

ISSN 1210-311X MK ČR: 5 979

# TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

2

ROČNÍK XXIX

2020

ASOCIACE TECHNICKÝCH DIAGNOSTIKŮ ČESKÉ REPUBLIKY, z. s.

## TRIBODIAGNOSTIKA

Jak se orientovat v džungli nových klasifikací motorových olejů

*How to find your way in the jungle of new classifications of motor oils*

TD4

Technologie Plug-In Hybrid, řešení pro budoucí automobily?

*Plug-In Hybrid technology, a solution for future cars?*

TD7

Bílá tuhá maziva – ten správný krok v tribologii

*White solid lubricants - the right step in tribology*

TD11

Analýza olejů pomocí infračervené spektroskopie – aktuální normy  
a jejich reálné využití

*Oil analysis by infrared spectroscopy - current standards and their  
real application*

TD15

Význam provozní péče pro úspěšné používání moderních procesních  
kapalin

*The importance of operational care for the successful use of modern  
process fluids*

TD18



Asociace technických diagnostiků ČR, z.s.  
Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

40. mezinárodní vědecká konference  
40th International Scientific Conference



DIAGO® 2021



TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA STROJŮ A VÝROBNÍCH ZAŘÍZENÍ  
Technical Diagnost of Machines and Manufacturing Equipment

Konference se koná pod záštitou  
Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky

Prof. RNDr. Václava Snášela, CSc., rektor VŠB TU Ostrava  
prof. Ing. Bohumír Čepa, Ph.D., děkan Fakulty strojní

7. - 11. ledna 2021  
2. - 6. January 2021

Orea Resort Devět Skal \*\*\*\*, Sněžné - Jizerský národní park  
Podrobnější informace a registrace na [www.diago.cz](http://www.diago.cz)



DIAGO® 2021



... a tak nezbyvá, než si připomenout 39. ročník konference



DIAGO® 2020



DIAGO® 2020



## Vážení čtenáři,

Dostává se vám do rukou další soubor článků v příloze Technická Diagnostika časopisu Řízení a údržba průmyslového podniku, tentokrát zaměřených na problematiku maziv, tribotechniky a tribodiagnostiky. Stalo se již nepsanou tradicí, že právě úvodní slovo zde vždy měl pan Vladislav Marek, dlouholetý předseda odborné skupiny Tribodiagnostiky v Asociaci Technických Diagnostiků ČR.

Bohužel pan Marek nás předčasně nečekaně v plné životní síle a tvůrčím elánu v minulém měsíci opustil, proto se jej pokusím v rámci úvodu k odborným článkům jen velmi stručně zastoupit. Pro mě, a věřím, že i pro mnoho mých kolegů a spolupracovníků pana Marka, to v podstatě znamená následující těsné propojení obecnějších tribotechnických a tribodiagnostických informací s informacemi osobnějšími. Pan Marek, tak jak je v odborných kruzích vnímán, představuje osobnost, jež založila a v rámci ATD ČR, z.s. vedla pilotní školící pracoviště tribodiagnostiky Trifoservis Čelákovice. Toto pracoviště pravidelně provádí školící kurzy, na nichž se připravují odborní pracovníci – specialisté tribodiagnostiky. Úspěšní absolventi školení se pak mohou přihlásit k certifikaci u certifikačního orgánu ACM DTO CZ v Ostravě, který provádí přezkoušení žadatelů o certifikaci. Po úspěšném složení zkoušky pak zmíněný orgán vydává certifikát s mezinárodní platností – „Technik diagnostik – tribodiagnostik“. V současné době tak prošlo úspěšně touto certifikací více než 150 tribodiagnostiků.

Velmi rád bych zde rovněž připomněl neskutečnou píli, pracovní energii a organizační talent Vladislava Marka, zakladatele úspěšně provozované profesionální odborné analytické firmy Trifoservis, kdy si velké množství spolupracovníků, kolegů, kamarádů a přátel získal svým přirozeným respektem, férovým jednáním a spoustou odborných zkušeností. Svědčí o tom mimo jiné pořádání nespočetného množství odborných seminářů a organizování 18ročníků odborné konference „Tribotechnika v provozu a údržbě“ spojených vždy s prolongací certifikovaných diagnostiků. Jeho osoba nám tu bude určitě nadlouho výrazně scházet, nicméně tak, jak si vždy přál, a zdůrazňoval i při mnoha osobních jednáních, které jsem s ním zažil: „vše, co jsem založil, by mělo být nepetržitě nadále rozvíjeno“. To platí v současné době i pro pilotní pracoviště tribotechnické diagnostiky, kde tento odkaz Vládi Marka přebíral současný předseda odborné skupiny TRIBO Ondřej Švec.

Vážení čtenáři, dovoluji mi tedy tímto zavzpomínat a připomenout osobnost odborníka a mám tu čest, že i mého dlouholetého spolupracovníka pana Vladislava Marka. Jedná se o smutnou událost, nicméně moje trvalá vzpomínka se váže na něj jako na věčného optimistu šířícího neustále spoustu anekdot a veselých životních zážitků. Proto si závěrem dovoluji uvést jeden z jeho oblíbených citátů, který měl vystavený ve své pracovně, kdy jako zkušený praktický chemik experimentátor měl k němu velmi blízko:

*„Chemikové jsou prazvláštní třída smrtelníků, kteréž jakýsi nesmrtelný pud pohání ku vyhledávání rozkoší v dýmu a parách, plamenech a mouri, mezi jedy a ve skromnosti. A přece, zdá se mi, vedu život utěšený a nechť zemřu, kdybych se odhodlal vyměnit své místo s králem perským.“*

*Johann Joachim Becher (1662) – německý lékař, alchymista, zkušený chemik, experimentátor, učenec a dobrodruh*



Vladislav Marek  
\* 1. 7. 1936  
† 25. 10. 2020



S pozdravem  
Ing. Pavel Růžička, Ph.D.  
místopředseda odborné skupiny  
Tribodiagnostiky v rámci ATD ČR, z. s.

ŠÉFREDAKTOR:  
ZÁSTUPCE ŠÉFREDAKTORA:  
GRAFICKÁ ÚPRAVA:  
REDAKČNÍ RADA:

ING. DANIEL ZUTH, PH.D.  
ING. LADISLAV HRABEC, PH.D.  
JIRÍ RATAJ  
DR. HAB. INŽ. WITOLD BIALY  
ING. MARTIN HOLEK, PH.D.  
PROF. ING. VÁCLAV LEGÁT, DRSC.  
DOC. ING. VIERA PEŤKOVÁ, PH.D.  
ING. FRANTIŠEK VDOLČEK, CSC.  
ASOCIACE TECHNICKÝCH  
DIAGNOSTIKŮ ČR, Z. S.  
VŠB-TU OSTRAVA  
17. LISTOPADU 15 / 2172  
708 33 OSTRAVA - PORUBA  
2× ROČNĚ  
5 979  
1210-311X

EDITOR-IN-CHIEF:  
ZÁSTUPCE ŠÉFREDAKTORA:  
GRAPHIC EDIT:  
EDITORIAL BOARD:

ING. DANIEL ZUTH, PH.D.  
ING. LADISLAV HRABEC, PH.D.  
JIRÍ RATAJ  
DR. HAB. INŽ. WITOLD BIALY  
ING. MARTIN HOLEK, PH.D.  
PROF. ING. VÁCLAV LEGÁT, DRSC.  
DOC. ING. VIERA PEŤKOVÁ, PH.D.  
ING. FRANTIŠEK VDOLČEK, CSC.  
ASOCIACE TECHNICKÝCH  
DIAGNOSTIKŮ ČR, Z. S.  
VŠB-TU OSTRAVA  
17. LISTOPADU 15 / 2172  
708 33 OSTRAVA - PORUBA  
2× ROČNĚ  
5 979  
1210-311X

VYDAVATEL:

PUBLISHER:

VYCHÁZÍ:  
MK ČR:  
ISSN:

VYCHÁZÍ:  
MK ČR:  
ISSN:

ETICKÝ KODEX: ČASOPIS TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA SE PŘI SVÉM VYDÁVÁNÍ ŘÍDÍ ETICKÝM KODEXEM, KTERÝ STANOVUJE PRAVIDLA PRO PUBLIKACI PŘÍSPĚVKŮ. TO SE TÝKÁ JAK POSUZOVÁNÍ AUTORSKÝCH PŘÍSPĚVKŮ, TAK NÁSLEDNÉHO RECENZNÍHO ŘÍZENÍ. JEHO ZNĚNÍM JSOU POVINNI SE ŘÍDIT AUTOŘI, RECENZENTI I REDAKCE. CELÉ ZNĚNÍ ETICKÉHO KODEXU JE ZVEŘEJNĚNO NA WWW.ATDCR.CZ.

# Jak se orientovat v džungli nových klasifikací motorových olejů

*How to find your way in the jungle of new classifications of motor oils*

JIŘÍ KLAPKA

CERTIFIKOVANÝ TRIBODIAGNOSTIK

## Úvod

Již dlouhou dobu se stávají normy související s kvalitou motorového oleje velmi nepřehledné. Důvodem jsou často překotně se měnící podmínky, ve kterých motorový olej pracuje. Nástup nových řešení v oblasti spalování, nových konstrukčních řešení v oblasti mazání a požadavky na chemické složení nezrychlující degradaci zařízení recirkulace výfukových plynů a katalytických systémů výfukových plynů připravily podmínky pro složité zvládání všech funkcí motorového oleje, které v motoru má. Výrobci se snaží tyto problémy a potažmo náklady přenést i do vývoje motorových olejů. A k tomu všemu je tu i technika hybridních pohonných jednotek, kde dochází k dalšímu překotnému vývoji. V příspěvku se pokouším shrnout základní směry a požadavky, které formulace motorových olejů dlouho nebo jen krátce formují.

## Požadavky na motorový olej – charakteristika a rozdělení

Motorový olej prošel od druhé světové války poměrně výrazným vývojem. Požadavky a hlavní vývojové směry se vyprofilovaly na následující oblasti:

- stabilní viskozitní parametry po celou dobu životnosti („Stay in Grade“);
- plošší viskozitní křivka (malá závislost viskozity na teplotě) – stabilní mazací podmínky;
- nižší viskozita oleje spolu s vylepšenými nízkoteplotními

parametry – snížení spotřeby paliva, snížení opotřebení při startech, snížení opotřebení některých součástí;

- „pevnost“ mazacího filmu, mazivostní vlastnosti – snížení opotřebení motoru;
- odparnost – nižší spotřeba oleje, nižší objem spáleného oleje ve výfukových plynech, ochrana systému EGR;
- termooxidační stabilita – životnost olejové náplně, snížení opotřebení;
- čistota motoru – nižší náchylnost k tvorbě vysokoteplotních a nízkoteplotních úsad a kalů;
- chemické složení – snížení nebo eliminace některých prvků nebo sloučenin z různých důvodů (ekologie, pracovní prostředí, funkce motoru a dalších přídavných zařízení).

V posledních dvou letech, jako už poněkoličkáte, zasáhly legislativní podmínky do konstrukce spalovacích motorů, a to zejména do oblasti systémů spalování (tvorba emisí) a do detailních partií konstrukce (pístová skupina, rozvody – vstup elektroniky, katalyzační systémy výfukových plynů). Konstrukční změny se promítly i do systémů mazání motoru a vytvořily zcela nový pohled na kvalitu motorového oleje. Základní trendy lze shrnout do následujících bodů:

- použití nových typů katalyzátorů výfukových plynů (DPF, SCR) a jejich životnost – obsah SAPS;
- použití technologicky pokročilých materiálů a povrchových úprav (nové slitiny, použití nekovových materiálů atd.);
- zmenšování rozměrů mazaných uzlů a motorů;
- přímé vstřikování nafty i benzinu;
- hybridizace – využití různých zdrojů energie nebo různých paliv;

Tabulka č. 1

## Viskozitní klasifikace motorových olejů SAE J 300 01/2015

| Viskozitní třída SAE | Dynamická viskozita mPa.s v CCS při teplotě °C max. | Mezní čerpatelnost viskozita mPa.s, °C | Kinematická viskozita při 100°C (mm <sup>2</sup> /s) min. | max. | Dynamická viskozita při 150°C (mPa.s) |
|----------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------|---------------------------------------|
| 0W                   | 6200 při – 35                                       | 60 000 při – 40                        | 3.8                                                       |      |                                       |
| 5W                   | 6600 při – 30                                       | 60 000 při – 35                        | 3.8                                                       |      |                                       |
| 10W                  | 7000 při – 25                                       | 60 000 při – 30                        | 4.1                                                       |      |                                       |
| 15W                  | 7000 při – 20                                       | 60 000 při – 25                        | 5.6                                                       |      |                                       |
| 20W                  | 9500 při – 15                                       | 60 000 při – 20                        | 5.6                                                       |      |                                       |
| 25W                  | 13000 při – 10                                      | 60 000 při – 15                        | 9.3                                                       |      |                                       |
| 8                    |                                                     |                                        | 4,0                                                       | 6,1  | 1,7                                   |
| 12                   |                                                     |                                        | 5,0                                                       | 7,1  | 2,0                                   |
| 16                   |                                                     |                                        | 6,1                                                       | 8,2  | 2,3                                   |
| 20                   |                                                     |                                        | 6,9                                                       | 9,3  | 2,6                                   |
| 30                   |                                                     |                                        | 9,3                                                       | 12,5 | 2,9                                   |
| 40                   |                                                     |                                        | 12,5                                                      | 16,3 | 2,9 a)                                |
| 40                   |                                                     |                                        | 12,5                                                      | 16,3 | 3,7 b)                                |
| 50                   |                                                     |                                        | 16,3                                                      | 21,9 | 3,7                                   |
| 60                   |                                                     |                                        | 21,9                                                      | 26,1 | 3,7                                   |

a) pro třídy SAE 0W, 5W a 10W

b) pro třídy SAE 15W, 20W, 25W a 40

- on-line monitorování stavu oleje;
- použití turbodmychadel pro naftové i benzínové motory;
- úpravy časování průběhu vstřikování paliva (Diesel Commonrail, ACCERT TM atd.);
- recirkulace výfukových plynů včetně jejich chlazení (EGR).

