

Maziva – oleje – technologické kapaliny

TRIBOTECHNICKÉ INFORMACE

2/2025

TRIBOTECHNIKA
MOTOROVÁ PALIVA

TECHMAGAZÍN

Česká strojnická společnost, odborná sekce Tribotechnika a motorová paliva, ve spolupráci s redakcí časopisu TechMagazín

OBSAH:

- **Tribotechnika nadopovaná inteligentními algoritmy** **2**
  Editorial: Redakce
- **Zapojení AI do analýzy olejů a faktory ovlivňující vyhodnocení jejich výsledků** **3-4**
  Ing. Tomáš Turan
- **Mazání průmyslových převodovek – současné trendy a vývoj k udržitelnosti** **5-6**
  Ing. Jakub Grunt
- **Dvouokruhový progresivní centrální mazací systém** **7-8**
  Ing. Pavel Špondr
- **Šest tisíc ložísk v kritickom zariadení prevádzky zlyhalo, kto je na vine?** **9-10**
  Ing. Jozef Šiška, Ing. Jiří Valdauf
- **Umělá inteligence ve službách tribotechniky** **11-12**
  Ian Farrell, Josef Vališka

Česká strojnická společnost
sekce **Tribotechnika a motorová paliva**
Novotného lávka 200/5, 116 68 Praha 1
tel.: 728 747 242,
e-mail: strojspol@csvts.cz
www.tribotechnika.cz
www.strojnicka-spolecnost.cz

TECH MEDIA PUBLISHING s.r.o.
TechMagazín
Petržílova 19, 143 00 Praha 4
tel.: 774 622 300
e-mail: redakce@techmagazin.cz
www.techmagazin.cz

TRIBOTECHNIKA NADOPOVANÁ INTELIGENTNÍMI ALGORITMY

Technologiím a metodám, které se od svého nástupu do služeb tribotechniky během dosavadního vývoje osvědčily, úspěšně etablovaly a standardizovaly, a zdánlivě dosáhly maxima svých možností, přibyla nyní další významná posila – umělá inteligence, která posouvá jejich schopnosti na novou úroveň.

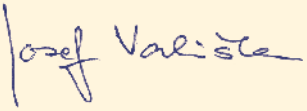
Tradiční způsoby testování tribologických vlastností jsou časově náročné, provádění experimentů a analýza výsledků může být komplikovaný a nákladný proces, který často vyžaduje pokročilé technologie. A právě v tomto směru může být velmi užitečným nástrojem využití AI pro zefektivnění tohoto procesu.

Jednou z perspektivních metod řešení je použití umělých neuronových sítí (Artificial Neural Networks – ANN), umožňujících zpracování více úkolů současně, a to i s omezenými daty, které se ukázaly jako účinné při redukci času a nákladů spojených s experimenty pro lepší analýzu v tribologickém testování.

Na rozdíl od konvenčních analytických technik má ANN schopnost predikovat po procesu učení relevantní výstupy i s omezenými vstupními daty, přičemž jedna z hlavních výhod spočívá v jejím vynikajícím učebním potenciálu a schopnosti modelovat vícerozměrné, nelineární a komplexní funkce. Navíc ANN vykazuje necitlivost na drobné změny, jako je šum, což pomáhá vyhnout se chybám. Další z výhod je schopnost předpovídat následné výsledky na základě počátečních experimentálních datových sad, čímž eliminuje potřebu dalších experimentů. Tato schopnost nejen přispívá ke zkrácení doby trvání experimentů, ale představuje i jednu z nejslibnějších aplikací ANN, která slouží jako výkonný simulační nástroj, umožňující výrazně ušetřit čas i zdroje při tribologickém výzkumu.

Tento přístup se již osvědčil pro studium tribologických vlastností, včetně koeficientu tření, opotřebení, vlastností maziva, tvorby tloušťky filmu a dalších povrchových mechanických vlastností materiálů, jako jsou kompozity a polymery. ■

Josef Vališka, šéfredaktor



PLÁN NEJBLIŽŠÍCH ODBORNÝCH AKCÍ 2026

PLASTICKÁ MAZIVA (seminář/webinář)
Termín: 18. února 2026
Novotného lávka 200/5, Praha 1, nebo online

MAZÁNÍ ELEKTROMOBILŮ A KONVENČNÍCH VOZIDEL
Termín: 22. dubna 2026
Novotného lávka 200/5, Praha 1, nebo online

KONFERENCE MAZIVA A PALIVA 2026
Termín: 19.–21. května 2026
Hotel Sladovna, Černá Hora na Blanensku
odborný garant: Ing. Petr Kříž, (petr.kriz@chematribos.cz)

TRIBOTECHNICKÉ INFORMACE Č. 1/2026 PŘÍLOHA TECHMAGAZÍNU
Termín vydání: 22. června 2026
odborný garant: Ing. Petr Kříž, (petr.kriz@chematribos.cz)
organizační garant: Petr Kostolník (petr.kostolnik@techmagazin.cz)

Bližší informace: Ing. Olga Křížová, tajemník ČSS
mobil: 728 747 242, e-mail: strojspol@csvts.cz, nebo na www.tribotechnika.cz

ZAPOJENÍ AI DO ANALÝZY OLEJŮ A FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ANALÝZY

Umělá inteligence (AI) – pojem, který je v dnešní době velmi často zmiňován v souvislosti s používáním v různých oborech od her přes zdravotnictví až po rozpoznávání věcí, a dokonce i lidských obličejů. Bylo by ale mylné se domnívat, že používání umělé inteligence je doménou jen posledních let.

1



2



4

Na	K	Mo	B	Mg	Ca	Zn	P	V40
<1	<1	<1	<1	<1	5	2	193	320

TAN	Ba	Mn	Ti	V	Ag	Li
0,3	<1	1	<1	<1	<1	1

1 **Pro získání parametrů** použitého oleje je nutná analýza nového oleje.

2 **Zdroje informací důležité** k vytvoření správného závěru a doporučení.

3 **Limitní hodnoty** pro určitý typ převodu.

4 **Charakteristické hodnoty** pro určitý typ oleje.

3

	Normální		Pozor		Abnormální		Závažné		Zvláštní	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Al	0	10	11	15	16	20	21	1000		
Ni	0	5	6	10	11	15	16	1000		
Cr	0	5	6	10	11	15	16	1000		
Fe	0	60	61	100	101	150	150	5000		
Cu	0	10	11	15	16	20	21	1000		
Pb	0	10	11	15	16	20	21	1000		
Sn	0	5	6	10	11	15	16	1000		
Si	0	20	21	25	26	30	31	1000		
Na	0	25	26	30	31	50	50	1000		
K	0	100	101	9999						
Mo										
B										
Mg										
Ca										
Zn										
Pb										
voda	0	0.1	0.11	0.5	0.6	1.0	1.1	100		
V40										
V100										
TAN										
PQ index	0	45	46	50	51	55	56	10000		
oxidace										
Ba	0	0							1	9999
Mn	0	3							1	9999
Ti										
V	0	5							1	9999
Ag	0	5							1	9999
Li	0	3							1	9999

Počátky zájmu lidí o používání strojové inteligence sahají už do období před 2. světovou válkou. Od té doby se technika výrazně vylepšila, a i lidstvo začalo počítače využívat v čím dál větší míře. Stačí uvést příklad z našeho oboru. Před 20 lety se standardně k měření hodnoty čísla kyselosti používaly tužka, papír a lidský zrak (bylo to v době, kdy se během týdne provedl rozbor zhruba 50 vzorků). Pomocí toho se zaznamenávaly hodnoty napětí a v bodě, který vykazoval největší změnu napětí, se odečetl objem titračního roztoku. Tato hodnota se použila pro výpočet čísla kyselosti. V dnešní době, kdy je počet vzorků až dvacetkrát vyšší, je tato ruční práce nahrazena automatickým systémem a softwarem, který je několikanásobně efektivnější než člověk, tužka a papír.

> AI může být užitečná jen v případě, že dodané podklady jsou založeny na pravdivých hodnotách.

V oblasti diagnostiky výsledků je vývoj velmi podobný a vlastně je zcela logické, že kopíruje cestu automatizace jako u samotných analýz. K tomu, aby diagnostik mohl vynést správný závěr, je nutné mít k dispozici dostatečné množství informací (viz **obr. 2**).

