

TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

Jak je to aktuálně s metrologickou legislativou a co je třeba stále připomínat

Digitalizace rutinních činností v údržbě: cesta od papíru k efektivnímu řízení

Tuhá maziva jejich benefity a omezení

Analýza statorového proudu a axiálního magnetického toku asynchronního motoru

Vážení čtenáři,

držíte v ruce první přílohu časopisu Asociace technických diagnostiků v roce 2026. Tato příloha je výběrem článků našich odborných skupin. Rok 2026 bude pro ATD ČR celkem průlomový, protože se dostáváme do závěru příprav certifikace na funkci technik diagnostik paliv. Díky tomu se naše společenství rozrůstá o další aktivní odbornou skupinu. V lednu proběhla také členská volební schůze, kdy bylo zvoleno nové vedení ATD ČR. Celkově nejvyšší orgán zůstává, až na pár drobných změn, ve stejné podobě. Tou nejzásadnější změnou je pak právě rozšíření nejvyššího orgánu o dva zástupce diagnostiky paliv.

Z globálního pohledu čeká technickou diagnostiku do budoucna spousta výzev. Budeme se muset popasovat s masivnější digitalizací a zapojením AI do diagnostických procesů. Využití umělé inteligence bude jistě hodně diskutovaným tématem a je otázkou, jak se s tím technická diagnostika bude schopna popasovat.

Nyní už vám popřeji příjemné čtení a úspěšný rok 2026.

Ondřej Švec, DiS., CTD.

Prezident Asociace technických diagnostiků ČR, z.s.



Pavel Němeček

Jak je to aktuálně s metrologickou legislativou a co je třeba stále připomínat

Anotace

Článek se zabývá současným stavem v oblasti legislativy a jejích nejdůležitějších požadavků nejen z pohledu vibrační diagnostiky. Je především metrologickým pohledem na problematiku jednotného a správného měření s přihlédnutím k diagnostice strojů.

Úvod

Na úvod je třeba si zopakovat, co je legislativa. Slovo pochází z latiny, ze slova legislatus, v překladu zákonem stanovený. V současném pojetí se jedná především o tvorbu právních předpisů, především zákonů, nařízení vlády a vyhlášek jednotlivých ministerstev (dále jen legislativa). Zjednodušeně řečeno spadá do legislativa vše, co vychází ze sbírky zákonů. Pro nás je důležité, že ve vymezeném rozsahu je takový legislativní dokument závazný.

Tento článek je v oblasti technické diagnostiky nestranný, platí pro jakékoliv diagnostické metody, které se opírají o měření. Měření je dle zákona činnost, která se provádí pomocí měřidel, a měřidla slouží k určení hodnoty měřené veličiny, tedy čísla s příslušnou jednotkou, která je v souladu se soustavou SI. Měříme-li, produkujeme tedy čísla s jednotkou, proto se na nás vztahuje metrologická legislativa.

Pár slov k normám

České technické normy (označené ČSN) nejsou obecně závazné již 30 let. Avšak pokud se na normu odkazuje legislativní dokument – např. nařízení vlády, stává se též závazným. Závaznou se dále norma stává uvedením ve smluvním vztahu, tj. ve smlouvě nebo v potvrzené objednávce. Pak je technická norma pro smluvní strany závazná a nezáleží na tom, zda se jedná o normu na úrovni mezinárodní (ISO) či národní (např. ČSN, DIN).