Většina bodů má velký význam a charakterizuje detaily formulací nových typů motorových olejů. Některé z nich mají dominantní význam a tvoří základní strukturu typů motorových olejů. Přestože se dnes oblast klasifikací, specifikací a OEM norem pro oblast motorových olejů jeví jako velice nepřehledná, lze najít a popsat některé charakteristiky a trendy, které to mohou výrazně zprůhlednit.

### Motorový olej – viskozitní parametry

Používání nízkoviskózních, zpravidla syntetických motorových olejů prvotně u osobních a dodávkových automobilů si vyžádala legislativa v oblasti emisí výfukových plynů. Jednoznačný požadavek na snížení emisí zejména CO<sub>2</sub> přinesl nový pohled na hnací jednotku i motorový olej.

Motory s menšími objemy válců a vysokými výkony i otáčkami připravily spolu s požadavky na úspory energie podmínky pro využití olejů s nízkými viskozitními třídami. U osobních automobilů k tomu v poslední době přibýly požadavky spalovacích motorů různých typů hybridních pohonů (PHEV, Full hybrid, REX).

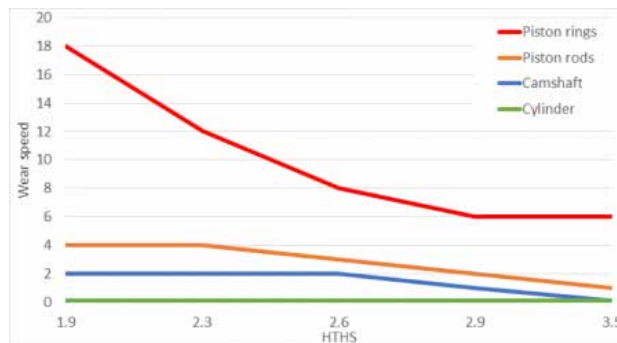
Při pohledu na tabulku viskozitních klasifikací SAE J 300 (tabulka č. 1) z poslední doby je jasné, že zde dominují nové, dříve nemyslitelné viskozitní třídy SAE 16/12/8. Trendem je připravit oleje zajišťující energetickou úsporu a rychlé zaolejování mazaných míst celého motoru. Kromě vzniku a jasné charakteristiky nových viskozitních tříd SAE 0 W / 5 W – 20/16/12/8 se požadavek úspory paliva (energie) promítl i do stávajících viskozitních tříd požadavkem na HTHS viskozitu (High Temperature High Shear, dynamická viskozita při teplotě 150 °C a velkém smykovém spádu /106 s<sup>-1</sup>/). Přitom platí i základní pravidla, a to:

1. mazivo s nízkou viskozitou HTHS zvyšuje energetickou účinnost a snižuje spotřebu paliva / snižuje objem emisí výfukových plynů;
2. mazivo s vysokou viskozitou HTHS poskytuje lepší ochranu částí motoru;
3. pravidlo bezpečnosti – olej s nízkým obsahem HTHS v motoru určeném pro olej s vysokým obsahem HTHS může způsobit poškození.

Složitost problematiky popisuje i graf č. 1, vliv HTHS na opotřebení částí motoru.

Portfolio motorových olejů nabízených výrobci olejů proto nabízí některé viskozitní třídy s různými HTHS. V současnosti

Graf č. 1



*Low HTHS oils: the art of balancing fuel efficiency and engine protection, David De Mesmaeker 29 June 2018 AUTOMOTIVE, PASSENGER CARS, REDUCE YOUR TOTAL COST OF OWNERSHIP*

se na trhu s motorovými oleji budeme setkávat s následujícími viskozitními parametry:

SAE 5/10/15/20 W – 50/60 – HTHS >3.7, MPA.s

SAE 0/5/10/15/20 W – 40 – HTHS >3.5, MPA.s

SAE 0/5 W – 30 – HTHS >3.5, MPA.s

SAE 0/5 W – 30 – HTHS >2.9, MPA.s

SAE 0/5 W – 20 – HTHS >2.6, MPA.s (na trhu i speciální oleje /VOLVO/ s HTHS >2.75, MPA.s)

SAE xW – 16 – HTHS >2.3, MPA.s

V budoucnu i:

SAE xW – 12 – HTHS >2.0, MPA.s

SAE xW – 8 – HTHS >3.7, MPA.s

Požadavek na HTHS je velice úzce spjat jak s mezinárodními normami, tak s normami výrobců automobilů. Různá konstrukční řešení vyžadují různé požadavky na viskozitní vlastnosti oleje. Rozdělení a pravidla pro specifikace ACEA jsou patrné z tabulky č. 2.

Jak se projevují požadavky na HTHS u výrobců motorů, lze dokumentovat např. normami výrobce automobilů Renault: RN17: SAE 5 W – 30 HTHS >3,5, MPA.s, vychází ze specifikace ACEA C3, pokrývá benzínové i naftové motory, přepřínované i nepřepřínované, s filtry částic i bez; RN17 FE: SAE 0 W – 20 HTHS >2,6, MPA.s, vychází ze specifikace ACEA C5, zahrnuje naftové motory K9K; očekává se doporučení tohoto typu oleje i pro benzínové motory Renault s filtrem částic; RN17 RSA: SAE 0 W – 40 HTHS >4,1, MPA.s, vychází z ACEA C3, je určena pro sportovní vozy a jejich motory – Renault Alpine a Renault Sport.

Tabulka č. 2

|              | A3/B3-16 | A3/B4-16 | A5/B5-16     | C1-16 | C2-16 | C3-16 | C4-16 | C5-16        |
|--------------|----------|----------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| HTHS (mPa.s) | ≥3.5     |          | ≥2.9<br>≤3.5 | ≥2.9  |       | ≥3.5  |       | ≥2.6<br><2.9 |

Všeobecně bylo dlouhou dobu možno říci, že oleje s nízkou HTHS byly určeny výhradně menším motorům osobních a dodávkových automobilů s benzínovými i naftovými motory. Tak jak se mění konstrukční řešení motorů, objevuje se i u naftových motorů s větším objemem válců pro užitkové automobily požadavek na užití olejů s nižší HTHS. Tuto skupinu lze charakterizovat zejména klasifikací API FA-4.

API FA-4 charakterizuje oleje s viskozitními třídami dle SAE XW-30 speciálně vyvinuté pro použití ve vybraných vysokorychlostních vznětových motorech s čtyřdobým cyklem, které jsou navrženy tak, aby splňovaly emisní standardy 2017 pro skleníkové plyny (GHG). Tyto oleje jsou připraveny pro použití v silničních aplikacích s obsahem síry v motorové naftě do 15 ppm. Oleje API FA-4 jsou formulovány s HTHS 2,9, MPA.s – 3,2, MPA.s.

Obdobně je tomu u specifikací dle ACEA: F8 a F11 se stejnou HTHS.

K těmto parametrům se dopracovaly formulace motorových olejů zejména díky novým typům základových olejů skupiny (dle API) III a novým typům modifikátorů viskozity.

### Motorový olej – chemické složení

Další dělicí linkou mezi nejnovějšími formulacemi motorových olejů je chemické složení. S nástupem motorů splňujících limity emisí výfukových plynů EURO 4 a posléze EURO 5 přibyl do požadavků na motorový olej i požadavek na chemické složení. Klasifikace a specifikace motorových olejů byly doplněny o požadavky na snížení obsahu některých prvků v motorových olejích. Z důvodu snížení životnosti nových typů katalytických systémů snižujících emise výfukových plynů. Systémy SCR (selektivní katalytická redukce) a DPF (filtr pevných částic), které se využívají pro snížení emisí pevných částic a oxidů dusíku (PM, Nox), jsou v oblasti životnosti a účinnosti ohroženy přítomností emisí maziv ve výfukových plynech. To vedlo k omezení přípustných množství přísad obsahujících fosfor, síru a kovy (SAPS). Obsah těchto prvků se stal dělicím prvkem klasifikací a specifikací motorových olejů. Vztahy jednotlivých specifikací a obsahu SAPS (síra, fosfor, sulfátový popel) jsou v tabulce č. 3.

Ve formulaci motorového oleje se pro své vlastnosti zajišťující vysokou čistotu pístu, velmi dobrou termooxidační stabilitu, vysokou stabilitu TBN a zejména nulové zatížení formulace sírou úspěšně uplatnily nové typy přísad, např. salicyláty, nebo přísady s jinými kovy, jako je Mg s nižší atomovou hmotností, což umožňuje formulaci zatížit nižším obsahem síry a sulfátového popela.

Tabulka č. 3

|                    | A3/B3-16     | A3/B4-16     | A5/B5-16 | C1-16 | C2-16          | C3-16 | C4-16 | C5-16          |
|--------------------|--------------|--------------|----------|-------|----------------|-------|-------|----------------|
| Sulphur (%m)       | report       |              |          | ≤0.2  | ≤0.3           |       | ≤0.2  | ≤0.3           |
| Phosphorus (%m)    | report       |              |          | ≤0.05 | ≥0.07<br>≤0.09 |       | ≤0.09 | ≥0.07<br>≤0.09 |
| Sulphated Ash (%m) | ≥0.9<br>≤1.5 | ≥1.0<br>≤1.6 | ≤1.6     | ≤0.5  | ≤0.8           |       | ≤0.5  | ≤0.8           |

### Motorový olej – speciální požadavky

Co bude dál? V budoucnosti možná přibudou další charakteristické linie požadavků. Mohou být z oblasti historie, např. TBN. V Evropě a v Severní Americe může být téměř zapomenutý parametr v ostatních oblastech světa parametrem velmi důležitým a rozdělovacím motorové oleje podle jejich životnosti.

Novým parametrem se může stát např. obsah „nanomaziv“ v oleji a jejich schopnost zajistit mazání i v nejkritičtějších režimech. Nebo se takovým parametrem může stát nový problém s předčasným zážehem LSPI (Low Speed Pre-Ignition), u kterého se zatím neví, jak velký význam může mít formulace oleje. Někteří výrobci motorů podezření promítli do svých vlastních specifikací, např. specifikace General Motors dexos 1. Díky tomuto jevu bylo oddáleno i vydání specifikace ILSAC GF-6.

### Závěr

Závěrem bych chtěl charakterizovat vývojové trendy, které se podílejí na vývoji spalovacích motorů (i když už nemálo odborníků vidí jejich konec) a vývoji hlavní kapaliny (krve), která v motoru je.

- Obavy v oblasti životního prostředí a dodávek energie jsou hlavními hnacími silami změn v odvětví dopravy.
- Výrobci motorů reagují na tyto obavy novými „hardwarevými“ technologiemi, což má za následek rychle se vyvíjející výzvy na vlastnosti motorových olejů.
- Nové požadavky výrobců motorů jsou hlavním „motorem“ nejen pro vývojáře maziv, ale i pro obchodníky s mazivy.
- Náročná technologická řešení vyžadují vysoké investice.
- Spolupráce konstruktérů, výrobců motorů a vývojářů, výrobců olejů je nezbytná pro optimalizaci nákladů.

### Použitá literatura:

- [1] Technická dokumentace společnosti Infineum
- [2] Oficiální www stránky ACEA
- [3] Oficiální www stránky API
- [4] Low HTHS oils: the art of balancing fuel efficiency and engine protection, David De Mesmaeker 29 June 2018 AUTOMOTIVE, PASSENGER CARS, REDUCE YOUR TOTAL COST OF OWNERSHIP

### Recenzent:

Švec Ondřej, DiS., Trifoservis Vladislav Marek, Čelákovice; osoba certifikovaná na funkci Technik diagnostik tribodiagnostik – Kategorie II

# Technologie Plug-In Hybrid, řešení pro budoucí automobily?

*Plug-In Hybrid technology, a solution for future cars?*

JOSEF GAMBA

P AUTOMOBIL IMPORT, S. R. O., EMIL FREY GROUP

## 1. Úvod

V současné Evropě stále převažuje obliba vozů se spalovacím motorem. Odvaha zákazníků pořídit si vozidlo s nějakou novou technologií není zatím zcela běžným jevem. Na rozdíl od předchozích let se přesto showroomy jednotlivých značek zcela změnily. Změny jsou patrné již v image jednotlivých výrobců. V popředí reklamních kampaní zpravidla nefigurují levné modely za akční ceny, ale něco zcela nového. Dotknout se rukou velkoplošného displeje vyvolává nestranný pocit, že právě řidič je pánem nové a lepší energie, kterou ovládá. Celková silueta vozu je křížem krážem protkaná modrozeleným vlákem. Rokem 2020 začala éra nových komercializovaných technologií automobilů, kterou nikterak závažně nezbrzdila ani celosvětová krize spojená s covidem-19. Z toho tedy plyne, že pozice spalovacích motorů není tak neohrožená a na výstředním místě, jak tomu bylo v předchozích letech. Vyplácí se zanechat oblíbený spalovací motor ve spojení s jiným typem pohonu? Na tyto otázky se pokusím odpovědět.