Bez informace, o jaký typ zařízení se jedná, jaký typ a viskozita oleje se používá, jak dlouho je olej v systému, nebo zda došlo během provozu k doplnění oleje, případně jaký problém se u stroje objevuje, bez toho všeho jsou závěry diagnostika pouze odhady a jeho vyhodnocení nemusí být zcela přesné. S tím samozřejmě souvisí i možné doporu-

FOTO: ALS Czech republic

čení, co s takovým olejem ve stroji udělat, protože většinou je na výběr více možností, co doporučit, a diagnostik uvádí to, které by mělo být nejefektivnější. Nakonec ale koncový uživatel stroje provede opatření, které mu může více vyhovovat z hlediska šetření nákladů nebo času. Ve chvíli, kdy jsou všechny informace k dispozici, je možné tato data použít k vytvoření algoritmů a vět, které mohou usnadnit práci diagnostika a vytvořit hodnocení a doporučení, která diagnostik pak už jen kontroluje a případně může upravit, nebo také odmítnout, protože se ukáže, že pro správné vyhodnocení chybí jedna důležitá informace.

Aby však mohly být věty a algoritmy sestaveny, je nutné mít širokou databázi strojů, jejich limitních hodnot, výsledků a i doporučení, které se budou generovat. Kde takové informace získat? K vytvoření databáze strojů často slouží podklady zákazníka podle toho, jaké typy stroje používá. Limitní hodnoty jsou buď dodány výrobcem strojů, nebo si je vytvoří zákazník na základě historických výsledků, případně mohou být dodány i samotnou laboratoří, která má dostatečné množství výsledků pro daný typ stroje a dokáže podle toho nastavit limitní hodnoty. Jak takové limitní hodnoty mohou vypadat, je možné se podívat na **obr. 3**, kde jsou uvedeny limitní obsahy otěrových prvků pro určitý typ převodu. Je zde také patrné, jakým způsobem se označují jednotlivé úrovně závažnosti i s variantou „zvláštní“, která se objevuje v případě neobvyklých obsahů některých prvků. V tabulce 3 je také vidět, že zdaleka ne všechny parametry, které se sledují, mají limitní hodnoty. Některé parametry jsou závislé na používaném typu oleje. Jelikož není možné tímto způsobem podchytit jednoduše všechny typy olejů, které se v takovém převodu mohou používat, nejsou tyto parametry zahrnuty do vyhodnocení zařízení systémem, ale zůstává pak na diagnostikovi, aby posoudil, zda nevyhodnocené parametry odpovídají použitému typu oleje (viskozita, obsah aditivních prvků apod.).

I v případě olejů je ale možné vytvořit parametry, které se budou používat pro vyhodnocení (viz **obr. 4**). Pro získání parametrů oleje je nutná analýza nového oleje, alespoň co se týká obsahu prvků nebo hodnoty TAN. Některé parametry je možné získat z technického listu produktu, ale ne vždy jsou tyto hodnoty dostačující a je lepší, např. v případě čísla kyselosti nebo viskozity, naměřit aktuální hodnotu, ze které je možné pak nastavit limitní hodnoty.

Takže pokud máme k dispozici limity pro převod a nový převodový olej, můžeme tyto informace použít k vyhodnocení analýz oleje i stavu stroje. Umělá inteligence označí zelenou barvou všechny parametry, které odpovídají limitním hodnotám stroje i oleje a pak příslušné nevyhovující hodnoty označí příslušnou barvou podle toho, jak moc jsou mimo standardní hodnoty.

V případě, že všechny parametry mají limitní hodnotu, která je vyhovující, doplní systém věty, které jsou nastaveny pro případ, že je vše v pořádku a může odeslat výsledky zákazníkovi nebo je před odesláním ještě zkontroluje diagnostik. Pokud se objeví parametr, který je mimo standardní hodnotu, systém ho označí příslušnou barvou závažnosti a ponechá ho diagnostikovi k posouzení, zda je tento parametr opravdu mimo limit, nebo existuje nějaká příčina, která umožňuje označený parametr vrátit do normálního hodnocení. Takovým případem může být, pokud zákazník chybně označí název oleje, a tedy některé aditivní prvky jsou potom označeny například žlutou barvou, protože jejich obsah nevyhovuje standardním hodnotám.

Diagnostik tedy posoudí, jestli jde skutečně o jiný olej nebo změnu aditivace a je na jeho posouzení, zda označí parametry jako vyhovující nebo varovné s doplněním, že se jedná o jinou aditivaci. Jiným příkladem může být varovné označení otěrových prvků, kde systém může doplnit i příslušné věty, které navrhují, co v takovém případě udělat. Systém opět ponechá vzorek s výsledky k posouzení diagnostika, který buď navrhované doporučení schválí, nebo doplní o svoje další vyhodnocení a doporučení.

S příchodem stále dokonalejší techniky a narůstajícího množství vzorků se používání umělé inteligence jeví jako velmi užitečný nástroj pro zrychlení a zjednodušení práce v laboratoři. Je nutné připomenout, že je důležité používat k vytvoření algoritmů a limitních hodnot jen opravdu ověřené hodnoty. Umělá inteligence může být užitečná jen v případě, že dodané podklady jsou založeny na pravdivých hodnotách, a nikoli na hodnotách vymyšlených.

Pokud se podaří vyplnit bílá místa, která dotvoří celkových obrázek o parametrech stroje a oleje, pak takový nástroj umožní spolehlivě nahradit práci diagnostika v jednoduchých případech a umožní mu věnovat se případům, které vyžadují více času na vyhodnocení. ■

Tomáš Turan, ALS Czech republic

▼ INZERCE



MAZÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH PŘEVODOVEK – SOUČASNÉ TRENDY A VÝVOJ K UDRŽITELNOSTI

Převody jsou mechanické prvky pro přenos pohybu a výkonu mezi dvěma strojními součástmi prostřednictvím zubů v záběru. Najdeme je v celé řadě zařízení od automobilů přes hodiny a pracovní stroje až po jízdní kola. Patří k nejrozšířenějším prvkům pro přenos výkonu napříč aplikacemi.


1


2


3

1 **Dnešní převodovky** jsou menší, ale dosahují vyšší hustoty výkonu.

2 **Pohled na mazané části,** a především hlavní převod větrné turbíny.

3 **Příklad převodovky** v cementárenském průmyslu.

Převody se klasifikují podle tvaru (čelní, šikmé, kuželové, šnekové aj.), profilu zubů, vzájemné polohy a osy otáčení. Tyto faktory společně s kvalitou výroby a mazáním určují energetickou účinnost převodu v dané aplikaci.

Tribologie ozubených převodů

Zuby jsou v trvalém záběru, proto na styčné ploše dochází k relativnímu pohybu a vzniku tření. Zvýšené tření urychluje opotřebení materiálu zubů a může vést k předčasnému selhání. Tribologické chování ovlivňuje zejména drsnost povrchu a přesnost výroby (definují skutečnou kontaktní plochu a lokální tlaky), materiál a jeho mikrostrukturu (např. cementační vrstvy, nitridace, velikost zrna a tvrdost), jež určují odolnost proti opotřebení a únavě, a mazivo a podmínky mazání (snižují tření, odvádějí teplo i otěr, chrání proti korozi a tlumí hluk a vibrace).

Množství a přísun maziva v místě záběru zásadně ovlivňují životnost převodu. V typických nekonformních kontaktech ozubených kol převládá elastohydrodynamické mazání (EHL), kdy se tlakem vytváří velmi tenký olejový film oddělující povrchy. Při nízkých rychlostech, rozběžích, rázech, místním nedostatku maziva nebo vysoké drsnosti může nastávat mezní mazání, kdy se části povrchu dotýkají a jsou chráněny především aditivy pro vysoké tlaky a proti opotřebení.

Průmyslové převodovky

Jsou zásadní pro plynulý chod technologií přímo v rámci výrobních procesů i nepřímo jako podpora dalších zařízení. Jejich úlohou, která se může zdát prostá, je měnit otáčky vstupní energie a zvyšovat točivý moment na požadovanou hodnotu. Klíčové však je, aby pracovaly účinně a spolehlivě po celou dobu životnosti. Efektivní provoz zvyšuje produktivitu a snižuje provozní náklady, zatímco porucha převodovky může znamenat úplné zastavení výroby, ztrátu výstupu, tržeb i kontraktů.

Studium tribologie převodů a správná volba materiálu, tepelného zpracování, povrchové kvality i vhodného maziva pro dané provozní podmínky jsou proto nezbytné pro dosažení požadované účinnosti i spolehlivosti.