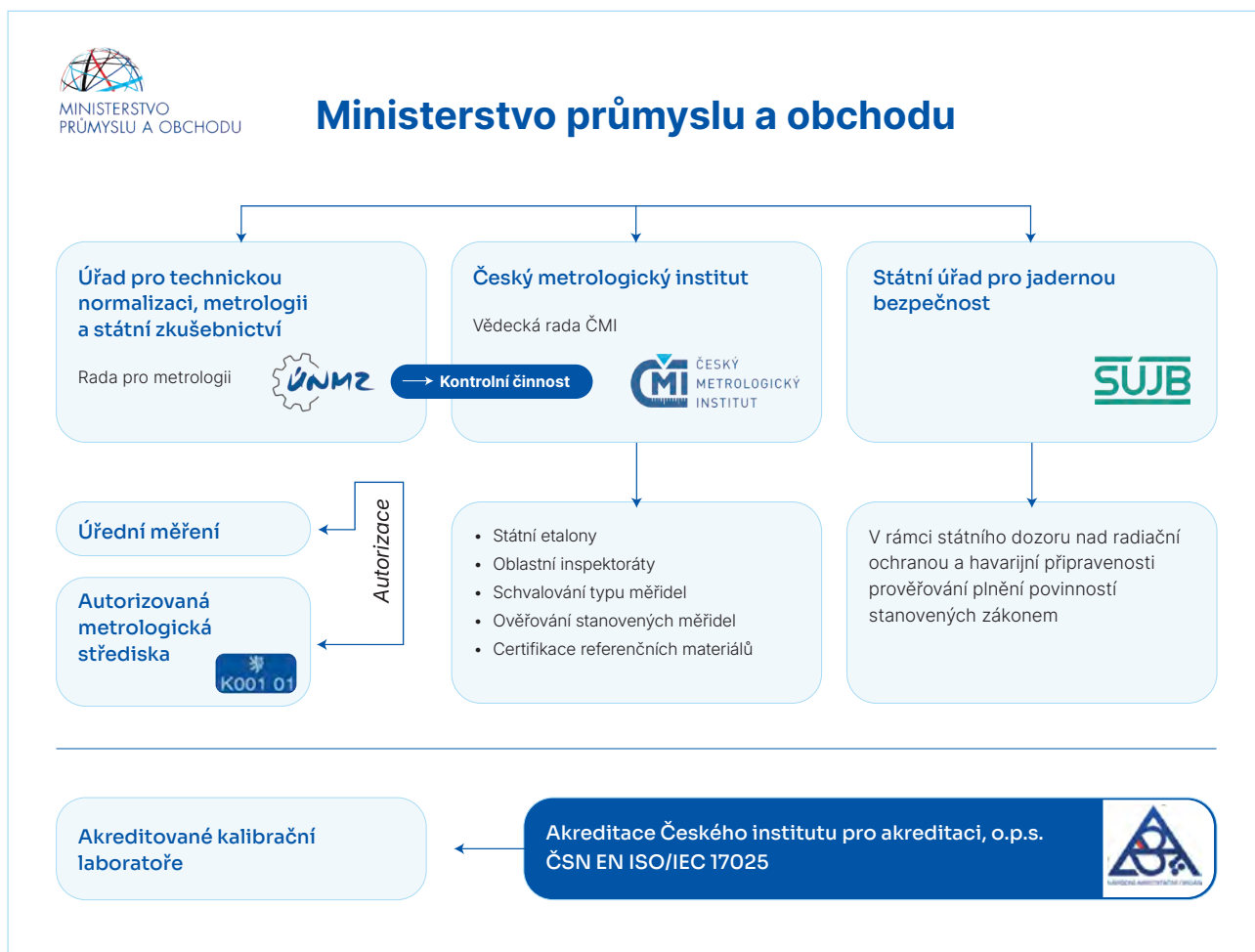
Harmonizovaná norma je norma vypracovaná na základě mandátu uděleného CEN, CENELEC nebo ETSI Evropskou komisí a Evropským sdružením volného obchodu, která poskytuje prostředky shody se základními požadavky směrnice, popřípadě směrnic nového přístupu. Evropské společenství přijalo tzv. nový přístup k technické harmonizaci a normám v květnu 1985, aby překonalo obtíže starého přístupu. Směrnice podle nového přístupu nyní obsahují pouze základní požadavky podstatné pro zajištění bezpečnosti výrobků, popř. dalších hledisek ochrany veřejných zájmů. Podrobné technické specifikace obsažené v evropských harmonizovaných normách zpracovávají příslušné evropské normalizační organizace CEN, CENELEC a ETSI.

Dále je třeba připomenout, že metrologická terminologie, kterou bychom měli používat, je uvedena v TNI 010115 [3]. Terminologie je důležitá, dává protokolu z měření potřebnou vážnost, věcnost a korektnost. Dále brání pochybnostem o obsahu protokolu. V oblasti terminologie lze brzy očekávat změny, resp. doplnění terminologie o témata AI, ochrany dat apod.

Zákon o metrologii a prováděcí vyhlášky

Působnost orgánů státní správy je patrný z následujícího obrázku. Nejvyšší postavení má MPO, UMNZ je jeho orgánem, který má na starosti úřední stránku, ČMI má obecně na starosti odbornou stránku, především uchovává a rozvíjí státní etalony. SÚJB působí ve specifické oblasti ionizujícího záření. ČIA, nezávislá organizace, akredituje a dohlíží nad zkušebními a kalibračními laboratořemi (mimo jiné).

Zákon o metrologii, přesněji Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii ve znění pozdějších změn (kterých zatím bylo zhruba 14), je zákonem, jehož účelem je úprava práv a povinností fyzických osob, které jsou podnikateli, a právnických osob a orgánů státní správy, a to v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření. Jste-li tedy fyzickými, nebo právnickými osobami, zákon je pro vás samozřejmě závazný. Diagnostik se tedy působností zákona nevyhne, pokud měří a na základě naměřených hodnot se rozhoduje.