## 2. Legislativní nastavení v EU

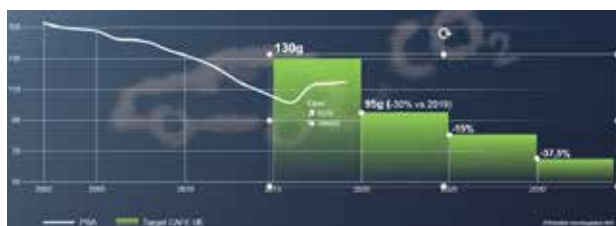
Současné evropské předpisy pro emise osobních automobilů jsou tak přísné, že jejich dodržení vyžaduje nejen technologická řešení pro efektivní snížení škodlivin, ale bohužel i škrty ve výbavách, které primárně zvyšují hmotnost nebo aerodynamický odpor vozu. Rád bych tedy připomenul dvě sledované skupiny, kterými jsou emise škodlivin ve výfuku a emise CO<sub>2</sub>/km. Otázku emisí škodlivin u spalovacích motorů můžeme brát za dobře vyřešenou. Výrobci za posledních 10 let udělali veliký pokrok v komplexním plnění limitů škodlivin. Víceméně všichni mají připravenou výrobu pro nadcházející úrovně € 6.3 (6d EVAP ISC FCM, od 1. 1. 2021). Přesto stojí za to zmínit novou normu pro benzínové motory – EVAP. Ta nařizuje regulaci uniků aromatických uhlovodíků z nádrží do ovzduší. Vozidla se podrobují přísným testům v rámci homologace, a to metodou uzavření celku do specializované vytápěné místnosti, kde se po dobu 48 h sleduje únik aromatů z nádrže. Ostatní škodliviny jak pro diesely, tak i pro benzíny zůstávají stejné, jen se jejich limity pečlivěji prověřují pomocí nového jízdního cyklu WLTP (homologační test v laboratoři) a RDE (měření v reálném provozu mimo laboratoř). Navíc se výrobci vozidel musejí zavázat k plnění FCM a ISC. Zkratka FCM představuje technickou funkci vozidla, která má za úkol po celou dobu života vozu monitorovat jeho reálnou spotřebu paliva (v budoucnu případně i druhého paliva), a na dotaz zvláštního přístroje jej musí kdykoli umět uvést. Zkratka ISC zase představuje předpis, kdy výrobce musí zaručit po dobu

nejméně 5 let plnění emisí tak, jak bylo auto homologováno. Emise škodlivin sice pro výrobce přinesly určitá úskalí a znamenají další investice, nicméně spalovací motor by v současné podobě mohl dále „žít“ bez další potřeby zvláštních inovací. Sečteno a podtrženo nejsou emise škodlivin současnou otázkou automobilové problematiky.

Staronovým problémem dopravy jsou emise skleníkových plynů, hlavně oxidu uhličitého. Poslední analýzy prokázaly, že automobilová doprava se v Evropě podílí zhruba na 12 % celkové produkce CO<sub>2</sub>. Z důvodu nárůstu počtu automobilů se oprášila myšlenka regulačního opatření CAFE (Corporate Average Fuel Economy, obr. 1), která původně vznikla v 70. letech 20. století v USA jako reakce na ropnou krizi vyvolanou uvalením embarga na země podporující Izrael. Tato opatření měla za následek okamžité zásahy do konstrukcí motorů s cílem ušetřit co nejvíce paliva. Podobnost v „okamžité potřebě“ uspořit palivo vidíme i dnes, nicméně z jiných důvodů, než je nedostatek klasických paliv. Paradoxem může být, že právě USA se moc nezapojují do současné politiky snižování emisí oxidu uhličitého (obr. 2).



Obrázek 1



Obrázek 2

Připomenu-li nastávající limit 95 g CO<sub>2</sub>/km pro následující rok (všechny nově uváděné vozy na trh), dosáhnout tohoto limitu je pro současná paliva a nejčastější prodávané typy vozidel doslova sci-fi.

Proto si v následujícím textu ukážeme pár kouzel, jak zachovat spalovací motor, mít třeba 4 × 4 s celkovým součtem 300 koní, přičemž plnit homologaci dle WLTP na 32 g CO<sub>2</sub>/km (obr. 3).

## 3. PHEV technika vozidla

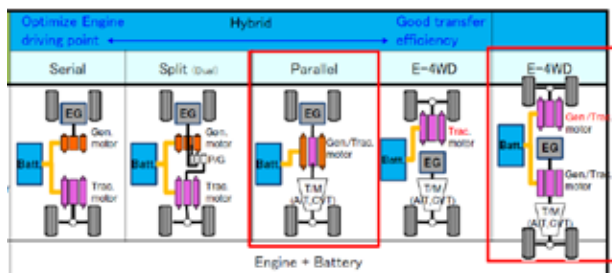
Zkratka PHEV označuje tzv. hybridní vozidla, která mají kromě klasického pohonu i pohon elektrický. Navíc disponují



Obrázek 3

baterií, kterou lze nabíjet ze sítě, proto tedy Plug-in Hybrid Electric Vehicle. Jak vyplývá z logiky, auto lze provozovat buď čistě na spalovací motor, nebo jako elektromobil ZEV – zero-emission vehicle. Zajímavostí vozidel PHEV je, že byť se jedná o jednu myšlenku, detaily konstrukce se u jednotlivých výrobců přece jen liší. Navíc potom prvky konstrukce zásadně hýbou i s výslednou cenou vozu.

#### Typy uspořádání trakcí hybridních vozidel



Obrázek 4

Abychom porozuměli schématu, je třeba pojmenovat komponenty hybridních vozidel (obr. 4).

1. **Spalovací motor (EG).** Vznětový nebo zážehový. Poslední roky se více počítá s maloobjemovým benzínovým motorem.
2. **Trakční baterie (BATT).** První konstrukce hybridů pracovaly s bateriemi typu NiMh. U současných PHEV se výhradně využívají lithiové články (různý chemismus) se součtem napětí mezi 350–400 V.
3. **Převodovka (T/M).** Vícetupňové hydraulické automaty (PSA, VOLVO, BMW, MB, FORD) nebo dvouspojkové konstrukce (VW Group), popřípadě převodovky s plynulou změnou převodového poměru CVT (asijské vozy).
4. **Generátor (gen. Motor).** Třífázový elektrický stroj, který má za úkol výrobu elektřiny pro pohon kol a dobíjení baterie. Je poháněn od spalovacího motoru a vyrábí vysoké střídavé napětí.
5. **Elektromotor (Trac. Motor).** Třífázový synchronní elektrický stroj napájený vysokým napětím. Motor je propojen sestupným převodem na nápravu, kterou pohání.
6. **Planetová převodovka (P/G).** Využitá je pouze u dual split hybridu (asijské vozy). Slouží pro optimální rozložení pohonu od spalovacího motoru k elektrickým strojům (závislost na rychlosti vozu).
7. **Motor generátor (Gen./Trac. motor).** Třífázový synchronní stroj s rotorem osazeným permanentními magnety. Díky

elektronickému konvertoru dokáže pracovat jako motor nebo jako generátor (rekuperace energie).

Jak již bylo zmíněno, počet komponentů a počet poháněných náprav zvedá cenu, ale i „chytrost“ vozu. Pokud budeme chtít zachovat spalovací motor, připadá zatím v úvahu pouze konstrukce PHEV s paralelním uspořádáním trakce. Dovolím si tedy pokračovat pouze s touto variantou (obr. 4). Ostatní typy hybridů zde opomenou.

Silnou výhodou současných PHEV je využití nových technologií převodovek (obr. 4), které umožňují vzájemnou kombinaci pohonů až do 135 km/h (max. rychlost testu WLTP). V ZEV módu ujedou až 55 km. Proto výsledné emise CO<sub>2</sub> jsou malé, do 40 g/km. Integrací elektrických strojů přímo do převodovek se ušetří vysokonapěťové kabely, mechanické propojení a klasický 12 V startér spalovacího motoru. Výsledkem je optimalizace ztrát, jízdní komfort, redukce hmotnosti a zástavbového prostoru. Zajímavostí je, že každý výrobce automobilů investuje do svých převodovek vyvinutých již v minulých letech, akorát do nich nově integruje elektrický stroj.



Obrázek 5: Zdroj, PSA Toyota, VW Group

Osazením druhé nápravy elektrickým motorem a zubovou spojkou (obr. 5) docílíme náhonu 4 × 4 a zároveň v součtu zvýšíme i výkon vozu.



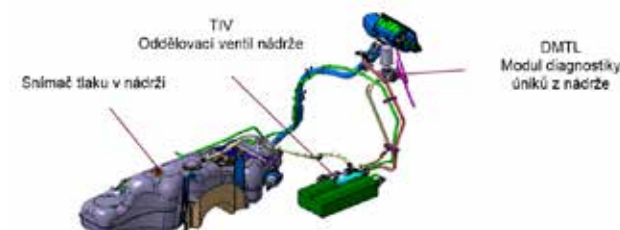
Zubová spojka

Celek el. stroje druhé nápravy

Obrázek 6: Zdroj PSA

Velmi diskutovanou otázkou týkající se vozidel PHEV jsou palivové nádrže, resp. jejich odvětrání. Doposud se odvětrání benzínových nádrží řešilo stálým spojením nádrže a kanystru s aktivním uhlím. Tím se (na určitou dobu) zamezilo průniku aromátů do atmosféry. Pokud se nastartoval motor, aktivovala se funkce „čistění“ kanystru. Ten se na potřebnou dobu propojil se sáním motoru a tím se zbavil podílu nasycení aromáty. U PHEV může nastat situace, kdy je vozidlo používáno po delší dobu výhradně jako elektromobil. Tedy původní varianta by měla za následek, že kvůli stojícímu spalovacímu motoru by

kanystr nebyl čištěn a docházelo by z důvodu jeho přesycení k unikům aromátů do ovzduší (neplnění normy EVAP). Technické řešení (obr. 6) je takové, že nádrž je normálně hermeticky uzavřená a tlak v ní se pohybuje okolo 300 mbar. Pokud vozidlo jede jako ZEV, nádrž zůstává uzavřena. Jestliže nastartuje spalovací motor, tlak v nádrži se stále udržuje, nicméně začne pracovat i propojení s kanystrem a sáním motoru. Pokud chce uživatel natankovat palivo, musí dát povel ke snížení tlaku – nádrž se propojí přes kanystr s atmosférou.



Obrázek 7: Zdroj PSA

Trakční baterie je druhým plnohodnotným úložištěm energie PHEV. Klade se na ni požadavek výkonnostní, cenový, ale i designový, a to kvůli těžišti a celkové zástavbě ve voze. Tyto požadavky dnes zajišťuje baterie typu li-ion, později snad i jiný typ lithiových baterií. Vzhledem k jejímu výkonu musí být dostatečně chlazená (většinou kapalinou). Chlazení hraje roli jak při



Obrázek 8: Zdroj PSA

odevzdávání energie, tak i při jejím přijímání, tedy dobíjení. Maximální teplota je 40 °C. Jmenovité napětí je většinou 400 V a kapacity se pohybuje (zatím) do 15 kW/h. Baterie nepracuje v celé škále své kapacity, ale od 10 do 97 % SOC. Čili nesmí se podbíjet, ale zároveň se musí nechat i prostor pro případnou rekuperaci při plném stavu nabití baterie. Baterie je složena z patřičného počtu modulů, které obsahují jednotlivé články 3,8 V (obr. 7).

#### 4. Požadavky na údržbu

Údržba se čistě řídí požadavkem výrobce. Je stanoven pravový interval jak kilometrový, tak i časový. Navíc se čím dál častěji využívá funkce adaptivního ukazatele údržby, který event. na základě jízdních podmínek stanovuje zkrácený průběh km do údržby. Servisní úkony na klasické části vozu se neliší od těch, které se provádějí na konvenčních vozech se spalovacím motorem. Péče o spalovací motor je tedy téměř

identická. Je třeba zmínit předpis použití nízkoviskózních motorových olejů FE. Ty primárně zajišťují snížení spotřeby paliva. Jejich druhým úkolem je zabezpečit lehké starty spalovacího motoru v hybridním režimu. Spalovací motor je po dobu provozu nesčetněkrát zastaven a spuštěn. Za chladného období a při kombinované jízdě ZEV/Hybrid může nastat situace, že spalovací motor nedosáhne provozní teploty. Nízké viskozity olejů a jejich viskozitní indexy umožní spalovacímu motoru zúžení jeho pásma fungování.

Co se týká elektrického pohonu, servis víceméně spočívá ve vizuální kontrole soustavy a diagnostickým přístrojem se kontrolují určité parametry komponentů. Náplně převodů (obr. 8) jsou většinou doživotní nebo s dlouhým intervalem výměny. Veškeré náplně mají svou specifikaci pro použití ve vozech ZEV nebo PHEV.



Obrázek 9: Komerční zdroj

V rámci pravidelného servisu se také kontroluje stav trakční baterie. Součástí servisních prací je její plné nabití na dílně. Tato procedura umožňuje zjistit opotřebení, resp. kapacitu baterie. Zároveň většina výrobců umožňuje na vozech PHEV formátování baterie. Tato procedura umožní určitou obnovu a zpětné získání vyšší kapacity baterie.