Základový olej a aditivace

Průmyslové převodové oleje (IGO – Industrial Gear Oils) musí být pečlivě navrženy (kombinací vhodného základového oleje a výkonového balíčku aditiv), aby splňovaly náročné požadavky různých aplikací.

Syntetické oleje (např. PAO, PAG nebo estery) se používají stále častěji, protože nabízejí lepší tepelnou a oxidační stabilitu než minerální oleje. Díky tomu mívají až trojnásobně delší životnost a lépe fungují v proměnlivých podmínkách. Minerální oleje se stále uplatňují tam, kde jsou náklady prioritou a podmínky stabilní.

Klíčovou roli hrají aditiva, protože chrání převodovku, zejména pak ložiska, která jsou častým místem poruchy. Oleje proto musí chránit proti opotřebení, zadírání, mikropittingu a vzniku WEC (White Etching Cracks). Součástí moderních IGO jsou také deemulgátory pro rychlé odlučování vody, protipěnící aditiva, aby se omezilo přetékání a ztráty oleje přes odvětrání, a antikorozní složky na ochranu kovových dílů včetně mědi a mosazi. Nízká rozpustnost některých syntetických základových olejů (zejména PAO) zvyšuje význam kompatibilizátoru, příměsi udržující další aditiva v roztoku. Jeho správná volba je zásadní, aby nekompromitoval ostatní vlastnosti oleje.

Průmyslové převodovky čelí široké škále provozních výzev, např. v těžbě, cementárnách a kamenolomech (vnikání pevných částic), v papírenském či ocelářském průmyslu (kontaminace vodou). V každém z těchto případů může být narušena funkce maziva, což se negativně projeví na účinnosti a životnosti převodovky.

FOTO: Shutterstock, archiv

V mnoha aplikacích je navíc obtížný i fyzický přístup k převodovkám. Požadavek na nízkou potřebu údržby a dlouhou životnost komponent společně s oleji s prodlouženou životností tak představuje klíčový faktor při rozhodování. Dnešní převodovky jsou nejen menší a lehčí, ale zároveň dosahují vyšší hustoty výkonu. Vyšší zatížení zubů, vyšší zatížení ložisek a zvýšené provozní teploty oleje přímo zvyšují nároky na moderní IGO. To vede k požadavku, aby IGO splňovaly přísné standardy výkonu definované výrobci originálního zařízení (OEM).

Rozlišování olejů podle specifikací a schválení výrobců

Hlavní standardy na světovém trhu: ISO 12925-1, DIN 51517-3, AGMA 9005-F16, GB 5903, AIST/US Steel 224, SEB 181226, JIS K2219. Zajímavé je srovnání mezi u nás zažitou ISO 12925-1 CKD a čínskou specifikací GB 5903:2011 CKD, která je přísnější v parametrech pěnivosti a FZG A/8,3/90. Navíc přesně stanovuje úrovně např. pro zatížení Timken, smykovou stabilitu, čtyřkuličkovou zkoušku a mechanické nečistoty.

Jelikož dnešní převodovky musí pracovat při vyšších teplotách a v náročnějších podmínkách než dříve, zvyšují OEM požadované výkonnostní parametry na převodové oleje. Mnozí výrobci převodovek vedle obecných průmyslových norem (AGMA 9005-F16, DIN 51517-3, ISO 12925-1) uplatňují i vlastní specifické požadavky. Jako příklad lze uvést ty klíčové: Flender, SEW Eurodrive, ZF, Bonfiglioli a další. Výsledkem jsou přísnější nároky na výkon bez ohledu na použitý základový olej. Přesto napříč segmenty přední OEM doporučují syntetická maziva na bázi PAO vedle dalších technologií, čímž potvrzují přidanou hodnotu vysoce výkonných IGO pro převodové jednotky i konkrétní aplikace.

Trendy

Velikost trhu s převodovými oleji v posledních letech pozvolna, ale stabilně roste. Očekává se nárůst z 8,6 mld. USD (2024) na přibližně 8,84 mld. USD (2025), což odpovídá CAGR 2,8 %. Růst souvisí s důrazem na péči o zařízení a prodlužování jejich životnosti, dodržováním předpisů i norem, poptávkou po těžkých strojích a průmyslovém zařízení, modernizací výroby a expanzí automobilového průmyslu.

Při pokračování růstu se odhaduje hodnotou kolem 10,18 mld. USD při CAGR 3,6 % do roku 2029. Objem trhu se zvyšuje, přičemž roste podíl olejů pro převodovky větrných turbín a podíl syntetických olejů. Tahouny jsou přechod k environmentálně šetrným mazivům, pokračující automatizace, důraz na energetickou účinnost a naplňování oborových norem.

Klíčovými trendy jsou zvyšování výkonu, inovace v syntetických a vysoce výkonných olejích, sektorově specifické receptury, digitalizace, prediktivní údržba a koncentrovaný přístup k monitoringu stavu.

Požadavek na vyšší účinnost vede k náročnějším konstrukcím zařízení a přísnějším požadavkům na odolnost proti opotřebení, kompatibilitu s těsněními a filtraci. Zmenšování rozměrů a hmotnosti převodovek zvyšuje namáhání oleje a klade vyšší nároky na odolnost proti pěnění, zavzdušnění a jemnost filtrace. Vyšší účinnost si vyžaduje oleje s delší životností, často i přechod na syntetická maziva a vyšší čistotu.

Převodové oleje pro větrnou energetiku – Celosvětově roste množství elektřiny z větru a instalovaný výkon větrných elektráren se rok od roku zvyšuje. Pokles cen v offshore segmentu stimuloval investice v Evropě, Severní Americe i Asii a Pacifiku. Očekává se, že tento trend dále zvýší poptávku po převodových olejích. Specifické požadavky na tyto oleje jsou: plně syntetický základový olej, posílená odolnost proti oxidaci, FZG ≥ 14, a schopnost provozování olejové náplně > 10 let.

Biologicky odbouratelné převodové oleje – Přísné environmentální předpisy formují trh s převodovými oleji. Roste důraz na vývoj ekologicky šetrných maziv s minimálním dopadem na životní prostředí. Biologicky odbouratelné převodové oleje jsou stále rozšířenější, protože podniky usilují o soulad s regulacemi a snížení své environmentální stopy. Převodové oleje na bázi syntetických esterů mají typicky tyto vlastnosti:

- Formulace z nasycených syntetických esterů (delší životnost díky vysoké oxidační stabilitě).
- Biologická odbouratelnost > 60 %, oleje mohou být klasifikovány jako EAL (Environmentally Acceptable Lubricants).
- Velmi vysoký viskozitní index a smyková stabilita (udržují vysokou tloušťku mazacího filmu i při zvýšených teplotách).
- Nízký bod tuhnutí a příznivé nízkoteplotní vlastnosti (lepší starty a spolehlivý chod v chladu).
- Odolnost proti zadírání prokázaná zkouškou FZG (ASTM D5182) typicky až do stupně 13.
- Někteří OEM mohou mít obtíže s homologací kvůli kompatibilitě s těsněními (různé elastomery).

Energeticky úsporné převodové oleje – Moderní převodové oleje dokážou díky výraznému snížení koeficientu tření reálně šetřit elektrickou energii pohonů. Správně zvolený mix kvalitních základových olejů a promyšlená, inovovaná aditivace minimalizují hydrodynamické i smykové ztráty, což se nejvíce projeví u výkonných převodovek s výkony 5, 10 i více MW. Oproti konvenčním formulacím tak lze dosáhnout úspor v řádu desetin procent z vložené elektrické energie. Ačkoli se mohou tyto hodnoty zdát malé, u jednoho zařízení představují desítky tisíc eur ročně, což výrazně převyšuje náklady na výměnu původní náplně a pořízení oleje nové generace. Návratnost investice je rychlá a dobře predikovatelná i u menších pohonů, kde se úspory sčítají napříč flotilou strojů.

Závěr

Trend směřující k vyšší účinnosti a udržitelnosti bude dále sílit a umožní moderním převodovkám dosahovat nižších celkových nákladů na vlastnictví (TCO). Dnešní vysoce výkonné syntetické IGO musí poskytovat mimořádnou úroveň výkonu a ochrany nejen pro ozubení a ložiska, ale pro každou část převodovky, včetně lepidel, nátěrů a těsnění. Současně nesmějí podporovat vznik WEC a musí splnit přísné požadavky OEM pro moderní převodovky. Rostoucí hustota výkonu, přísnější normy a tlak na udržitelnost dělají z volby převodového oleje nedílnou součást návrhu převodovky, nejen provozní detail.

