?

Zadání samostatné práce (úkolů)

Pro získání zápočtu je nutné vypracovat seminární práci (min. 10 normostran) na konkrétní téma vycházející z 1. až 3. konzultace (přednášky), tzn. Tření, Opotřebením, Mazání. Student může navrhnout téma vlastní (schválené vyučujícím) nebo si vybere ze seznamu témat zadaných vyučujícím.

4 KONZULTACE 3 – MAZÁNÍ

Tato konzultace se primárně zaměřuje na složitou problematiku mazání. Detailně jsou popsány jednotlivé oblasti (druhy) mazání a pro snazší pochopení je uveden Stribeckův diagram. U maziv jsou popsány požadavky na jejich funkci, rozdělení (tuhá, plastická, plynná, kapalná), klasifikace a především jejich vlastnosti. Pozornost je věnována mazacím soustavám a aplikacím maziv včetně nejmodernějších centrálních mazacích systémů. Je zde popsána výroba a rozdělení minerálních a syntetických základových olejů (dle API) a přísady do maziv (aditivům) včetně jejich složení, vlastností (polární, nepolární) a funkcí.

Cíle kapitoly

- mazání a oblasti (druhy) mazání
- požadavky, dělení, vlastnosti a klasifikace maziv
- mazací soustavy
- aplikace maziv
- základové oleje
- přísady (aditiva)

Výstupy z učení

- definovat mazání a popsat jednotlivé druhy mazání
- znát vlastnosti a rozdělení maziv
- mít přehled v základních mazacích soustavách a aplikacích maziv
- definovat 5 skupin základových olejů dle API
- popsat výrobu minerálních základových olejů (atmosférická a vakuová destilace)
- znát základní aditiva užívaná při výrobě olejů

Studijní zdroje

- ZAJÍČEK, V. Maziva. Brno: Univerzita obrany v Brně, 2013. 49 s. ISBN 978-80-7231-891-9. Dostupné z:
https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/85395/mod_resource/content/1/Maziva%20x.pdf.
 - Kapitoly 2 (str. 7–13), 3 (str. 14–28) a 4 (str. 30–41).

- HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. Technická diagnostika a spolehlivost. I. Tribodiagnostika. Ostrava: VŠB-TUO, 2000. 156 s. ISBN 80-7078-883-6. Dostupné z:
<https://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/340/.content/galerie-souboru/vyuka/Technicka-diagnostika-I-Tribodiagnostika-skripta.pdf>.
 - Kapitoly 2.6 (str. 37–41) a 3.2 (str. 70–72).

Kontrolní otázky

1. Popište jednotlivé oblasti (druhy) mazání.
2. Načrtnete a popište Stribeckův diagram.
3. Rozdělte maziva dle skupenství a popište u jednotlivých jejich základní vlastnosti.
4. Jaké jsou moderní způsoby aplikace maziv?
5. Popište princip atmosférické a vakuové destilace.
6. Jak jsou rozděleny základové oleje?
7. Vysvětlete zkratku a správně zařaďte PAO.
8. Jaký je rozdíl mezi polárními a nepolárními aditivy?
9. Uveďte typické složení hydraulického a motorového oleje.

Zadání samostatné práce (úkolu)

Pro získání zápočtu je nutné vypracovat seminární práci (min. 10 normostran) na konkrétní téma vycházející z 1. až 3. konzultace (přednášky), tzn. Tření, Opatřebení, Mazání. Student může navrhnout téma vlastní (schválené vyučujícím) nebo si vybere ze seznamu témat zadaných vyučujícím.

5 KONZULTACE 4 – TRIBODIAGNOSTIKA

Konzultace se zaměřuje na tribotechnickou diagnostiku (tribodiagnostika), na její význam a funkci, kdy je pozornost věnována i preventivní, prediktivní a proaktivní údržbě strojů. Pro smysluplnou tribodiagnostiku jsou popsány i vhodné způsoby odběrů vzorků. Jsou popsány standardní postupy a metody pro zjištění stavu degradace maziv (viskozita, hustota, bod vzplanutí, odparnost, sulfátový popel, karbonizační zbytek, voda v oleji, nerozpustné látky, otěrové částice, kód čistoty, měkké kaly, kolorimetrie, pěnovost olejů, deemulgace, kyselost a alkalita, oxidace a nitrace). Dále jsou popsány i moderní instrumentální metody – spektrometrie (infračervená, atomová absorpční a emisní, rentgenová), čítač a analyzátor částic. Nechybí ani vysvětlení mazivostních zkoušek (čtyřkuličkový test, Reichert test, Timket a Falex test, Brugger test). Podstatná část výše uvedených přístrojů je studentům k dispozici v Tribologické laboratoři garantujícího ústavu.

Cíle kapitoly

- tribotechnická diagnostika (tribodiagnostika)
- preventivní, prediktivní a proaktivní údržba strojů
- standardní metody a zkoušky pro určení stavu degradace maziv
- pokročilé instrumentální metody v tribodiagnostice
- mazivostní zkoušky

Výstupy z učení

- osvojit si postupy tribodiagnostiky, které je možné aplikovat při údržbě strojů
- znát standardní metody a zkoušky pro určení stavu degradace maziv
- ovládat pokročilé instrumentální metody v tribodiagnostice
- znát princip vybraných mazivostních testů

Studijní zdroje

- HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. Technická diagnostika a spolehlivost. I. Tribodiagnostika. Ostrava: VŠB-TUO, 2001. 156 s. ISBN 80-7078-883-6.

Dostupné z: <https://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/340/.content/galerie-souboru/vyuka/Technicka-diagnostika-I-Tribodiagnostika-skripta.pdf>.

- Kapitola 4 (str. 97–152).

Kontrolní otázky

1. K čemu slouží tribodiagnostika?
2. Jaké znáte typy údržby strojů?
3. Uveďte vhodný postup pro odběr vzorku maziva.
4. Jaký je rozdíl mezi dynamickou a kinematickou viskozitou?
5. Jak lze určit bod vzplanutí oleje a co indikuje?
6. Co znamenají jednotlivá čísla v kódu čistoty.
7. Co o oleji vypovídá stav jeho oxidace?
8. Jaké znáte druhy spektrometrie?
9. Popište princip alespoň dvou mazivostních testů.

Zadání samostatné práce (úkolů)

Pro získání zápočtu je nutné vypracovat protokol s vyhodnocením stavu degradace maziva a doporučením dalších opatření. Podklady k tvorbě protokolu v podobě výsledků několika tribodiagnostických metod individuálních vzorků maziv budou poskytnuty vyučujícím.

6 LITERATURA

Povinná literatura

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. Technická diagnostika a spolehlivost. I. Tribodiagnostika. Ostrava: VŠB-TUO, 2000. 156 s. ISBN 80-7078-883-6. Dostupné z: <https://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/340/.content/galerie-souboru/vyuka/Technicka-diagnostika-I-Tribodiagnostika-skripta.pdf>.

ZAJÍČEK, V. Maziva. Brno: Univerzita obrany v Brně, 2013. 49 s. ISBN 978-80-7231-891-9. Dostupné z: https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/85395/mod_resource/content/1/Maziva%20x.pdf.

Doporučená a rozšiřující literatura

DRESEL, W., MANG, T. Lubricants and Lubrication. Weinheim: Wiley, 2007. 890 s. ISBN 978-3-527-31497-3. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527645565>.

Další studijní zdroje a materiály

POŠTA, J., VESELÝ, P., DVOŘÁK, M. Degradace strojních součástí. [online]. Dostupné z: <http://degradace.tf.czu.cz>.