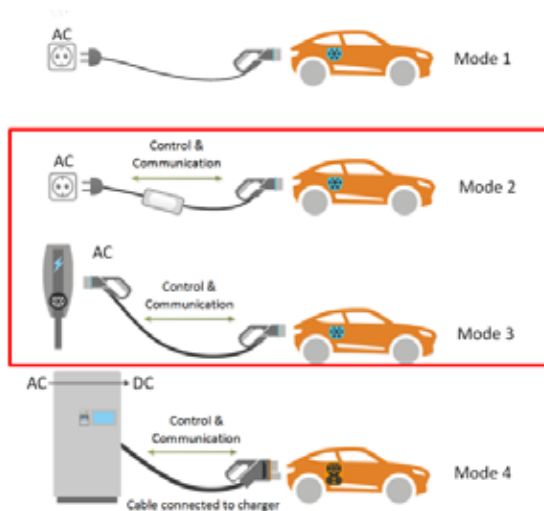
Vozidla PHEV vyžadují specifický přístup a vybavení dílen. Zásahy na elektrické trakční soustavě vozu jsou podmíněny habilitací vyhlášky 50 § 5/6. Důvodem je vysoké součtové napětí článků baterie až 400 V. Habilitaci dostane pouze taková osoba, která má ukončené elektrotechnické vzdělání popsané v příloze normy 50/1978 Sb. Tento fakt může lehce ovlivnit nedostatek pracovníků na trhu práce. V současné době probíhají jisté tlaky na změnu právních předpisů spojených s údržbou a opravami ZEV, PHEV. Zatím se změny nepovedlo prosadit.

#### 5. Dobíjení PHEV

Dobíjení ZEV a PHEV stále vyvolává otázky. Především se jedná o časy dobíjení baterií a typy dobíjení. Cílem elektromobility budoucnosti je zkrácení času dobíjení na minimum a rozšíření infrastruktury dobíjecích míst. Plnění tohoto plánu se nad očekávání daří realizovat, jak co do poskytovatelů energií, tak i do technologií baterií a dobíjecí techniky.

Na obrázku 7 a 8 vidíme schéma čtyř možností dobíjení. Ovšem tyto možnosti nejsou výhradně vymezeny pouze pro vozidla PHEV, ale obecně standardizují metody dobíjení elektromobilů. U vozidel PHEV se využívá mód 2 a 3, ale přesto si dovoluji zkráceně popsat význam všech čtyř módů. **Mód 1** se používá pro malá vozidla a v Evropě se s ním víceméně

## Typy dobíjení



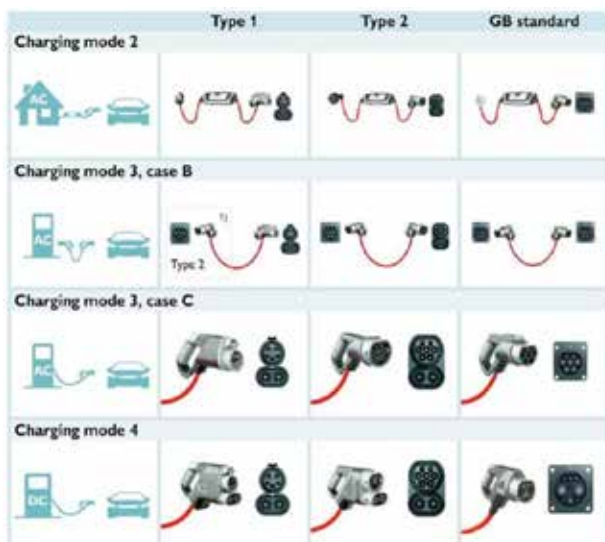
Obrázek 10: Komerční zdroj

ně nesetkáme z důvodu nedostatečné bezpečnosti dobíjení. **Mód 2** je základním typem dobíjení elektromobilů. Jedná se o nabíjecí kabel (součást při koupi vozu), který se zapojuje (CZ) do standardní domovní zásuvky E/F 16 A. Je opatřen elektronikou pro komunikaci s vozidlem, která rozhoduje o maximálním povoleném proudu dobíjení 8/16 A. Pokud se tento kabel připojí k běžné zásuvce, nastaví se nabíjecí proud 8 A. Pokud je ale připojen k posílené zásuvce E/F určené pro elektromobily (třeba typ Green-Up), nabíjecí kabel detekuje vestavěný senzor a přepne se do vyšší proudové hladiny 16 A. Tato zásuvka je na objednání a instaluje ji v domě běžný elektrikář, který předem zváží parametry domovní sítě. **Mód 3** je moderním typem dobíjení elektromobilů, a to jak na veřej-

ných místech, tak i jako domácí stanice. Na rozdíl od módu 2 může využít třífázové dobíjení ze sítě. Pro vozy PHEV se sice zatím 3fázové nabíjení nepoužívá, ale časem možná ano. Dobíjecí stanice (jinak WALLBOX) obsahuje elektroniku pro komunikaci s vozidlem, popř. čtečku čipových karet nebo Wi-Fi připojení. Vozidlo se s tímto zařízením propojí pouze „hladkým“ kabelem (dostupný jako doplněk). Výhodou je možné dobíjení až 7,4 A na fázi. K nabití vozidla PHEV stačí dvě hodiny (cca 55 km dojezd). Tato zařízení montují odborné firmy. Nejsou to pouze veřejné sloupky a wallboxy, ale tato podobná zařízení mohou být instalována i soukromým subjektům, pokud mají dostatečně vysoký rezervovaný příkon (hlavní domovní jistič nejméně 40 A). **Mód 4** je určen pro nabíjení elektromobilů ZEV. Ty totiž mají 2 až 3× vyšší kapacity baterií než PHEV. Účelem je nabít baterii co nejrychleji, tj. za 20–60 min. Jsou to profesionální stanice, které vyžadují zvláštní infrastrukturu elektrické sítě. Samotná vozidla musejí mít přípravu k rychlonabíjení, ta je většinou za příplatek. Nabíjení spočívá v přímém propojení baterie se stanicí a v dobíjení stejnosměrným napětím totožným, jako je nominální napětí baterie. Výkony jsou veliké od 50–15

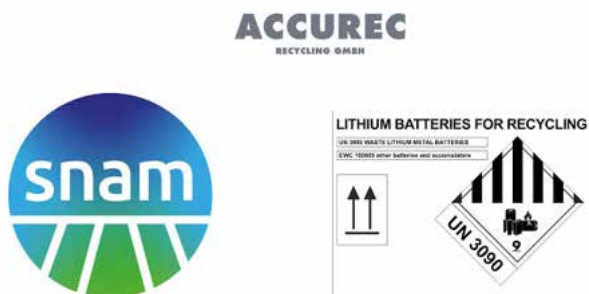
## 6. Lithiová baterie jako odpad, nebo jako druhotná surovina?

Lithiová baterie je obecně diskutovaným tématem. Na počátku stojí relativně vysoká cena nové baterie, která u vozidel ZEV stále činí okolo 50 % celkové ceny elektromobilu. Proto mohou být vozidla PHEV lehce ve výhodě. Jejich baterie jsou na rozdíl od ZEV třetinové. Druhým pohledem zjišťujeme, že s přibývajícím oblibou lithiových baterií roste i potřeba likvidace starých článků. Všichni výrobci elektromobilů jsou zároveň ze zákona povinni zajistit sběr a likvidaci použitých baterií. To stojí nemalé prostředky vyhrazené na samotnou realizaci. Proto se dnes využívají 3stupňové cykly. Prvním je vrácení použité baterie do výrobního závodu, který zváží repasi. Vymění se pouze poškozené články a zbytek se nechá. Tato procedura se brzy přesune na zemská centra (přímo autoservisy), která eliminují dlouhé přepravní vzdálenosti do repasních závodů. Druhou fází je sběr poškozených článků, které již nelze použít pro elektromobilitu, přesto jejich kapacita není nulová. Ty se specifickým způsobem využijí jako akumulátory energií z obnovitelných zdrojů nebo jako svodníky přebytečné energie z elektráren. Třetí fází je recyklace nepoužitelných, poškozených nebo nebezpečných článků / celých baterií. Tato varianta není zatím moc populární, a to z důvodu kapacity evropských zpracovatelů (obr. 10). Nicméně musíme se i na tuto část podívat nejen z pohledu složitého ekologického řešení, ale i s vidinou zpětného zisku strategických surovin, jakými jsou např. měď, nikl, kobalt, mangan atd. S rostoucím trendem využití lithiových baterií je nutné nastavit podobný proces recyklace jako například u olověných akumulátorů. Tedy aby stále rostlo procento materiálové výtěžnosti z recyklace a přitom klesala zátěž životního prostředí. Současní evropští zpracovatelé nejsou nastaveni na takovéto každoroční přírůstky. Proto je absolutně nevyhnutelné nastavit podmínky pro vznik nových subjektů v každé členské zemi. Dále je třeba rozvíjet nové zpracovatelské procesy a upravovat ty současné



Obrázek 11: Komerční zdroj

(pyrolýza, separace hydrometalurgie atd.), což se dozajista neobejde bez určitých státních subvencí. Výsledkem pro další generace bude čistější zpracování a maximální materiálová výtěžnost.



Obrázek 12

## 7. Závěrem

Vozidla PHEV se zdají být perfektním řešením pro další desetiletí. Vzhledem ke stávající přítomnosti konvenčního

pohonu si postupně získají staronové motoristy. Těmto skupinám zákazníků zcela bezpochyby zajišťují vidinu jakési udržitelné mobility.

Použité technologie jsou špičkové a jejich koncepce umožňují vysoké výkony v opci s pohonem  $4 \times 4$ . Současné pořizovací ceny jsou zatím vyšší, ale nemají rostoucí trend. Dá se tedy předpokládat postupné zlevnění a plynulá aplikace pro střední i nižší třídy automobilů.

## Zdroje

- [1] PSA. (2020). Školící dokument. PHEV.str. 1–10
- [2] Eur-lex. (2020). Reduction in CO2 emissions of new passenger cars and of newlight commercial vehicles. str. 1, 2
- [3] Josef Gamba. (2020). Spolupráce s kolektivním systémem Ecobat, s. r. o., PSA Environmental Dept., spolupráce s Kovohutě, a. s.
- [4] Komerční zdroje. (2020). Použité foto str. 6, 8, 9

## Recenzent:

doc. Ing. Helebrant František, CSc., VŠB – Technická univerzita Ostrava; osoba certifikovaná na funkci Technik diagnostik tribodiagnostik – Kategorie II

# Bílá tuhá maziva – ten správný krok v tribologii

## White solid lubricants - the right step in tribology

ING. ZDENĚK NACHÁZEL

NACHÁZEL, S. R. O

## Stručný obsah

Vedle sirníku molybdeničitého, grafitu a PTFE nabývají stále více na významu anorganické fosfáty a oxidy jako aditiva pro snížení tření a otěru zejména u strojních součástí s kmitavým průběhem pohybu a u tváření zastudena. V článku bude referováno o výsledcích ze zkušeben i z praxe a o výzkumech mechanismu účinků těchto nových tuhých maziv.

Dřívější práce ukázaly, že pro mechanismus účinků mohou být předpokládány chemické reakce. Nové výzkumy dokládají, že tato tuhá maziva nereagují při kluzném kontaktu chemicky, nýbrž že se třecí plochy od sebe oddělují fyzikálně, takže povrchy kovů se nedotýkají. Působí jako „udržovatel odstupu“, jako distanční tělíska. V protikladu k sirníku molybdeničitému se nevytváří žádný film.

## Úvod

Použití tuhých maziv při řešení extrémních problémů s mazáním odpovídá současnému stavu techniky již delší dobu. Nejznámější tuhá maziva jsou grafit a sirník molybdeničitý. Hlavní oblastí používání grafitu je tváření kovů při vysokých teplotách, např. kování. Sirník molybdeničitý se setkává s úspěchem vždy, když je třeba zvládnout extrémní plošné tlaky, vakuum, vysoké teploty, radioaktivní záření nebo agresivní média, nebo tam, kde se vyžaduje suché mazání. I když se ukázalo, že s těmito tuhými mazivy je možno dosáhnout

výtečných výkonů, zůstávají některá přání dosud nesplněná, především ne příliš vynikající výkon při mazání třecích ploch s kmitavým pohybem a dále černá barva tohoto maziva, která špíní materiál i pracovníky. Technici požadovali „bílý sirník molybdeničitý“, který by byl při používání čistý, v mazacích účincích lepší a také snadno odstranitelný z třecích ploch.

## Bílá tuhá maziva

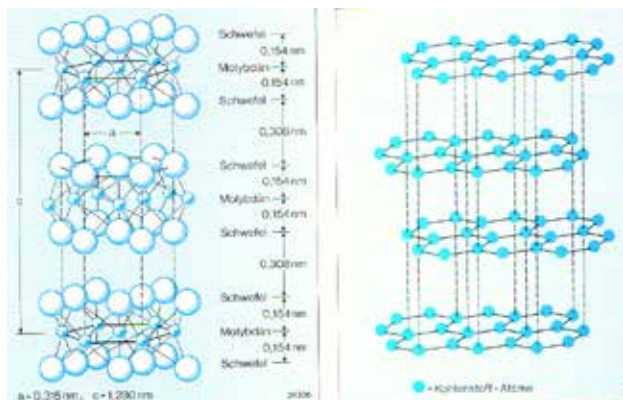
Po dlouholeté výzkumné práci byly skutečně nalezeny látky tohoto druhu. Jejich předností proti  $\text{MoS}_2$  a grafitu spočívají zvlášť v těchto třech bodech:

- 1) přidány do olejů a tuků mají velkou převahu, co se týče součinitele tření a otěru zejména u kmitavých pohybů;
- 2) totéž platí o jejich antikoročních vlastnostech;
- 3) tato tuhá maziva mají bílou nebo přírodně světlou barvu, a proto při používání neznečišťují.