Trh s převodovými oleji má před sebou další růst tažený průmyslovým sektorem, technickým pokrokem a tlakem na udržitelnost. Je však nutné zvládnout výzvy, jako je kolísání cen surovin, technická komplexita a konkurence alternativních maziv. Výhled zůstává pozitivní – příležitosti se otevírají v oblasti udržitelných maziv, digitalizace a průmyslové automatizace. S dalším vývojem odvětví zůstanou převodové oleje klíčovým prvkem pro zajištění účinného a spolehlivého chodu převodových systémů napříč aplikacemi.

> Návratnost je rychlá a dobře predikovatelná i u menších pohonů, kde se úspory sčítají napříč flotilou strojů.

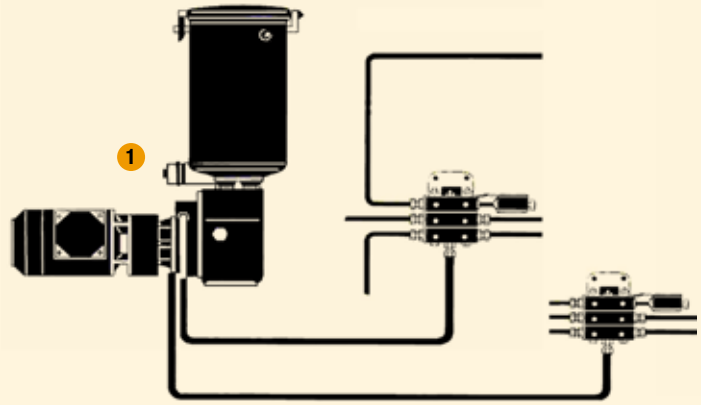
Specifickou roli hrají energeticky úsporné převodové oleje, které díky nižšímu koeficientu tření a stabilní viskozitě reálně snižují ztráty v záběru. Úspory v řádu desetin procent vložené elektrické energie se v nepřetržitém provozu promítají do desítek tisíc eur ročně na zařízení, takže návratnost je rychlá i u menších pohonů a v součtu celé flotily výrazně snižuje TCO.

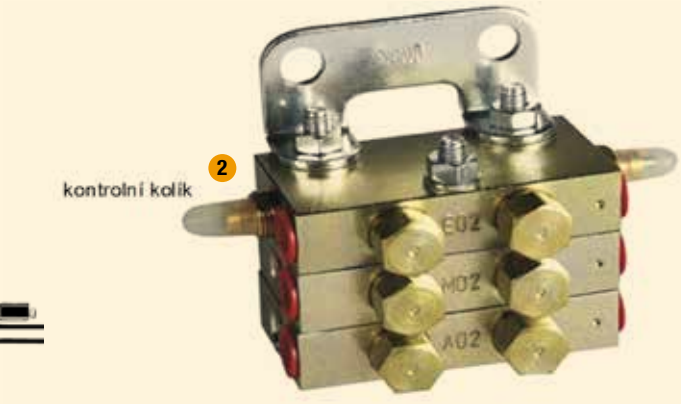
Praktický recept na další roky zní: Správná specifikace (normy + OEM schválení), disciplinovaná čistota a kondiční monitoring, a tam, kde to dává smysl, nasazení energeticky úsporné a/nebo biologicky odbouratelné formulace. Tak bude možné dosáhnout vyšší účinnosti, delší životnosti a nižších celkových nákladů – udržitelně a měřitelně. ■

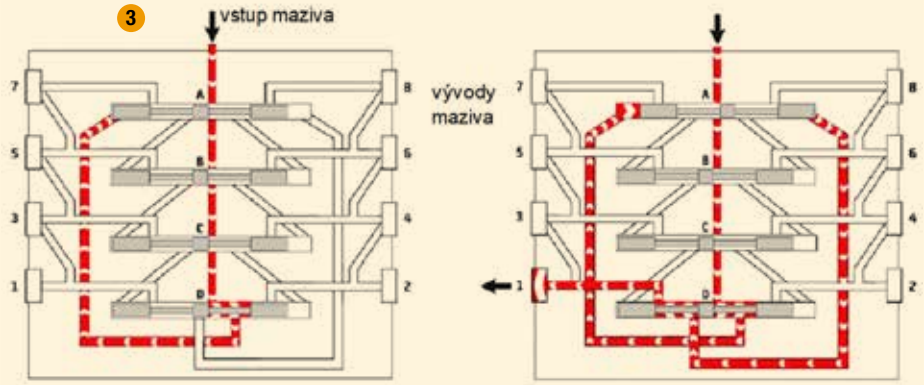
Jakub Grunt, TotalEnergies Marketing

DVOUOKRUHOVÝ PROGRESIVNÍ CENTRÁLNÍ MAZACÍ SYSTÉM

Nasazování centrálního mazacího systému, zejména u ložisek strojů a strojních zařízení, je v mnoha případech nepostradatelné. Mazací systémy dopravují mazací látku (olej/tekuté mazivo/plastické mazivo) do mazaných míst v přesně stanoveném množství a čase, nezávisle na odporu proti vnikání maziva do mazaného místa a na negativním lidském faktoru.







1. **Dvouokruhový progresivní CMS** s nezávisle uspořádanými progresivními rozdělovači a elektronickou kontrolou chodu.
2. **Progresivní** trojsekční rozdělovač.
3. **Princip funkce** progresivního rozdělovače.
4. **Mobilní pásová vrtací souprava** používaná k zakládání staveb.
5. **Umístění mazacího přístroje** v prostoru hydrauliky.
6. **Příklad uchycení** progresivních rozdělovačů na vrtací věži.

Progresivní centrální mazací systém (CMS) slouží k mazání strojů (včetně mobilních) a strojních zařízení až do cca 100 (i více) mazacích míst (MM) vzdálených desítky metrů. Tento provozně velmi spolehlivý systém je odolný proti mechanickému poškození i vlivům prostředí.

Uspořádáním a provedením rozdělovačů docílíme dodávání požadovaného množství maziva do jednotlivých MM v širokém rozsahu poměrů. Princip funkce umožňuje 100% kontrolu dodávky maziva do všech mazacích míst.

Zdrojem maziva je mazací přístroj poháněný elektromotorem, který dodává mazivo rozvodným potrubím přes kontrolní místo (kde jsou manometry a pojišťovací ventily) ke dvěma progresivním rozdělovačům. Ty obsahují pracovní písty, které dávkují mazivo a současně se v určeném pořadí vzájemně řídí. Při každém zdvihu pracovního pístu progresivního rozdělovače je příslušné množství maziva (odpovídající zdvihovému objemu pístu) vytlačeno do dalšího progresivního rozdělovače nebo přímo MM. Mazací cyklus se ukončí vypnutím pohonu mazacího přístroje.

Celý mazací obvod je řízen a kontrolován automatikou stroje, která hlídá stav maziva v nádrži i funkci progresivních rozdělovačů.

Pracovní režim automatického progresivního CMS u mobilních strojů

Automatický progresivní CMS může pracovat ve spojitém nebo přerušovaném pracovním režimu, který se volí podle charakteru a požadavků provozu.

U mobilních strojů se většinou používá přerušovaný pracovní režim, ovšem s předmazacím cyklem před pracovním nasazením (např. ráno), kdy se poté automaticky opakují soubory intervalů provozu a přestávky mazacího agregátu. Možnost libovolného nastavení doby provozu a přestávky mazacího agregátu (v závislosti na čase nebo na zatížení) je dána provedením a nastavením řídicí automatiky.

Mazací přístroj pracuje na principu neregulovatelného pístového hydrogenerátoru se dvěma čerpacími jednotkami. Čtyřlitrový zásobník maziva disponuje indikací nízké hladiny. Možností je i integrovaný automatický systém, který umožňuje nastavení doby provozu a přestávky mazacího agregátu současně s vyhodnocením prázdné nádrže a sledováním chodu jednoho progresivního rozdělovače. Samozřejmostí je plnění nádrže mazacího přístroje přes rychlospojku, čímž je zajištěno, že nebudou při doplňování do nádrže maziva zanášeny nečistoty a částice vyskytující se v okolí strojů.