A co je jednotnost a správnost? Velmi zjednodušeně řečeno, jednotnost měření představuje strukturu návazností (pro nás o kalibracích) a ve správnosti jde o minimalizaci chyb měření.

Pro nás klíčový je §3 zákona, který určuje čtyři kategorie měřidel. Zákon definuje etalony, pracovní měřidla stanovená, pracovní měřidla nestanovená (tedy i vibrometry) a referenční materiály. Nás se týkají především etalony a nestanovená měřidla.

Poslední novela zákona proběhla v roce 2021 a přinesla novou definici kilogramu. K zákonu byly vydány vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky.

Ty nejdůležitější jsou:

- Vyhláška MPO č. 262/2000 Sb., kterou se zajišťuje jednotnost a správnost měřidel a měření ve znění Vyhlášky 344/2002 Sb., ve znění Vyhlášky 229/2010 Sb. a ve znění Vyhlášky 125/2015 Sb.
- Vyhláška MPO č. 264/2000 Sb., o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování ve znění Vyhlášky č. 424/2009 Sb.
- Vyhláška MPO č. 345/2002 Sb., kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu ve znění Vyhlášky č. 65/2006 Sb., ve znění Vyhlášky č. 259/2007 Sb. a ve znění Vyhlášky č. 204/2010 Sb., ve znění Vyhlášky č. 285/2011 Sb., ve znění Vyhlášky č. 120/2015 Sb. a ve znění Vyhlášky č. 127/2024 Sb..

Upozorňuji na vyhlášku MPO č. 264 Sb., která určuje vše kolem jednotek měření, především pak zápis jednotek a jejich násobky. Co se týká obecných doporučení na zápis, odkazují na literární zdroj [2]. V zápisech jednotek měření se v současné době dělá mnoho chyb, které snižují úroveň textů protokolů. Upozorňuji např. na zápis jednotky zrychlení vibrací. Často se setkávám se zápisem $m \cdot s^{-2}$ nebo $m \cdot s^{-2}$. Správně je však $m \cdot s^{-2}$, $m \cdot s^{-2}$, případně $m \cdot s^{-2}$. Nenechte se ukolébat tím, co píšou vaše SW, případně tím, co vidíte na svislých osách spekter v některých SW aplikacích. Osobně doporučuji zápis s mezerou, který je nejjednodušší a nejrychlejší.

Vyhláška MPO č. 345/2002 Sb. je pro nás klíčová, určuje, co je stanoveným měřidlem, u kterých máme povinnost ověřování. Být v seznamu této vyhlášky je jednou z podmínek, aby bylo měřidlo stanoveno. K dalším podmínkám patří vyhovět požadavkům v §3, odst. 3 zákona, poslední podmínkou je to, aby bylo měřidlo schváleného typu. Je velmi nepravděpodobné, že by byl vibrometr v budoucnu zařazen mezi stanovená měřidla.

Povinnost kalibrací

Zákon klade pracovištím, která provádějí měření, mnohé povinnosti. Mezi ty nejdůležitější patří povinnost kalibrací měřidel. V §11 zákona v odstavci 5 je napsáno: „Jednotnost a správnost pracovních měřidel zajišťuje v potřebném rozsahu jejich uživatel kalibrací, není-li pro dané měřidlo vhodnější jiný způsob či metoda.“ Nedělejme si naději, vibrometr se kalibruje, jiný způsob či metoda se u vibrometrů nepoužívá. Důležitou informací představuje, že zákon hovoří o měřidle, nikoliv pouze o snímači. Představa, že stačí tzv. kalibrace snímače, je mylná a požadavek zákona nenaplnuje. Necháváte-li si „kalibrovat“ snímače, pouze upřesňujete jejich aktuální citlivost. Kalibrovat se musí celý řetězec, tedy od snímače přes kabely, měřidlo až po zobrazovací jednotku.

Co je to tedy kalibrace? Zákon v §9 říká, že se jedná o činnost, která se týká pracovního měřidla, přičemž se jeho metrologické vlastnosti porovnávají zpravidla s etalonem; není-li etalon k dispozici, lze použít certifikovaný nebo ostatní referenční materiál za předpokladu dodržení zásad návaznosti měřidel. Referenční materiál pro oblast měření vibrací opět nepřichází v úvahu. Tedy kalibrovat musíme, a to za použití etalonů. Otázka zní, zda si můžeme kalibrovat sami.

Je to možné, pokud:

- Vlastníme etalon (samozřejmě též kalibrovaný),
- stanovili jsme kalibrační interval,
- jsme ke kalibračním způsobilí,
- máme kalibrační postup a určené referenční podmínky.