Tabulka č. 1 podává přehled nejdůležitějších černých a světlých tuhých maziv. Dále se mezi sebou porovnávají výkon a mechanismus účinku sirníku molybdeničitého jako zástupce černých tuhých maziv a hydroxidu vápenatého a pyrofosforečnanu zinečnatého jako zástupců bílých tuhých maziv.

Způsob účinku sirníku molybdeničitého byl mnohokrát obšírně vysvětlen a spočívá v jeho lamelární krystalické struktuře. Krystalická struktura  $\text{MoS}_2$  a grafitu je na obrázku č. 1.

Silné vazby mezi rovinami molybdenu a síry a slabé vazby mezi rovinami síra–síra umožňují snadné přesunutí krystalických lamel, svazky vrstev se dělí působením síly, dochází k vytvoření filmu. Roviny síry vedou k silné vazbě na kovové plochy, které



Obrázek 1

Tabulka č. 1: Přehled nejdůležitějších tuhých maziv

| ČERNÁ                               | BÍLÁ                                                        |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| sírník molybdeničitý $\text{MoS}_2$ | hydroxid vápenatý $\text{Ca}(\text{OH})_2$                  |
| grafit C                            | sírník zinečnatý $\text{ZnS}$                               |
| sírník wolframičitý $\text{WS}_2$   | polytetrafluorethylen PTFE                                  |
| fluorid grafitu ( $\text{CF}_x$ ) n | fluorid vápenatý $\text{CaF}_2$                             |
|                                     | vápenatý fosfát $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$                |
|                                     | pyrofosforečnan zinečnatý $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ |
|                                     | oxid olovnatý $\text{PbO}$                                  |

odolávají kluznému tlaku většiny kovů. Tento film ze sírníku molybdeničitého spolehlivě odděluje třecí plochy. Oproti sírníku molybdeničitému nevytvářejí bílá tuhá maziva na třecích plochách soudržný film, protože jsou v suchém stavu jako prášek, a nevykazují také žádný mazací účinek.

### Mazací výkon bílých tuhých maziv na zkušebních strojích

Zatímco sírník molybdeničitý má součinitel tření 0,05, vykazují ostatní tuhé látky i pyrofosforečnan zinečnatý a hydroxid vápenatý výrazně vyšší hodnoty, a to až 0,25 (viz tabulka č. 2). Avšak přidají-li se tato bílá maziva do minerálních olejů nebo plastických maziv, obrát se změni: byl dosažen vynikající mazací účinek. Tento fenomén je nyní objasněn podrobněji, a to na

Tabulka č. 2: Součinitele tření různých tuhých maziv

| Press-fit test            | $\mu$ | stick-slip |
|---------------------------|-------|------------|
| sírník molybdeničitý      | 0,05  | žádný      |
| grafit                    | 0,25  | žádný      |
| sírník zinečnatý          | 0,25  | žádný      |
| fosforečnan vápenatý      | 0,25  | žádný      |
| fosforečnan hlinitý       | 0,25  | žádný      |
| pyrofosforečnan zinečnatý | 0,25  | žádný      |
| hydroxid vápenatý         | 0,25  | žádný      |
| polytetrafluorethylen     | 0,03  | neznatelný |

základě mnoha zkušebních výsledků. Výzkumy byly prováděny na šesti různých modelových aparaturách (viz tabulka 3), které mají velmi rozdílné kontaktní geometrie, pohybové průběhy, rychlosti a tlaky. Přesto bylo dosaženo stejných výsledků.

### Pasty

Jestliže se pasty vyrábějí z tuhých maziv grafitu, sírníku molybdeničitého, hydroxidu vápenatého a pyrofosforečnanu zinečnatého v minerálních olejích (asi 50 % podíl tuhých maziv), pak na stroji Almen-Wieland převažuje používání bílých tuhých maziv.

Závislost třecí síly na zatížení u past z tuhých maziv v minerálním oleji je možné sledovat na obrázku č. 3. Analogické je chování těchto tuhých maziv při otěru, jak je možné pozorovat v tabulce č. 4. Výsledků s podobnými tendencemi dosáhli také J. Neukirchner, H. J. Schmidt a R. Schneider.

S ohledem na součinitele tření a chování stick-slip jsou určité fosfáty mnohem lepší než sírník molybdeničitý.

### Disperze

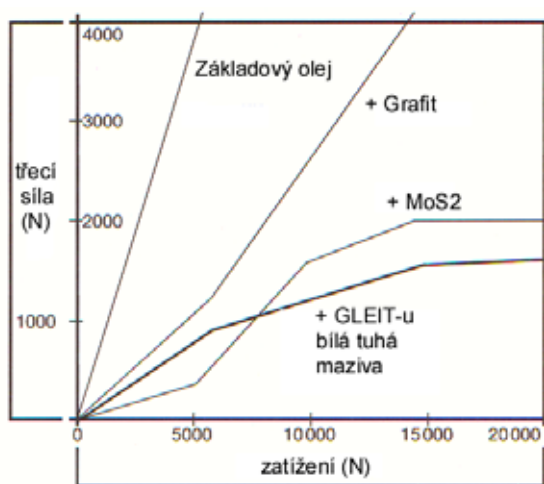
Srovnání součinitele tření a otěru u disperzí grafitu, sírníku molybdeničitého, hydroxidu vápenatého a pyrofosforečnanu zinečnatého v minerálním oleji bylo měřeno na lubrimetru a na Reichertově váze, viz tabulka č. 5. Bílá tuhá maziva vykazují velmi nepatrný otěr a nízký součinitel tření i ve srovnání s aditivem EP rozpustným v oleji. Tyto výsledky se potvrzují také na

Tabulka č. 3: Přehled aplikovaných zkušebních metod. Ve všech případech jsou testovaná tělesa ocel/ocel

| Zkušební stroj                                           | Geometrie dotyku                             | Průběh pohybu                         | Pohybové veličiny         | Měrný tlak, příp. zatížení      | Měřené vlastnosti                |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Almen-Wieland (AWM) (3)                                  | Hřídél / 2 půlené pánvičky<br>liniový dotyk  | točivý                                | 0,066 m/s                 | maximálně<br>20 000 N           | zatížitelnost<br>a otěr          |
| Press-Fit test (4)                                       | čep/pouzdro plošný dotyk                     | pomalé vtlačov.,<br>resp. vytlačování | 15 mm/min                 | 10 000 N/cm <sup>2</sup>        | součinitel tření<br>a stick-slip |
| Lubrimetr (5)                                            | dva čepy / pouzdro liniový<br>dotyk          | točivý                                | 0,2 m/s, resp.<br>0,6 m/s | 45 kg/mm <sup>2</sup>           | součinitel tření<br>a otěr       |
| Reichertova otěrová váha (6)                             | zkřížené válce bodový, resp.<br>plošný dotyk | točivý                                | 1,7 m/s                   | 600 N                           | otěr                             |
| Čtyřkuličkový přístroj (VKA)                             | bodový dotyk                                 | točivý                                | 1 500 ot./min             | max. 10 000 N<br>(velmi vysoký) | zadření při<br>zatížení          |
| SRV-přístroj na měření otěru<br>vznik. z kmit. tření (7) | deska/kulička bodový styk                    | kmitavý                               | 50 Hz                     | 500 N                           | součinitel tření<br>a otěr       |

Tabulka č. 4: *Pasty na základě minerálního oleje s tuhými mazivy*

| Hodnoty koeficientu tření a otěru               |                                          |                                 |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|
|                                                 | Otěr (mg) testovací stroj Almend-Wieland | Součinitel tření Press-fit test |
| základ. olej                                    | zadírání                                 | > 0,25                          |
| + grafit                                        | zadírání                                 | 0,14                            |
| + MoS <sub>2</sub>                              | 16,3                                     | 0,10                            |
| + Ca(OH) <sub>2</sub>                           | 1,2                                      | 0,10                            |
| + Zn <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> | 1,2                                      | 0,10                            |



Obrázek 2

čtyřkuličkovém přístroji a přístroji Almen-Wieland, viz tabulka č. 6. Hydroxid vápenatý a pyrofosforečnan zinečnatý mají stejné dobré vlastnosti při zadírání a zatížení jako disperze sirníku molybdeničitého a grafitu, případně EP aditiv.

#### Plastická maziva (dále jen PM)

Při kmitavých pohybech je přednost bílých maziv zvláště zřetelná. Zkouší-li se na přístroji SRV třecí a ořetrové poměry lithného PM s bílými tuhými mazivy ve srovnání s lithným PM obsahujícím sirník molybdeničitý a s lithným PM bez tuhých maziv, ukáže se i zde velmi zřetelně převaha bílých tuhých maziv.

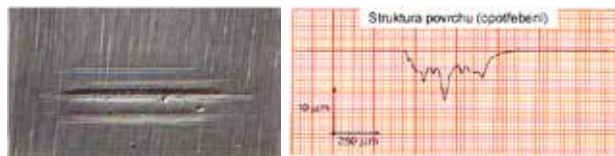
Tabulka č. 5: *Disperze tuhých maziv v minerálním oleji*

|                                                 | LUBRIMETR |                         |         |                         | REICHERTOVA<br>OTĚROVÁ VÁHA |
|-------------------------------------------------|-----------|-------------------------|---------|-------------------------|-----------------------------|
|                                                 | 0,2 m/s   |                         | 0,6 m/s |                         |                             |
|                                                 | μ         | otěr g.10 <sup>-4</sup> | μ       | otěr g.10 <sup>-4</sup> |                             |
| základový olej                                  | 0,15      | 13                      | >0,16   | -                       | 40                          |
| + grafit                                        | 0,13      | 16                      | 0,07    | 20                      | 37                          |
| + MoS <sub>2</sub>                              | 0,11      | 14                      | >0,16   | -                       | 14                          |
| + Ca(OH) <sub>2</sub>                           | 0,09      | 0,7                     | 0,10    | 3                       | 10                          |
| + Zn <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> | 0,10      | 0,3                     | 0,07    | 0,7                     | 7                           |
| + org. P-vazby (EP aditiva)                     | 0,13      | 11                      | 0,08    | 2                       | 28                          |

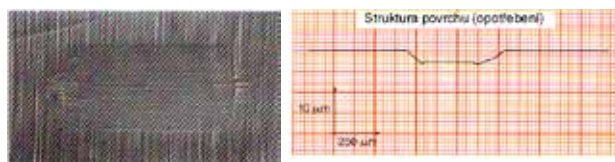
Výsledky těchto testů můžete pozorovat na obrázcích č. 4 a č. 5. Zřetelně je zde vidět hladký průběh křivky koeficientu tření a nulový otěr PM s obsahem bílých tuhých maziv oproti PM s obsahem sirníku molybdeničitého. Tyto práce byly potvrzeny tím, že v letech 1980–1985 byly uveřejněny v Maďarsku (Zakar, Vamos, Somfai) a v tehdejší NDR (Schneider, Wockert, Neukirchner, Brendel). Popisují laboratorní zkoušky a praktické zkušenosti s bílými tuhými mazivy a docházejí k výsledku, že světlá tuhá maziva ve formě past, PM a disperzí dosahují dobrých mazacích a oddělovacích efektů a na základě své světlé barvy mají i fyziologickou nezávadnost a dobrý antikoroziní účinek a mohou tak výhodně nahradit sirník molybdeničitý. Výrobky tohoto druhu se doporučují především pro hluboké tažení, lisování, pro montáž, k mazání kulových kloubů, vřeten, kuličkových šroubů atd.

#### Výsledky praktických zkoušek u strojních součásti

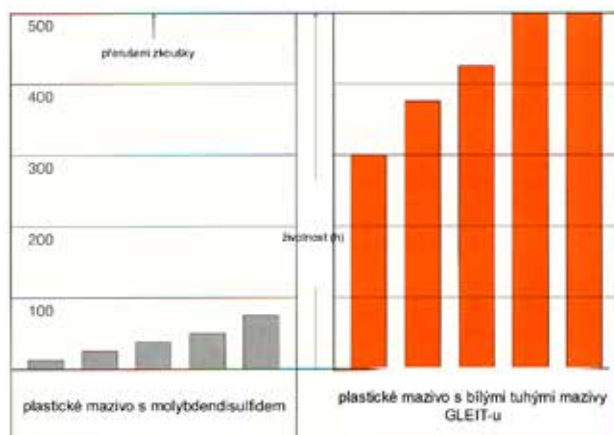
V roce 1983 vydal jeden známý výrobce kloubových ložisek zprávu o velmi rozsáhlých pokusech s PM obsahujícími sirník molybdeničitý a s PM obsahujícími bílá tuhá maziva. Ukázalo se přitom, že tato „bílá PM“ přináší velké zvýšení výkonů. Obrázek č. 6 zřetelně ukazuje prodloužení životnosti z průměrných 50 hodin na více než 500 hodin, když se namísto MoS<sub>2</sub> použila světlá tuhá maziva. Analogické reakce vykazuje i tření a otěr, jehož průběhy i velikosti jsou na obrázku č. 7. Součinitele tření a otěru vykazují výrazně nižší hodnoty pro PM s bílými tuhými mazivy, životnost ložiska se prodloužila.