Progresivní rozdělovač slouží k dávkování maziva dodávaného ve vhodném režimu mazacím přístrojem do MM nebo k dalšímu rozdělovači. Jde o pasivní součást mazacího obvodu (do činnosti se uvede až zvýšením tlaku maziva na jeho vstupu).

Rozdělení objemu maziva je docíleno pomocí pohyblivých pístů s funkčními zápichy a soustavy přepouštěcích otvorů. Do přívodní

FOTO: archiv



sekce se přivede mazivo z mazacího přístroje pod tlakem větším, než je hydraulický odpor na jednotlivých vývodech rozdělovače. Jedná se o hydraulické odpory ve vedení a MM nebo v dalších rozdělovačích. V tom okamžiku nastane pohyb vždy jen jednoho pístu jedné sekce (toho, který je spojen s tímto tlakem otvory a zápichem pístu bližšího k přívodní sekci).

Pohybem pístu je mazivo vytlačováno přes otvory a zápich pístu do výstupního otvoru sekce bližší k přívodní sekci (neplatí pro přívodní sekci). Dokončením tohoto taktu nastává stejná situace pro píst další sekce, která je bližší k závěrné sekci. Píst přívodní sekce pracuje do vývodů sekce závěrné. Tento cyklus se neustále opakuje, pokud je hydraulický tlak ve vývodech z rozdělovače nižší než tlak na přívodu.

Největší výhodou progresivního rozdělovače je možnost jednoduché kontroly jeho chodu sledováním pohybu kontrolního kolíku jednoho z pístů rozdělovače. K dalším výhodám patří vysoká hodnota pracovního tlaku, přesné dávkování do různých protitlaků v MM a vysoká odolnost proti mechanickému poškození i negativním vlivům pracovního prostředí. Velkou předností progresivních rozdělovačů je také variabilnost jejich provedení (až max. 24 vývodů) a široký rozsah zdvihových objemů (+ možnost externího i interního spojení vývodů), který umožňuje spolehlivé pokrytí požadavků různých MM na konkrétní dodávaná množství.

Progresivní rozdělovače se dodávají v blokovém (všechny písty v bloku mají stejný zdvihový objem) nebo sekčním provedení a s různými povrchovými úpravami (třeba v nerezu pro potravinářská zařízení).

Pro rozvodná potrubí se používají kovové (ocelové pozinkované, měděné aj.) trubky. Pro pohyblivá spojení vysokotlaké hadice obvykle s nalisovanými šroubeními. Pro propojení jednotlivých prvků CMS (od mazacího přístroje po MM) se používají především šroubení se zářeznými prsteny odpovídajících světlostí.





Specifika CMS mobilních strojů

Celý mazací obvod je řízen a kontrolován řídícím a kontrolním systémem, který hlídá stav maziva v nádrži a funkci progresivních rozdělovačů. Na ovládacím panelu samotného stroje lze sledovat aktuální údaje o právě prováděném cyklu a také zadávat jednotlivé parametry doby mazání i doby pauzy, ale i zvolit pro servisní účely funkci trvalého mazání pro kontrolu a prohlídku v případě poruchy CMS.

U stavebních strojů, které se pohybují v těžkém terénu a v náročném prostředí, se může periferní zařízení dostat do kolize s fyzickými překážkami, jako jsou větve, kameny apod. A protože ne vždy je možné mazací přístroj nebo hlavní prvky umístit do krytého prostoru, je někdy nutné zakrytování progresivních rozdělovačů. Ovšem pokud to jde, tak jsou umísťovány do takových míst, kde nehrozí žádné kolize s překážkami nebo odstřikování vody při práci stroje.

> CMS mohou do MM dopravovat mazací látky v širokém rozsahu fyzikálních parametrů.

Podobně je samozřejmostí zvýšená ochrana pohyblivých částí, tj. tlakových hadic příp. exponovaných potrubních rozvodů. Hadice jsou vedeny v energetických řetězech nebo minimálně plastových nebo drátěných omotávkách, příp. chráničkách, aby nedošlo k jejich utržení. Kovové potrubní rozvody musí být pevně a spolehlivě upevněny tak, aby při práci stroje vznikající vibrace nebyly příčinou jejich proděravění.

Hlavní výhody CMS mobilní vrtací soupravy

V první řadě je to spolehlivost namazání i těžce přístupných míst, kde žádné MM není opomenuto (strojní díly jsou nepřetržitě mazány, což zlepšuje jejich výkon a prodlužuje životnost komponent), dále je minimalizace vniknutí nečistot do MM během mazání, klesá opotřebení díky možnému předmazání po dlouhé pauze stroje nebo mezimazání před vlivy počasí, přesné dávkování v krátkých intervalech, kde flexibilita elektronického řízení umožňuje přizpůsobení všem provozním podmínkám. Za další jsou to minimální požadavky na údržbu (pouze doplňování zásobníků mazacích přístrojů) a lepší ekonomika provozu stroje (jsou eliminovány prostoje na ruční mazání stroje), odolnost vůči korozivním vlivům. Neustálou přítomností maziva se vydělují abrazivní částice z důležitých kontaktních dílů. Důležitou výhodou je bezpečnost, jelikož se díky CMS obsluha vyhýbá nutnosti ručního zásahu do pohyblivých a nebezpečných částí stroje, čímž snižuje riziko úrazů.

Tyto vlastnosti mobilních CMS jsou předpokladem pro jejich úspěšné prosazování v tomto segmentu průmyslu.

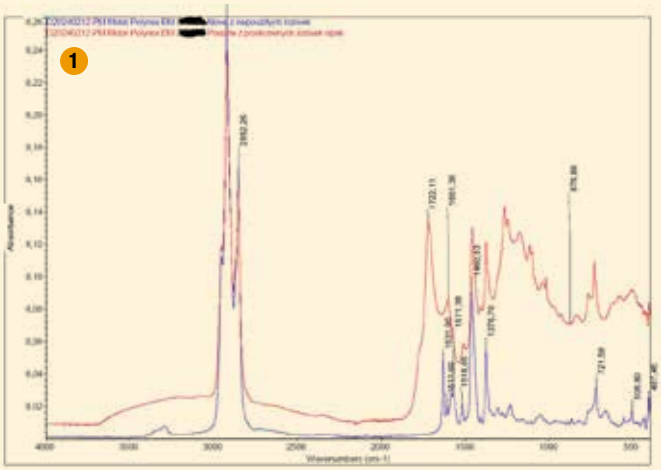
Závěr

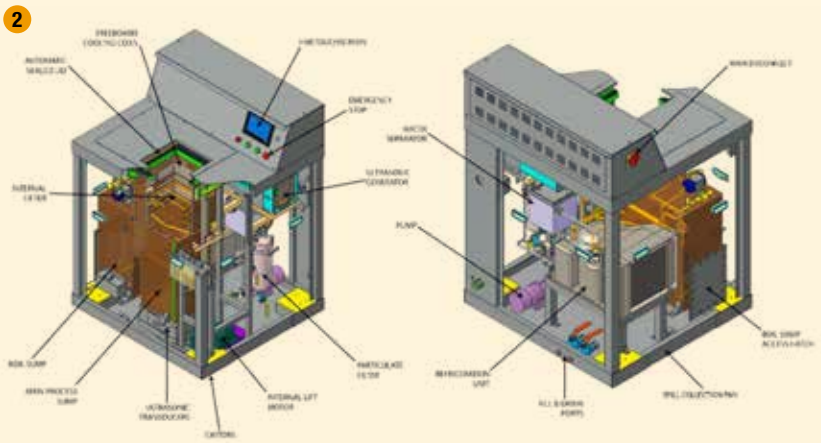
Je známo, že až 90 % poruch je následkem špatné údržby, tzn. nedodržováním pravidelných mazacích intervalů, špatného dávkování maziva a nečistotami obsaženými v mazivu. Veškeré tyto příčiny lze zcela odstranit aplikováním CMS na stroj. Přitom ekonomická návratnost nákladů na pořízení CMS, jejich flexibilita na aktuální provozní podmínky i kladné provozní zkušenosti po jejich nasazení mluví jasně pro jejich výraznější používání ve všech typech mobilních strojů a strojních zařízeních. ■

Pavel Špondr, Antonín Dvořák

ŠEST TISÍC LOŽÍSK V KRITICKOM ZARIADENÍ PREVÁDZKY ZLYHALO, KTO JE NA VINE?

Veľká pec pracujúca pri teplote 160 °C (8 hodín denne) sa po troch mesiacoch prevádzky zrútila. 500 valcov, 1000 obojstranných ložísk, 300 metrov reťazí a štyri prevodovky pracujúce vo vnútri pece sa zastavilo kvôli stvrdnutiu maziva a olejov. Malo by polymočovinové mazivo vydržať teplotu 160 °C, keď je deklarované pre použitie do 240 °C? Poruchu spôsobili konštruktéri pece, dodávateľ maziva alebo niekto iný?


1


2

Spoločnosť, ktorá sa špecializuje na povrchovú úpravu kovov, objednala linku na nanášanie plastisolu na plechy a zvitky. Kritickou súčasťou linky je dopravník vypaľovacej pece pracujúcej pri teplote 160 °C. Plánovaná doba výdrže je 40 minút. Dopravník je viac ako 30 m dlhý, obsahuje 500 poháňaných valčekov, tj. 1000 zapuzdrených ložísk, nerozoberateľne zalisovaných do valčekov, bez možnosti domazávania. Každý druhý valček je hnací, poháňaný reťazou. Reťazový pohon vychádza zo štyroch prevodoviek – všetky pohyblivé časti sú vnútri pece, ktorá má deklarovanú max. teplotu až 200 °C. Hoci boli nainštalované odporúčané ložiská pre teploty do 200 °C, krátko po uvedení do prevádzky došlo k postupnému znehybneniu ložísk valcov aj ostatných hnacích mechanizmov (reťazí a prevodoviek).

Mazivá odporúčané v pôvodnej dokumentácii

Povrch ložiska: Total Multis EP Spray, Klüberplex AG 11-460 Spray. Ložiska vo valčeku sú naplnené tukom a nie je potrebné ich mazanie počas životnosti valčekov.

Reťazové prevody 200 °C: Total Caloris 23 Spray, Klüber Hotemp 2000 Spray. Reťaze sa odporúča mazať 1 x za 3 mesiace.

Reťazové prevody: Total Multis EP Spray, Klüber Structovis FHD Spray.

Pohon prevodovky (Podľa pokynov výrobcu): Na základe odporúčania dodávateľa prevodovky spoločnosti EPO GEARMOT zvolili syntetický olej na báze PAO Blasia SX VG 460.

Mazivá navrhnuté pre povrch ložiska sú určené pre krátkodobé použitie pri max. teplote do +120 °C (Total), resp. do +150 °C (Klüber). Na reťaze je vhodný esterový olej Klüber Hotemp 2000 Spray, ktorý je určený krátkodobo do 250 °C, ale len za predpokladu intenzívneho domazávania. Čiastočne vhodný je aj Klüber Structovis FHD, ktorý je síce len do 120 °C, ale obsahuje pevné mazivá pre núdzový chod (MoS2). Total Caloris 23 je síce vysokoteplotné mazivo, krátkodobo až do 220 °C, avšak pre trvalú teplotu 160 °C je bez domazávania nevhodný. Zpevňovadlom je hlinka.

Podľa oznámenia boli objednané zapuzdrené ložiská, ktoré mali byť naplnené plastickým mazivom Mobil Polyrex EM, toto mazivo je na báze ropného oleja s kinematickou viskozitou 110 mm^2/s pri 40 °C a so zpevňovadlom na báze polymočoviny. Krátkodobo je mazivo určené pre teploty až 243 °C (odvodené od bodu skvapnutia 288 °C). Jeho teplotná odolnosť sa dá čiastočne odvodiť z testu ASTM D336, kde je uvedených 750 hodín pri teplote (pravdepodobne) 177 °C a 10 000 ot/min. Možno predpokladať, že pri prevádzke pri veľmi nízkych otáčkach bude životnosť kratšia ako uvedený 1 mesiac. Keď sa nainštalované ložiská začali zapekať, na vybranom úseku boli nainštalované ložiská s náplňou vysokoteplotnej pasty Klüber Wolfrasyn Ulaf, deklarovanej pre teploty až 400 °C.

Ani táto pasta, ktorá je na báze polyglykolového oleja a grafitu, ako pevného maziva, neobstála. Jej životnosť bola dokonca kratšia, ako u maziva Mobil Polyrex EM.

Laboratórne testy firmy LUBRICANT

Laboratórium LUBRICANT vykonalo FTIR ATR analýzu čerstvého, modrého maziva. Zo spektra vyplýva, že ide o plastické mazivo na báze rafinovaného uhľovodíkového oleja a polymočoviny (absorpčné pásy 1632, 1612, 1571 a 1519 cm^{-1}), ako zpevňovadlá. Pravdepodobne ide o Mobil Polyrex EM. OES-ICP analýza vylučuje prítomnosť mydlového tužidla, zvýšený obsah síry a fosforu má svoj pôvod pravdepodobne v príslušnej aditívnej prísade (multifunkčná, antikorózna a EP aditívna prísada). Elementárna analýza ukazuje na vysoký obsah dusíka, ktorý zodpovedá cca 6 % polymočoviny.

Tab. 1: Výsledky elementárnej analýzy vykonanej na VŠCHT Praha.

Prvek	Mobil Polyrex EM, % hm.	Pl. mazivo zbytky, % hm
C	84,69	77,02
H	13,33	10,08
N	0,95	1,25
S	0,16	0,43
Cl	0,01	0,39

FOTO: LUBRICANT

Degradované zvyšky maziva zo zapečených ložísk boli zmerané pomocou FTIR ATR. Z porovnania s čerstvým mazivom Mobil Polyrex EM je vidieť, že hmota vybratá z ložísk obsahuje veľké množstvo oxidačných produktov (absorpčný pás 1724 cm^{-1}), produkty termickej degradácie (pás aromatických uhľovodíkov pri 1603 cm^{-1}) a veľmi malý nevýrazný absorpčný pás pri 876 cm^{-1}, prislúchajúci $CaCO_3$ z konzervačného prostriedku. Absorpčné pásy degradačných produktov sú natoľko výrazné, že z FTIR spektra nie je možné určiť pôvodné mazivo alebo látku, ktorou bolo ložisko naplnené. Tuhé zvyšky maziva boli odovzdané do ALS Praha na OES-ICP analýzu. Keďže sa však laboratóriu nepodarilo zvyšky rozpustiť, bola zvolená analýza OES-ICP po mineralizácii v mikrovlnnej peci. Pri mineralizácii došlo k významným stratám na hmotnosti a v dôsledku toho bola presnosť analýzy o dva rády nižšia, ako bolo potrebné. Možno konštatovať, že analýza nepotvrdila prítomnosť väčšieho obsahu kovových prvkov, ktoré by potvrdzovali prítomnosť mydlových ztužidiel.

Teda môže ísť o degradované mazivo Mobil Polyrex EM. Túto verziu potvrdzujú výsledky elementárnej analýzy vykonanej na VŠCHT Praha. Vysoký obsah dusíka zodpovedá približne 8 % polymočoviny čo približne zodpovedá mazivu s NLGI 2. Zaujímavá je hodnota obsahu chlóru 0,39 %, ktorá naznačuje, že ložiska mohli pracovať v agresívnom prostredí, keď sa pri 160 °C mohol z plastisolu uvoľňovať plynný chlorovodík. Je známe, že už 100 ppm chlóru (0,01 % Cl v mazive) významne urýchľuje degradáciu mazív. Výsledky elementárnej analýzy použitého maziva bohužiaľ trochu spochybňuje neúplný súčet prvkov – dáva iba 88,8 %, namiesto 100 %.

Ostatné vykonané analýzy

Z hľadiska potreby vypracovať odporúčania vhodných mazív pre reťaze a prevodovky boli vykonané FTIR ATR analýzy existujúcich mazív. V prevodovke bol nájdený syntetický olej na báze PAO, materiál gumových tesnení bol analyzovaný ako fluórovaný kaučuk. Na reťazi bolo identifikované univerzálne plastické mazivo s Li zpevňovadlom. Namiesto spálených ložísk boli objednané nové ložiská. Časť z nich bola vybavená iba konzerváciou, časť dodávky bola vyplnená mazivom (100 % voľného priestoru), ktoré bolo na FTIR ATR identifikované ako univerzálne mazivo s litným ztužidlom (absorpčné pásy pri 1579 a 1560 cm^{-1}).