Obrázek 3: *Pasta s MoS<sub>2</sub>*



Obrázek 4: *Pasta s bílými tuhými mazivy*



Obrázek 5

Tabulka č. 6: Disperze tuhých maziv v min. oleji hodnoty zatížení při zadření v (N)

|                                                 | 4kuličkový přístroj | zkušební stroj Almen-Wieland |
|-------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|
| základ. olej                                    | 1 000               | 3 500                        |
| + grafit                                        | 2 100               | > 20 000                     |
| + MoS <sub>2</sub>                              | 2 200               | 15 000                       |
| + Ca(OH) <sub>2</sub>                           | 2 000               | > 20 000                     |
| + Zn <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> | 2 600               | 15 000                       |
| + EP aditiv                                     | 1 900               | 12 000                       |

Podobné zkoušky se stejným výsledkem prováděl i další výrobce kloubových ložisek.

Uplynulo více než 40 let od zveřejnění prvních zpráv o bílých tuhých mazivech. Dnes lze říci, že tato maziva zaujala vedoucí postavení a mohou být použita všude tam, kde jsou extrémní podmínky tření, jsou to např.:

- kluzná místa s vysokými tlaky a nízkými kluznými rychlostmi;
- kmitavé průběhy pohybu;
- koroze.

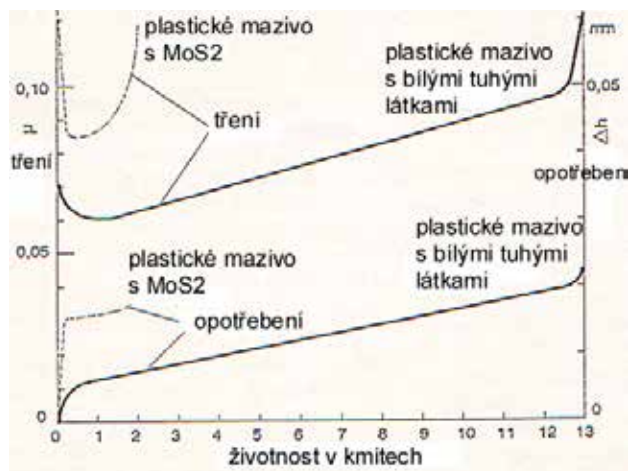
### Funkční charakteristika bílých tuhých maziv

Jak bylo řečeno v úvodu, spočívá funkční charakteristika sirníku molybdeničitého v tom, že zatížením vytváří homogenní film mezi třecími plochami a tím je od sebe odděluje. U bílých tuhých maziv nebylo vytváření podobného filmu pozorováno. Protože bylo zjištěno, že různé pyrofosforečnany mají rozdílné mazací vlastnosti, je jasné, že zde hrají určitou úlohu chemické reakce mezi tuhými mazivy a kovovými povrchy.

Tabulka č. 7 ukazuje, že pyrofosforečnany železnatý, zinečnatý a vápenatý mají uspokojivé hodnoty zatížitelnosti a otěruvzdornosti, zatímco pyrofosforečnany cínatý a hořečnatý v tomto směru neobstojí.

Byla proto dále zkoumána reakce pyrofosforečnanu zinečnatého a hořečnatého se železem a skutečně se přišlo na to, že účinný pyrofosforečnan zinečnatý reaguje se železem mnohem silněji než neúčinný pyrofosforečnan hořečnatý.

Na potvrzení této reakce byly kluzné plochy kloubového



Obrázek 6

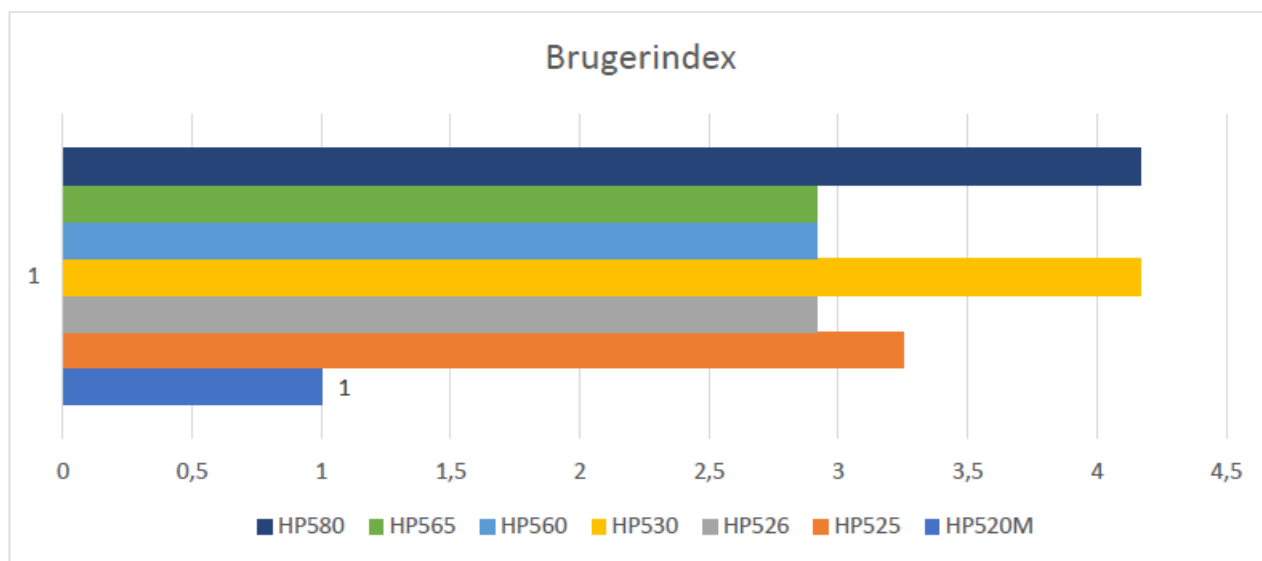
Tabulka č. 7: Otěr a zatížitelnost disperzí pyrofosfát – minerální olej

|                                                  | Reichert test<br>otěr (mm <sup>2</sup> ) | Almen-Wieland<br>zatížení (N) |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|
| Fe <sub>3</sub> (P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) | 3                                        | = 20 000                      |
| Zn <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>    | 3                                        | = 20 000                      |
| Ca <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>    | 9                                        | 16 000                        |
| Sn <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>    | 19                                       | 9 500                         |
| Mg <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>    | 21                                       | 7 000                         |
| MoS <sub>2</sub>                                 | 16                                       | 15 000                        |

ložiska, které běželo 500 h s PM obsahujícím bílé tuhé mazivo, zkoumány pod rastroelektronovým mikroskopem a bylo konstatováno, že vnitřní plocha kroužku ložiska má velmi hladkou stopu. Rentgenové spektrum tohoto povrchu však ukazuje jen prvky oceli, žádné obohacení fosforem, jaké by se dalo čekat v případě chemické reakce. Chemické reakce musejí být tedy vyloučeny alespoň v podmínkách zkoušky tohoto kloubového ložiska. Další zkoumání potvrdilo, že krystaly pyrofosforečnanu zinečnatého se skládají z množství plochých primárních částic. Hydroxid vápenatý má podobný obraz. Tyto primární částice jsou velmi malé, jen asi 0,2 μm (0,0002 mm). Lze si představit, že se při třecím pohybu tyto aglomeráty rozptýlí, primární částice vytvoří spolu s nosným olejem film, který se dá kvůli přítomnosti částic tuhého maziva jen těžko prorazit. Tuhá maziva působí současně i jako „udržovač odstupu“ či separátor kluzných ploch, zamezují adhezivnímu otěru, k zadření nedochází. Velmi nepatrný otěr, jenž vzniká, je způsoben částicemi tuhého maziva, které vyhlazuje a jemně leští povrch.

### NOVINKY

V posledních letech (2018) byl na poli těchto struktur (tzn. chemicko-fyzikálně působících bílých tuhých maziv) zaznamenán bouřlivý vývoj, který jednak potvrdil správnost tohoto směru výzkumu a zároveň potvrdil i očekávaný výkonostní nárůst. Oproti zde prezentovaným typům maziv se jedná o 3- až 4násobný nárůst (měřeno na přístroji Brugger test), viz následující graf. Cena je tomuto nárůstu adekvátní.



#### Literatura:

- 1) *Schneider, R.*: Festschmierstoffe - Grundlagen und Anwendungsrichtlinien. Schmierungstechnik, Berlin 18 (1987) 9, S. 280-285
- 2) *Gänsheimer, J.*: Moderne Festschmierstoffpasten. Vortragsmanuskript 8. Internationales Symposium Tribologie 2000. Technische Akademie Esslingen, Weiterbildungszentrum, 14. 1.-16. 1. 1992
- 3) *Gänsheimer, J.*: Hellfarbene Festschmierstoffe - Entwicklung und Anwendung neuer Festschmierstoffe. Technische Rundschau Bern, Nr. 18 vom 1. 5. 1970, S. 3-7
- 4) *Neukirchner, J.; Schmidt, H. J.; Schneider, R.*: Untersuchungen an hellen Schmierstoffen. Schmierungstechnik, Berlin 13 (1982) 1, S. 14-19
- 5) *Somfai, K.; Zakar, A.*: Anwendungstechnische Versuche mit hellen Schmierstoffen. Schmierungstechnik, Berlin 16 (1985) 10, S. 307-309
- 6) *Schneider, R.; Röckert, E.; Neukirchner, J.; Brendel, H.*: Spezialschmierstoffe für extreme Beanspruchungsbedingungen. Schmierungstechnik, Berlin 16 (1985) 8, S. 235-238
- 7) *Gänsheimer, J.*: Schmierstoffen für oszillierende Bewegungen - ein neuer Fortschritt in der Tribotechnik. Konstruktion 42 (1990), S. 391-395
- 8) Weiße Festschmierstoffe erhöhen die Funktions-sicherheit und aktivieren Leistungsreserven. Information Nr. 23 der Fa. gleitmolybdän Schmierstoffe GmbH. Eching/München
- 9) *Neukirchner, J.; Schneider, R.*: Schwingungsverschleiß (Tribokorrosions) - ein häufiges Verschleißproblem. Erscheint 1992 in Tribologie + Schmierungstechnik
- 10) Tagungsband zur 2. Präsentation Tribologie 1983 vom 3. 5.-5. 5. 1983 in Koblenz, Herausgeber DFVLR Köln, S. 464-468
- 11) *Neukirchner, J.; Wacker, D.*: Probleme der Tribokorrosionsverhinderung. Schmierungstechnik, Berlin 11 (1980) 5, S. 154-156

#### Recenzent:

*Klapka Jiří, osoba certifikovaná na funkci Technik diagnostik tribodiagnostik - Kategorie III*

## Analýza olejů pomocí infračervené spektroskopie – aktuální normy a jejich reálné využití

*Oil analysis by infrared spectroscopy - current standards and their real application*

RNDR. FRANTIŠEK KESNER PH.D.,  
ING. KAREL ŠEC PH.D.

NICOLET CZ S. R. O.

### 1. Úvod

Tento článek volně navazuje na předchozí publikaci, která obecně popisuje zvýšení důrazu na snadnou a rychlou analýzu paliv a maziv<sup>1</sup>. V optimálním případě by se mělo také

jednat o metody normované, aby získané výsledky analýzy byly téměř identické v různých laboratořích pro tzv. mezilaboratorní zkoušky.

Mezi normované metody tribodiagnostické analýzy, které se zabývají analýzou paliv a maziv, patří vedle základních metod (acidobazická titrace, měření kinematické viskozity, stanovení bodu vzplanutí, cou-lometrická titrace podle Karla

Fischera atd.) i spektroskopie ve střední infračervené oblasti. Důvodem proč se komerční laboratoře snaží do jisté míry vyhnout primárním metodám, je jejich časová a ekonomická náročnost oproti infračervené spektroskopii. Prezentovaný příspěvek zahrnuje stručné příklady využití infračervené spektroskopie v kvantitativní analýze maziv podle norem ASTM-D7418-122, DIN 51451 2020-023 a ASTM E2412-10 (revize 2018)4.

Dalším požadavkem komerčních laboratoří je plná automatizace měřících a vyhodnocovacích analyzovaných vzorků. Tyto systémy pak k analýze dat převážně využívají multikomponentní (multivariační) metody popsané např. v normě ASTM E1655-175.

## 2. Normy ASTM-D7418-12 a DIN 51451 2020-02

- **ASTM-D7418-12** – Standard Practice for Set-Up and Operation of Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometers for In-Service Oil Condition Monitoring
- **DIN 51451 2020-02** – Testing of petroleum products and related products – Analysis by infrared spectrometry – General working principles

Tyto dvě základní normy se zabývají různými aspekty infračervené spektroskopie, jako jsou teoretické základy, volba optických materiálů, měřící parametry, možnosti měřících technik (transmisní kyveta, ATR (tlumená totální reflexe)), popisem obecných postupů využívaných pro kvalitativní resp. kvantita-

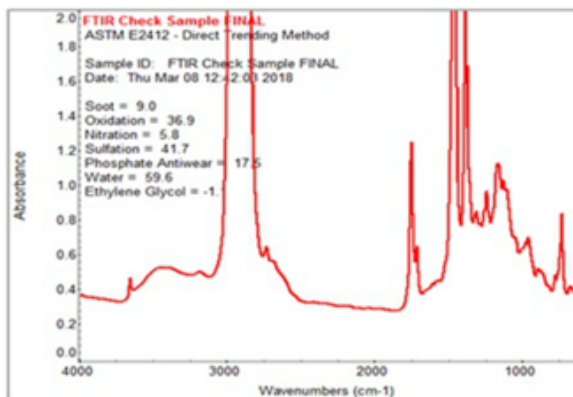
Tabulka. 1 – orientační hodnoty vlnočtů důležitých pro analýzu upotřebených motorových olejů.

| Parametr            | Spektrální region v $\text{cm}^{-1}$ |
|---------------------|--------------------------------------|
| saze                | 2000                                 |
| oxidační produkty   | 1700                                 |
| nitratční produkty  | 1630                                 |
| sulfatační produkty | 1150                                 |
| voda                | 3400                                 |
| nafta               | 800                                  |
| benzin              | 750                                  |
| glykol              | 880                                  |
| antioxidanty        | 960                                  |
| aromáty             | 1600                                 |

tivní analýzu, atd. Dále se v nich lze dočíst jak vypočítat optickou dráhu transmisní kyvety nebo jak normalizovat naměřená infračervená spektra na definovanou optickou dráhu. To vše jsou samozřejmě nezbytné kroky pro univerzálnost výsledků získávaných v různých tribotechnických laboratořích, často i na různých FTIR spektrometrech.