Návrh a dodávka riešenia pre zákazníka

Špecifikácia požiadaviek vstupné údaje:

- V peci je veľmi agresívne prostredie, mali sme k dispozícii protokol z merania emisií, obsah chloridov.
- Odolnosť maziva musí krátkodobo (1 hod) odolať teplote 200 °C.
- Mazivo musí byť navrhnuté dlhodobo na dvojsmennú prevádzku pri teplote 165 °C, 7 dní v týždni.
- Požiadavka na trvácnosť maziva v ložiskách (funkčnosť valčekov) 5 rokov, celkom cca 1000 ks ložísk.
- Požiadavka na prvotné namazanie reťazí 8B-1, 53 článkov (250 ks) mazivom spĺňajúcim podmienky v peci.
- Požiadavka na prvotné mazanie spojok reťazí 8B-1, (320 ks) mazivom spĺňajúcim podmienky v peci.
- Požiadavka na mazivo v spreji pre pravidelnú servisnú údržbu – mazanie v intervale 2 mesiace.
- Požiadavka na olejovú náplň do prevodovky, celkom 8 ks, min. trvanlivosť náplne 1 rok, označenie prevodovky RQ 86 - typ 4 (špeciálna), náplň max. 0,3 l.



1 **Príklad grafu** z analýzy FTIR.

2 **Kompaktná linka** na odmasťovania parou Solvac S1.

3 **Príklad presnej aplikácie** maziva do ložiska.

Ďalšie požiadavky:

- Olej z ložisiek ani reťazí nesmie kvapkať na želatinované výrobky (plechy s PVC vrstvou).
- Gravitačné valčeky sa musia veľmi ľahko otáčať samovoľne s minimálnym valivým odporom (tak, aby bola zabezpečená funkčnosť dopravníka a boli zachované rozstupy plechov).
- Výpary z maziva nesmú ovplyvniť výslednú kvalitu výrobkov.

Riešenie šité na mieru potrieb zákazníka

Spoločnosť LUBRICANT ponúka komplexné riešenia, v tomto prípade bolo nutné zabezpečiť tri typy špeciálnych mazív, ktoré budú spĺňať veľmi vysoké zadané požiadavky – 1. plastické mazivo pre náplň ložísk, 2. olej pre náplň prevodoviek, 3. mazivo na prvotné namazanie reťazí a produkt v spreji užívateľsky priaznivý pre údržbu pre pravidelné domazávanie reťazí.

Žiaden výrobca ložísk 6202 nie je tak flexibilný, aby naplnil 1000 ks ložísk mazivom podľa špecifikácie zákazníka, pretože je to príliš malá šarža. V takejto situácii vzniká priestor pre spoluprácu s firmou LUBRICANT. Rovnako je to aj v prípade požiadavky na namazanie reťazí špeciálnym mazivom u výrobcu pre namazanie 260 ks reťazí, ako aj pre náplň 8 ks malých prevodoviek, tieto množstvá sú príliš malé pre veľkých výrobcov.

Kľúčovým faktorom úspechu pri tomto projekte sa ukázala schopnosť spoločnosti LUBRICANT ponúknuť okrem identifikácie príčin, selekcie a dodávky špeciálnych mazív aj presnú aplikáciu mazív na konštrukčné časti strojov s garanciou záruky kvalitnej a presnej aplikácie. V prípade prevodoviek došlo ku kontrole kompatibility použitých tesnení, výplachu existujúcej olejovej náplne a naplneniu prevodoviek špeciálnym olejom. V prípade reťazí a ložísk bolo nutné ich očistenie od prvotnej náplne a následné namazanie presným množstvom špeciálnych mazív. Tieto práce boli vykonané v laboratóriách našej spoločnosti.

Čistenie – odmastenie v linke Solvac

Kompaktný systém odmasťovania parou Solvac S1 je navrhnutý tak, aby bezpečne používal všetky súčasné nehorľavé rozpúšťadlá schválené agentúrou EPA. Kompletný systém je ekonomickým riešením pre presné čistenie pomocou rozpúšťadiel. Napriek kompaktným rozmerom je Solvac S1 vybavený množstvom technológií a bezpečnostných funkcií. Dodáva sa s výberom ultrazvukových frekvencií v závislosti od konkrétneho použitia. Systém je vybavený patentovanou technológiou Swept Wave od spoločnosti Crest, ktorá zaisťuje bezkonkurenčnú účinnosť čistenia pri každom použití.

Presné dávkovanie maziva Walther Systemtechnic

Na základe výpočtu presného množstva maziva potrebného pre naplnenie ložiska, nasledovalo naplnenie ložísk v špecializovanom laboratóriu zameranom na aplikácie mazív. Vďaka presnému dávkovaniu hráme kľúčovú úlohu v priemyselnej výrobe tovaru v mnohých výrobných procesoch. Každý z týchto procesov vyžaduje vysokú úroveň presnosti, kontroly a opakovateľnosti, aby bolo možné dosiahnuť optimálne výsledky.

Na konci je spokojný zákazník

Naše riešenie umožnilo eliminovať nedostatky spôsobené pri projektovaní a výrobe tunelovej pece. Linka po výmene konštrukčných častí – ložísk, reťazí a prevodoviek namazaných s použitím špeciálnych mazív funguje bez závažných porúch už 26 mesiacov. ■

Ing. Jozef Šiška, Ing. Jiří Valdauf, LUBRICANT

UMĚLÁ INTELIGENCE VE SLUŽBÁCH TRIBOTECHNIKY

Nové poznatky o strojovém učení a umělé inteligenci (AI) se objevují neustále. Z toho logicky vystává otázka, zda by tyto techniky mohly být efektivně aplikovány i na problematiku mazání a obecně v oblasti tribologie. Server Machinery Lubrication americké společnosti Noria se pokusil nalézt na to odpověď.



1 **Mohly by být techniky** AI efektivně aplikovány i na problematiku mazání?

2 **Typy událostí** předcházející poruše stroje s průběhem zhoršování stavu v průběhu času.

3 **Korelace mezi vlastnostmi materiálu** a testovacími podmínkami s využitím umělých neuronových sítí.

Strojové učení a umělá inteligence přímo souvisí s dostupností i množstvím kvalitních dat. Lze je obecně rozdělit na dva základní typy: modely s dohledem a modely bez dohledu. Verze s dohledem obvykle zahrnují statistické (regresní) modely, které vztahují vstupní data k výstupním, a poskytují tak nová vstupní data, která jsou pokryta trénovací sadou dat.

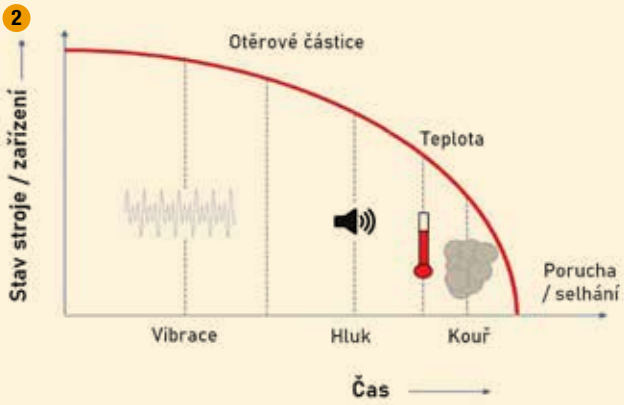
Modely bez dohledu zpravidla používají neuronové sítě, označované také jako hluboké učení – soubor algoritmů volně modelovaných na lidském mozku, určených k rozpoznávání vzorců. Tyto modely si dokáží efektivně „vypracovat“ nejlepší model, i když není vždy zřejmé, proč funguje, a základní algoritmus, který model strojového učení nalezl, není snadné rozluštit. Existuje však už mnoho příkladů, kde se AI a strojové učení již uplatňují v komunitě mazání/tribologie:

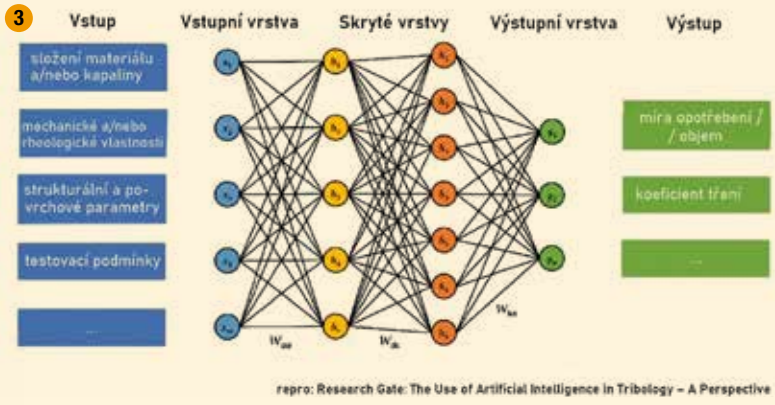
- **Monitorování stavu –** Stroje jsou často dodávány již se senzory, které mohou hlásit provozní podmínky (otáčky, zatížení, teploty maziva) výrobci originálního vybavení (OEM) i majiteli stroje. Mohou být osazeny i různými dalšími senzory, které monitorují vibrace a elektrické proudy vstupující do a ze stroje, nebo mohou detekovat částice opotřebení nebo monitorovat degradaci maziva (např. senzory na bázi dielektrika).

Monitorováním velkého počtu strojů lze předvídat varovné signály pravděpodobné budoucí poruchy na základě předchozích poruch a korelace těchto údajů s daty z různých senzorů. Umožňují doporučit servis stroje nebo výměnu konkrétní komponenty, jakmile jsou zjištěny včasné známky poruchy, dokonce i odhalit základní příčiny dříve, než povedou k příznakům poruchy. Na **obr. 2** je ukázán typ signálů, které lze zachytit předtím, než dojde k poruše.

Nejčastěji používanými technikami pro monitorování stavu jsou monitoring vibrací a termografie (hledání horkých míst). V dnešní době je k dispozici již řada těchto monitorovacích řešení s AI a strojovým učením od společností SKF, GE, Siemens nebo Bosch. Existuje také řada startupových firem, které využívají specializovanější techniky, jako je ultrazvuk (britská Tribosonics, americká UE Systems apod.). U vysoce hodnotných strojů lze použít i další specializované techniky, jako je monitorování maziv pomocí infračervených senzorů a senzorů částic opotřebení. Tyto techniky se obecně používají k informování o strojích, které mohou potřebovat servis nebo výměnu komponent, ale lze je použít i k monitorování spotřeby energie a k poradenství, jak spotřebu snížit.

FOTO: Shutterstock, Noria





repro: Research Gate: The Use of Artificial Intelligence in Tribology – A Perspective

- **Chatboti pro linky pomoci s mazivy –** Tyto systémy, jako např. online chatbot Lubechat firmy Shell, dokáže odpovídat na jednoduché dotazy a poskytovat technické údaje o mazivech. Otázky, na které virtuální asistent nedokáže odpovědět, jsou pak předávány lidským expertům. Jedná se o nonstop službu, která je k dispozici ve vybraných zemích.
- **Telematika vozového parku –** Existují komerční firmy, které dálkově z elektronických řídicích jednotek těžkých nákladních vozidel extrahují data obsahující údaje o rychlosti, zatížení, teplotě, trase i spotřebě paliva. Analýzou a kombinací dat z mnoha nákladních vozidel lze identifikovat nejefektivnější trasy mezi dvěma nebo více místy, což pomáhá plánovat zlepšení v efektivitě logistiky, a také zjistit řidiče s vysokou spotřebou paliva (ti pak mohou být proškoleni, jak spotřebu snížit).
- **Vizualizace a klasifikace částic opotřebení –** Techniky AI a strojového učení jsou obzvláště účinné pro identifikaci a klasifikaci obrazu a řada výzkumníků je použila na částice opotřebení. Velikost, textura, tvar a barva jsou parametry, které obsahují informace o mechanizmu opotřebení a o tom, kde k němu dochází. K identifikaci, zda je částice opotřebení kovová nebo oxidová, a zda je opotřebení způsobeno únavou nebo silným prokluzováním, byly použity algoritmy neuronových sítí.
- **Návrh nových materiálů –** Ke snížení opotřebení se obvykle používají tvrdé povlaky a podobně jako u kovových slitin se vědci snaží optimalizovat vlastnosti, jako je hustota, tvrdost, Youngův modul pružnosti a únavová životnost, které u povlaků přispívají k tribologickému výkonu. Řada výzkumníků využívá k optimalizaci vlastností kovových slitin a tvrdých povlaků nanášených napařováním strojové učení.
- **Předpověď vlastností maziva –** Maziva jsou často komplexní směsí dvou nebo tří různých základových olejů a aditiv, a v některých aplikacích i modifikátorů viskozity. Předpověď různých viskozit maziva pro různé teploty a smykové rychlosti není přímočará, tyto vlastnosti byly experimentálně měřeny na řadě mírně odlišných směsí k nalezení optimálních hodnot.

Tento typ problému je přístupný AI i strojovému učení, protože existuje pouze omezený počet široce používaných základových olejů, aditiv a modifikátorů viskozity, a takovéto techniky by byly užitečné pro firmy zabývající se mazivy i aditivy ke zlepšení efektivity a procesu jejich navrhování.

Tyto společnosti také pravděpodobně mají dobré viskozimetrické údaje o široké škále formulací maziv, na nichž by mohly testovat své modely AI, ovšem vzhledem k tomu, že složení maziv bývá přísně střeženým tajemstvím nebo se může bez varování změnit, jsou tyto techniky zpravidla uchovávány „interně“ a výrobci maziv je používají jen pro své vlastní produkty.

- **Předpověď mazacího režimu –** V poslední době vědci využívají strojové učení k predikci mazacího režimu radiálního ložiska. Byly zaznamenány klíčové parametry, jako jsou rychlost, zatížení, teploty oleje a povrchu, kontaktní podmínky i koeficient tření a nalezeny charakteristické frekvence pro různé mazací režimy. Vyvinutý model byl pak schopen rozlišovat mezi dynamickým, smíšeným nebo hraničním režimem mazání.

Řada výzkumů se rovněž pokusila využít AI a strojové učení k predikci tření a opotřebení. Jde však o mnohem složitější problém, protože tření a opotřebení jsou vlastnostmi celého systému, nikoli jeho jednotlivých součástí – např. i u jednoduchého mazaného kontaktu jde o komplikovaný proces, kdy „záběh“ často probíhá po dobu několika hodin, během nichž se mění kontaktní podmínky, které mohou vyvolat strukturální a další změny, ovlivňující tření a opotřebení.

> Pro další pokrok bude nutné vyvinout i bezpečné způsoby, jak sdílet velké množství dat.

Existují i složité olejové filmy, jejichž složení a další vlastnosti nejsou přesně známy. Kontaktní podmínky mazání (hydrodynamické, smíšené nebo mezní) jsou určeny provozními podmínkami (rychlost, zatížení, teplota maziva, drsnost povrchu) a pokud dojde k opotřebení, kriticky závisí na zatížení a rychlostech, o jaký typ jde (abrazivní nebo adhezivní). Pro charakterizaci celého systému je zapotřebí velké množství dat, která však obvykle nejsou ve výzkumných pracích uváděna dostatečně podrobně pro aplikaci strojového učení. Složení maziv je navíc chráněno a je známo pouze dodavatelům maziv a aditiv.

Výzkumníci se proto snaží vyvinout digitální dvojče tribologického kontaktu, ale v tomto případě půjde o dlouhodobý projekt, který vyžaduje pokrok v řadě klíčových oblastí (modelování opotřebení, tribochemie maziv, změny materiálu během kluzu atd.). Kromě toho bude muset jakýkoli úspěšný model strojového učení rozlišovat mezi tzv. dobrým opotřebením, ke kterému dochází během „záběhu“, a špatným opotřebením, ke kterému dochází ke konci životnosti součásti.

Vědci z University of Central Lancashire pracující v oblasti tribotroniky mohou díky monitorování jednotlivých tribologických systémů měnit kontaktní podmínky v závislosti na datech ze senzorů. Například u dvoutaktního lodního motoru mohou díky kapacitnímu senzoru zvyšovat nebo snižovat přívod oleje do válce v závislosti na tloušťce olejového filmu. Takové systémy by mohly těžit právě z algoritmů strojového učení.

Algoritmy AI a strojového učení se již používají v mnoha tribologických aplikacích. Pro další pokrok bude však nutné vyvinout i efektivní a bezpečné způsoby, jak sdílet velké množství dat, která takové modely potřebují. Většina tribologických testů dosud generuje relativně malé množství dat a klíčové údaje o materiálu, drsnosti povrchu a vlastnostech maziva nejsou obecně k dispozici pro pozdější analýzu. ■

Ian Farrell