## 3. Norma ASTM E2412-10 (revize 2018)

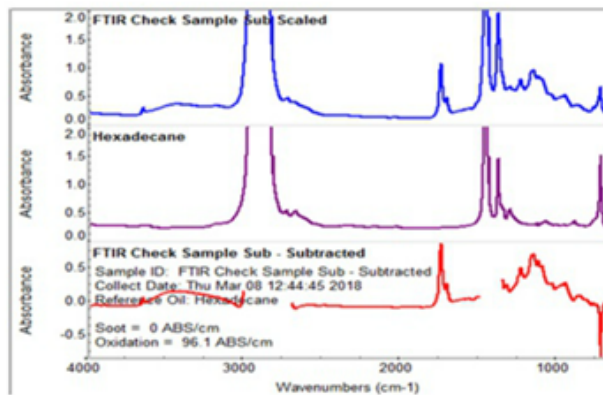
- **ASTM E2412-10** (revize 2018) Condition Monitoring of In-Service Lubricants by Trend Analysis Using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry



ASTM E2412 – Direct Measurement

Sample ID: FTIR Check Sample FINAL  
Date: Thu Mar 08 12:42:03 2018

Soot = 9.0  
Oxidation = 36.9  
Nitration = 5.8  
Sulfation = 41.7  
Phosphate Antiwear = 17.5  
Water = 59.6  
Ethylene Glycol = -1.1



ASTM E2412 – Spectral Subtraction

Sample ID: FTIR Check Sample FINAL  
Date: Thu Mar 08 12:44:45 2018  
Reference Oil: Hexadecane

Soot = 0 ABS/cm  
Oxidation = 96.1 ABS/cm  
Nitration = 10.1 ABS/cm  
Sulfation = 78.3 ABS/cm  
Phosphate Antiwear = 0 ABS/cm  
Water = 0.54%  
Glycol = 0%

Tato důležitá norma velmi podrobně popisuje monitorování provozních kapalin vyhodnocovaných jak z odečtových infračervených spekter (čerstvý olej mínus upotřebený olej), tak i přímo z infračervených spekter upotřebených provozních kapalin.

Přímé vyhodnocování z naměřených infračervených spekter nám umožňuje získávat relativní hodnoty, jako jsou korigovaná výška pásu nebo korigovaná plocha pásu, bez hlubší znalosti používaného typu maziva. Tento typ analýzy je vhodný pro pravidelnou a relativně častou trendovou analýzu.

Vyhodnocování z odečtových spekter je poněkud komplikovanější, protože je nezbytné mít naměřené infračervené spektrum čerstvého oleje ideálně stejné šarže, která je použita ve sledovaném zařízení. Jestliže nebude tento požadavek splněn, mohou být získané výsledky silně zkresleny. Výhodou tohoto postupu je získání absolutních hodnot kontaminantů, jako je voda, glykol nebo palivo. V případě informací o produktech oxidačního namáhání je možné tato výsledky normalizovat na definovanou optickou dráhu kyvety (nejčastěji se používají hodnoty absorbance vztažené na optickou dráhu kyvety 0,1 mm). Mezi tyto sledované parametry patří oxidace, nitratace a sulfatace. Další nezanedbatelnou výhodou je také snížení detekčního limitu pro stanovované parametry.

Mezi další sledované parametry patří obsah sazí a zušlechťujících přísad, mezi které patří např. vysokoteplotní antioxidanty jako ZDDP (dialkyldithiofosfát zinku) nebo TCP (tricresyl fosfát).

V následující tabulce můžete najít orientační hodnoty vlnočtů důležitých pro analýzu upotřebených motorových olejů (viz Tabulka 1). Některé podrobnosti týkající se vzájemného ovlivňování parametrů jsou uvedeny v uvedených normách.

Pro ilustraci jsou na obrázku č. 1 uvedeny protokoly z diferenční a přímé metody stanovení olejů pomocí infračervené spektroskopie v programu Affirma od společnosti Thermo Scientific.

#### 4. Další používané normy

V praxi se můžeme dále setkávat s normami, které jsou specifikovány speciálním výpočtem, který má sjednotit hodnoty zjištěných výsledků. Mezi tyto normy patří např. ASTM-D7214 – 07a6 (revize 2019), která je specializována na monitorování oxidační stability automobilových kapalin např. v převodových olejích. Výsledky jsou ve formátu PAI (nárůst plochy pásu karbonylového pásu A, vynásobená zředovacím faktorem D, a vydělena optickou dráhou kyvety  $e$  v mm viz vzorec 1:

$$PAI = \frac{area\ A}{e(mm)} \times D$$

Podle normy DIN 51453 2004-107 můžeme stanovovat oxidaci a nitraci v použitých motorových olejích nebo podle normy DIN 51452 1994-018 je možné stanovovat obsah sazí v upotřebeném motorovém oleji z diesellového motoru. Výpočet pro obsah sazí se provádí podle vzorce 2 resp. 3, kde  $F$  je korekce mezi obsahem sazí a poměrem log propustnosti prázdného vzorkového prostoru k propustnosti měřeného vzorku – 0,048,

$d$  je optická dráha kyvety v mm,  $\tau_B$  je propustnost prázdného vzorkového prostoru a  $\tau_p$  je propustnost analyzovaného vzorku. Výsledkem je hmotnostní zlomek v %.

$$\omega(R) = F \cdot \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{10000}{\bar{\nu}} \right)^{0,862} \cdot \lg \frac{\tau_B}{\tau_p}$$

Pro vlnočty 4000  $\text{cm}^{-1}$  má vzorec 3 hodnotu 2,264 resp. pro vlnočty 1970  $\text{cm}^{-1}$  je hodnota 4,259

$$\left( \frac{10000}{\bar{\nu}} \right)^{0,862}$$

Poslední zmiňovanou normou je DIN 51639-4 2010-029 popisující stanovení podílu rostlinného oleje v použitých naftových motorových olejích. Důvodem provádění této analýzy je, že rostlinný olej zůstává kvůli své vysoké teplotě odpařování v motorovém oleji téměř bez změn, ale zásadně se mohou měnit jeho mazací vlastnosti. Rostlinný olej navíc může reagovat za vzniku polymerů, jež mohou být patrné ve formě kalů. Usazování kalů v motorovém oleji nakonec vede k fatální poruše motoru.

Bohužel hodnocení obsahu rostlinného oleje v použitých motorových olejích může být nepříznivě ovlivněno nebo dokonce znemožněno v následujících případech:

- jestliže má upotřebený olej vysoký obsah sazí;
- jestliže oleje obsahují estery (jako přísady) nebo jestli jsou základové oleje na bázi esteru;
- jestliže se používá jako palivo bionafta (FAME);
- jestliže je motorový olej vystaven silnému tepelnému namáhání (oxidaci).

#### 5. Kvantitativní analýza

Je založena na předpokladu platnosti Lambertova-Beerova zákona, který zjednodušeně popisuje přímou závislost výšky resp. plochu pásu na koncentraci sledované složky. Bohužel jedním z hlavních omezení tohoto zákona je, že vyhodnocovaný pás je závislý pouze na analyzované složce tzn., že pás není ovlivněn koncentrací jiné než sledované složky. To však v mnoha případech není možné dodržet, a proto je nutné využívat maticového počtu a složitější statistiky (např. metody PCA, PCR, PLS, CLS a metoda P-matrix) a vyhodnocují se celé spektrální oblasti. Podrobnosti lze najít např. v normě ASTM E1655-17.

#### 6. Závěr

Jak je z výše uvedeného textu patrné, pak jednou ze základních analytických technik používaných v současnosti v tribotechnických laboratořích je infračervená spektroskopie ve střední infračervené oblasti. Tuto skutečnost je možné pozorovat i ve velkém počtu norem, které se zabývají touto problematikou.

V případě analýzy paliv se stanovují se značnou přesností nejen „chemické“ parametry benzínů a naft (FAME, ETBE,

MTBE, obsah olefinů, obsah polyaromátů atd.), ale i parametry spíše fyzikálně-chemické povahy (oktanové číslo, cetanové číslo, hustota, TAN, TBN, destilační parametry atd.). I zde je možné vidět některé normativní aktivity např. v ČSN EN 14078:2014 (65 6138)10 nebo ČSN EN 228 (65 6505)11.

## 7. Použitá literatura

1. Kesner, F. Využití molekulové spektroskopie v tribodiagnostice paliv a maziv. *Řízení a údržba průmyslového podniku [online]* Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artikuly/artikuly/article/vyuziti-molekulove-spektroskopie-v-tribodiagnostice-paliv-a-maziv/> 2019.
2. ASTM D7418-12. *Standard Practice for Set-Up and Operation of Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometers for In-Service Oil Condition Monitoring*. West Conshohocken: ASTM International, 2019.
3. DIN 51451:2020. *Testing of petroleum products and related products - Analysis by infrared spectrometry - General working principles*. German Institute for Standardisation, 2020.
4. ASTM E2412-10 (2018). *Standard Practice for Condition Monitoring of In-Service Lubricants by Trend Analysis Using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry*. West Conshohocken: ASTM International, 2018.
5. ASTM E1655-17. *Standard Practices for Infrared Multivariate Quantitative Analysis*. West Conshohocken: ASTM International, 2017.
6. D7214-07a (Reapproved 2019). *Standard Test Method for Determination of the Oxidation of Used Lubricants by FT-IR. Using Peak Area Increase Calculation*. West Conshohocken: ASTM International, 2019.
7. DIN 51453:2004-10. *Testing of lubricants - Determination of oxidation and nitration of used motor oils - Infrared spectrometric method*. German Institute for Standardisation, 2004
8. DIN 51452: 1994. *Testing of lubricants; determination of the soot content in used diesel engine oils; Infrared spectrometry*. German Institute for Standardisation, 1994
9. DIN 51639-4: 2010. *Determination of vegetable oil fraction in used diesel motor oils using infrared spectrometry*. German Institute for Standardisation, 1994
10. ČSN EN 14078:2014 (65 6138). *Kapalné ropné výrobky - Stanovení obsahu methylesterů mastných kyselin (FAME) ve středních destilátech – Metoda infračervené spektrometrie*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2014.
11. ČSN EN 228 (65 6505). *Motorová paliva. Bezolovnaté automobilové benziny. Technické požadavky a metody zkoušení*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2004.

## Recenzent:

Ing. Hrabec Ladislav, Ph.D., VŠB – Technická univerzita Ostrava; osoba certifikovaná na funkci Specialista vibrační diagnostiky – Kategorie III a Technik diagnostik tribodiagnostik – Kategorie II

# Význam provozní péče pro úspěšné používání moderních procesních kapalin

## The importance of operational care for the successful use of modern process fluids

ING. PETR DOBEŠ, CSC.  
TRIBO-KONTAKT BRNO

## 1. Úvod

Cílem obráběcích operací je hospodárná výroba obrobků s bezvadným povrchem. V tribologickém systému, jehož hlavními prvky jsou obrobek a obráběcí nástroj, hraje důležitou roli také médium, které obklopuje jejich vzájemný kontakt – procesní kapalina. Na procesní kapaliny, které se při obrábění používají, je kladeno mnoho požadavků. Hlavními úkoly jsou mazání, chlazení a vyplachování. Vedle toho je nutno akceptovat řadu vedlejších úkolů, např. antikorozi ochranu, zdravotní nezávadnost, vyloučení nebezpečných složek atd.

Při řezném procesu se vyskytují v podstatě dvě třecí místa, která vyžadují dobré mazací vlastnosti, a to styková plocha mezi obrobkem a hřbetem nástroje a mezi třískou a čelem nástroje. Požadavek na zmenšení tření souvisí s mazivostí procesní kapaliny. Přísady obsažené v procesní kapalině adsorbují na povrchu obrobku i nástroje a vytvářejí tak vrstvy, které omezují přímý kovový kontakt povrchů a tím i tření a opotřebení nástroje.

je. Menší opotřebení znamená zachování přesnosti nástroje a stálost rozměrů výrobků.

Značný význam mají chladicí účinky procesní kapaliny, neboť převážná část příkonu obráběcího stroje se při obrábění přemění na teplo. To je odváděno převážně kapalinou a třískami (až 85 %), v menší míře obrobkem (cca do 15 %) a nástrojem (cca 5–10 %). Množství a rozdělení obráběcího tepla závisí na řadě faktorů. Obráběcí teploty stoupají s rostoucí houževnatostí obráběného materiálu, řeznou rychlostí a řezným výkonem. Další důležité faktory představují geometrie nástroje, chlazení a mazání. Chladicí účinky závisejí na řadě faktorů, především na druhu a množství procesní kapaliny přiváděné k řeznému nástroji za časovou jednotku, na rychlosti proudění, na tvaru a směru proudu kapaliny vzhledem k místu řezu, na viskozitě, měrném teple a součiniteli tepelné vodivosti řezné kapaliny. Chladicí účinek je tím větší, čím lepší je přenos tepla a čím více procesní kapaliny se dostává k záběru.

Závisí na podmínkách obrábění, zda musí být kladen větší důraz na mazání nebo na chladicí účinek. Obecně platí, že mazání je v popředí u velkých průřezů třísek a nízkých řezných

rychlostí a rovněž u operací, kde jsou vysoké požadavky na jakost povrchu. Vydátný odvod tepla je nezbytný především při vysokých řezných rychlostech a vysokých požadavcích na rozměrovou přesnost obrobků.

Výše uvedené hlavní i vedlejší funkce kapaliny mohou zajistit emulze o/v, tedy mikroskopické kapky oleje rozptýlené ve vodě, nebo kapaliny na bázi vodného roztoku neobsahující olej nebo řezné oleje nemísitelné s vodou. Vedle toho se používá i obrábění bez kapaliny, to znamená zasucha, a též mazání minimálním množstvím maziwa, tzv. mikromazání. Největší chladicí a vyplachovací účinek mají procesní kapaliny mísitelné s vodou, protože ta má ve srovnání s olejem několikanásobně vyšší tepelnou vodivost i měrné teplo.

## 2. Obráběcí stroj – obrobek – procesní kapalina

V tribologickém systému, jehož prvky jsou obrobek, obráběcí stroj/nástroj a procesní kapalina, se všechno „točí“ kolem obrobku. Především na základě použitého materiálu a potřebných výrobních operací je nutno vybírat zbývající dva prvky tak, aby co nejdokonaleji plnily všechny požadované funkce.

Použitý materiál obrobku, jeho pevnost, houževnatost, obrobiteľnosť a stabilita samozřejmě ovlivňují nejen výběr obráběcích strojů a používaných nástrojů, ale také výběr procesní kapaliny. Také výrobní operace potřebné pro opracování použitého polotovaru a materiálu do konečného tvaru a stavu výrobku mají klíčový význam pro výběr obráběcích strojů a používaných nástrojů i pro výběr procesní kapaliny.

Vždy je snaha výrobních závodů používat co nejuniverzálnější stroje, ale to samozřejmě není možné vždy. Výsledkem proto obvykle bývá směs univerzálních a speciálních strojů. Ovšem v případě procesní kapaliny bývá (především z logistických důvodů) výrazná snaha používat jedinou kapalinu. Přesto někdy nastávají situace, kdy je kvůli speciálním operacím anebo kvůli nekompatibilitám materiálům nutno pro takové případy používat kapalinu speciální.

Procesní kapalina je důležitou součástí stroje, protéká jím a při plnění svých základních funkcí smáčí nejen nástroj a obrobek, ale také většinu jeho vnitřních povrchů. Systém pro oběh obráběcí kapaliny je otevřený, a proto se do něj z okolí dostávají nejrůznější cizí látky, které mají nepříznivý vliv na stabilitu a životnost kapaliny. Aby bylo jejich nežádoucí působení co nejmenší, je třeba tyto nečistoty co nejrychleji a co nejdokonaleji z kapaliny vhodným zařízením odstraňovat.

V podstatě každý obráběcí stroj by měl mít takové zařízení jako součást svého příslušenství pro oběh procesní kapaliny. Hodnota takového kvalitního systému pro oběh kapaliny bývá cca 20 až 25 % hodnoty stroje. Jenže z úsporných důvodů bývají jeho možnosti omezeny jen na ty nejzákladnější funkce, nejčastěji pouze na dopravu třísek mimo obráběcí prostor, někdy jsou doplněny o odstraňování malých částic filtrací nebo magnetickou separací, jindy o separátor oleje. Výsledkem je samozřejmě nedokonalá funkce a narůstající znečištění kapaliny, které je nutno odstraňovat náhradními způsoby.

Specializovaní dodavatelé nabízejí různá dodatečná speciální zařízení pro dokonalé čištění kapaliny od různých druhů nečistot a pro její údržbu. Taková zařízení jsou obvykle určena pro trvalé připojení k obráběcímu stroji a stávají se jeho součástí,

ale existují i mobilní zařízení, která se používají a ke strojům připojují krátkodobě.

Pokud není stroj vybaven zařízením pro dokonalé čištění kapaliny, je třeba volit alternativní cesty, jak nečistoty z kapaliny co nejrychleji a co nejdokonaleji odstraňovat. Zde se otevírá široké pole působnosti jak pro vlastní pracovníky, operátory i údržbáře, tak pro společnosti specializované na čištění strojů a systémů. Nevýhodou vlastních pracovníků je většinou jejich malá praxe v této činnosti a chybějící technické vybavení, předností je dobrá znalost stroje. Předností externích společností bývají naopak právě bohaté zkušenosti a specializované technické vybavení, což jim umožňuje dosahovat dokonalějších výsledků.

## 3. Údržba obráběcích kapalin a tribodiagnostika

Obráběcí kapaliny na bázi vody jsou mnohem oblíbenější a asi třikrát rozšířenější než obráběcí oleje. Jednak proto, že ve většině případů je hlavním důvodem použití procesní kapaliny spíše účinný odvod tepla a odstraňování třísek než dobré mazání, a dále také pro řadu dalších příznivých vlastností, které těmto kapalinám dává jejich základní složka – voda. Jenže voda je také životním prostředím nejrůznějších mikroorganismů, které se všude v životním prostředí vyskytují. Protože systém oběhu obráběcí kapaliny je otevřený, přichází kapalina do intenzivního styku s okolním prostředím a může se do ní dostávat velké množství mikroorganismů, které ve vodním prostředí vegetují. Nejen mikroorganismy, ale také nejrůznější druhy pevných i kapalných látek tvoří znečištění obráběcích kapalin, které časem narůstá a svým negativním působením zkracuje životnost obráběcí kapaliny na zlomek technicky dosažitelné doby. O to větší význam má kvalitní provozní péče o tyto kapaliny podpořená a podložena tribotechnickou diagnostikou. Tato péče by měla být strukturována do tří úrovní:

- a) každodenní základní péče;
- b) pravidelný odborný dohled;
- c) specializovaná podpora při řešení problémů.

Každodenní základní kontrola procesní kapaliny by měla být nedílnou součástí každodenních rutinních činností operátora stroje. Ten by měl vědět o stroji i o kapalině nejvíce a měl by znát i vzájemné souvislosti, což mu usnadní správné diagnostikovat jednotlivé veličiny/stavy a pak správně provádět adekvátní činnosti při péči o kapalinu.

Diagnostiku na této úrovni můžeme pojmenovat jako „senzorickou diagnostiku“, protože operátorovi stroje stačí jeho smysly – zrak a čich. Hodnotí se vzhled, množství a zápach provozované kapaliny v zásobní nádrži i v systému a jsou porovnávány se vzhledem a zápachem nové kapaliny. Výsledkem je slovní hodnocení stavu a rozhodnutí, zda je kapalina v pořádku.

Pravidelný odborný dohled – jak lze z názvu odvodit, péči o kapalinu na této úrovni by měl provádět pracovník s hlubšími odbornými znalostmi o kapalině, o jejích vlastnostech, o významu diagnostikovaných veličin. Nejedná se o každodenní činnost, ale opakování by mělo být tak časté, aby bylo možno včas zachytit zhoršení parametrů a reagovat na to nápravným opatřením údržby kapaliny.

V případě kapalin mísitelných s vodou se provádí stanovení koncentrace a hodnoty pH. To je důležitou zvláštností při péči

o kapaliny na bázi vody, neboť správná koncentrace je zásadní nejen pro správnou funkci, ale i pro stabilitu kapaliny; správná hodnota pH ukazuje, že kapalina je v dobrém stavu. Je tedy zřejmé, že jde o klíčové parametry, které přímo ukazují na stav kapaliny. Protože k tomu potřebujeme jednoduché přístroje, můžeme hovořit o „instrumentální diagnostice“. Frekvence těchto měření by měla být volena tak, aby byly včas zachyceny odchylky od správného stavu. Obvykle se doporučuje týdenní interval, ale podle místních podmínek a množství doplňované kapaliny to může být i dvakrát za týden nebo jednou za dva týdny.

Specializovaná podpora při řešení problémů – tato úroveň navazuje na obě nižší skupiny a používá se jen v případě potřeby, většinou tedy nepravidelně, jen pokud je některý ze základních parametrů vyhodnocen jako nevyhovující a je třeba podrobněji ověřit stav kapaliny. Používají se metody „speciální diagnostiky“, které vyžadují speciální laboratorní vybavení a odborný personál. Pokud nemá uživatel laboratoř s potřebným vybavením pro jiné účely, bývá hospodárnější využití externí specializované laboratoře, např. dodavatele obráběcích kapalin. Rozhodování o tom, které rozbory je třeba provést, by měl provádět odborný pracovník, který o kapaliny soustavně pečuje a dobře zná jejich historii.

Úkolem tribotechnické diagnostiky je zjistit, jaký je stav kapaliny, a na jeho základě určit, jaká opatření údržby je třeba provést, aby se kapalina vrátila do optimálního stavu – tak je

možno výrazně prodloužit životnost a snížit náklady. Správně zvolené zásahy preventivní nebo ještě lépe proaktivní údržby prováděné vždy ve správném okamžiku využívají závěry diagnostiky pro plánování zásahů.

## 4. Závěr

Správně zvolená obráběcí kapalina výrazně přispívá k dosahování nízkých provozních nákladů a současně k optimální výkonnosti a jakosti při obrábění nejrůznějších konstrukčních materiálů.

Správně promyšlená strategie provozní péče o obráběcí kapalinu je tou nejlepší cestou k dosahování minimálních celkových nákladů, optimálního prostředí na pracovišti a maximální výkonnosti obráběcího stroje.

## Použitá literatura:

- Mang, T. – Dresel, W. (Eds.): Lubricants and Lubrication, 2<sup>nd</sup> Ed., WILEY-VCH Verlag GmbH & Co, 2007
- Kačmár, M.: Nová teória chemického mechanizmu obrábání, TechMagazín, říjen 2016, s. 62–63

## Recenzent:

*Ing. Růžička Pavel, Ph.D., TOTAL ČR s. r. o., Praha; osoba certifikovaná na funkci Technik diagnostik tribodiagnostik –Kategorie III*



# CONTROL ENGINEERING<sup>Česko</sup>

Mezinárodní zdroj informací o řízení,  
přístrojovém vybavení a automatizaci.

# VÁŠ PARTNER V ELEKTRONICE A TECHNICE



**5.281,-**

## Digitální stolní multimetr Voltcraft VC-7055BT

- Displej: 55 000 číslic (counts), přesnost 0,025 %
- Až 64 měření za sekundu s pamětí pro 1000 měření
- Měření AC/DC napětí (750/1000 V) a proudu (10 A), True RMS
- Měření teploty s kompatibilitou senzorů typu ITS90 K a PT100
- Rozhraní RS232

Obj. č.: 2203066



**1.231,-**

## Infračervený teploměr VOLTcraft IR 650-16D

- S dvojitým laserem a optikou 16:1
- Teplotní rozsah -40 do 650 °C
- Reakční doba 150 ms
- Nastavitelná emisivita 0,1 - 1,0
- Nastavitelné mezní hodnoty s alarmem

Obj. č.: 1600031



**1.562,-**

## Stolní lupa s LED osvětlením TOOLCRAFT

- Barva světla 6500K
- Faktor zvětšení 3x
- Počet LED 60
- Ø lupy 127 mm

Obj. č.: 2250947



**983,-**

## Pájecí stanice Basetech BT-2147832

- Výkon 60 W
- Teplotní rozsah 200 až 450 °C
- 3 přednastavené teploty pro rychlou volbu
- VČ. 3 hrotů a 2x 10g pájky

Obj. č.: 2147832

Ceny jsou uvedeny bez DPH a zaokrouhlené na Kč. Právo na chyby vyhrazeno. Kompletní nabídku naleznete na [www.conrad.cz](http://www.conrad.cz).

# CONRAD

PROCUREMENT. SIMPLE. FAST. COMPREHENSIVE.



**+420 226 224 254**  
v pracovní dny 8 - 16 hodin



**velkoobchod@conrad.cz**



**www.conrad.cz**

# Udržíme nový hygienický standard s Tork Clean Care pro výrobní podniky



Jako výrobce jste v situaci, kdy je váš podnik i vaši lidé pod obrovským tlakem. Je nezbytné udržet všechny v bezpečí a zabránit prostojům ve výrobě. Toho dosáhnete, když zaměstnance podpoříte v nácviku správné hygieny ve vašem podniku.

Jako přední globální hygienická značka jsme tu, abychom vám pomohli. Věříme, že znalosti a správné nástroje zajistí podmínky pro správnou hygienu a úklidovou praxi. Dali jsme dohromady ty nejdůležitější doporučení a nabídky pro hygienu a čištění pro vaše výrobní prostory, které vám pomohou udržet pracoviště zdravé a produktivní, a zajistí pracovníkům bezpečí. Udržte nový hygienický standard s Tork Clean Care pro výrobní podniky.

[www.tork.cz/manufacturing](http://www.tork.cz/manufacturing)

Tork, značka společnosti Essity



**Think ahead.**