Co se týká kalibračních intervalů (tedy jak často kalibrovat?), doporučuji si prostudovat zdroj [4], který je sice povinný pro akreditované subjekty, není však nepoužitelný pro subjekty ostatní. Rozhodně nedoporučuji ospravedlňovat délku kalibračního intervalu finanční situací firmy nebo nedostatkem času. Důvody musí být vždy ryze metrologické. Kalibraci můžeme svěřit i externímu subjektu, doporučuji ten akreditovaný (podle ČSN EN ISO/IEC 17025), jehož způsobilost je garantována a monitorována akreditačním orgánem (v ČR Českým institutem pro akreditaci).

Výstupem kalibrace musí být:

- kalibrační list, který shrnuje potřené informace a výsledky kalibrace (systematickou chybu a nejistotu měření při kalibraci),
- značka na měřidle osvědčující, že měřidlo se nachází v období platné kalibrace,
- datum konce platnosti kalibrace.

Nezapomeňme též na to, že povinnost kalibrací se vztahuje i na etalony. Zde se ale domnívám, že se bez externí spolupráce neobejdeme.

Kalibrací tedy rozhodně není pouze úspěšné použití vnitřní funkce SW vašeho měřidla. Tato funkce umožňuje nastavení /justování měřidla před jeho použitím, nic víc, s kalibrací ve smyslu našeho zákona to nemá nic společného.

Proč vlastně kalibrujeme? Zejména proto, abychom nejen naplnili požadavek zákona v oblasti jednotnosti a správnosti, ale především proto, abychom potvrdili kvalitu svého výsledku měření a jeho podíl na nejistotě měření. Požadavek na jednotnost měření je mezinárodní a jeho naplnění zajišťuje, že si můžeme navzájem důvěřovat, porovnávat a využívat výsledky měření a společně se snažit o zvýšení kvality.

Nejistoty měření

Téma nejistot měření v diagnostice je stále rezonující. Možná je diagnostik ve své každodenní praxi až tak nevnímá, případně nejistoty bere jako něco, co se ho netýká. Řekněme si, že povinnost stanovit nejistotu měření neplyne z legislativy, i když je nepřímo obsažena v provádění kalibrací.

Co se týká ČSN, jasný požadavek plyne především z:

- ČSN EN ISO/IEC 17025, např. z článku 7.5.1. Zde se ale povinnost týká pouze akreditovaných subjektů.
- ČSN EN ISO 10012, z článku 7.3. Tuto normu bychom ale museli učinit závaznou.

Zmínka o nejistotě měření (způsobu jejího stanovení) je obsažena v mnoha jiných, především metodických normách.

Mohlo by to tedy vypadat, že požadavek na nejistotu měření je mimo rámec diagnostiky strojů. Není tomu úplně tak z následujících důvodů:

- Každý výsledek měření, má-li být důvěryhodný, musí obsahovat tři části: nejlepší odhad měřené hodnoty $\pm$ nejistotu měření a příslušný pravděpodobnostní interval nejistoty.
- Kalibrujeme-li, a ze zákona musíme, je nejistota povinnou součástí protokolu.
- Prokazujeme-li shodu s limitními hodnotami, což diagnostik velmi často dělá, je údaj o nejistotě důležitý při rozhodování.



Rozbor nejistot měření začíná analýzou systému měření. Systém se skládá z pěti základních prvků, které jsou zdrojem nejistot

Jako důležitý vidím především bod 3. Říci, že horní limit je 10 jednotek, my jsme naměřili 9,9 jednotek a vše je tedy v pořádku, jednoduše nelze. Důležité je to především z pohledu zákazníka. Bude-li se proti verdiktu bránit (třeba i soudně), mohli bychom narazit na plnění požadavků zákona, na smlouvu mezi námi a zákazníkem či na spolehlivost našich rozhodování.

Otázka stanovení výsledku měření a příslušné nejistoty není jednoduchá, ale existuje řada metodických návodů a SW pomůcek. Pro stanovení nejistoty měření při kalibraci doporučuji [5], pro nejistoty měření obecně doporučuji se seznámit s [6] až [10].

Není mým cílem v tomto článku se této problematice podrobněji věnovat. Chtěl jsem pouze upozornit na stav, který je například v automobilovém průmyslu zcela běžný a který nelze v oblasti diagnostiky a údržby strojů brát na lehkou váhu.

Závěrečné shrnutí a doporučení

- Legislativu je třeba sledovat. Na [www stránce \[1\]](#) je vždy uveden současný stav legislativy, který je závazný pro každého, kdo měří jako fyzická nebo právnická osoba.
- Udělejme vše pro důvěryhodnost výsledku měření a rozhodnutí, které na základě něj děláme. Doporučuji se v protokolech na platnou legislativu odvolávat.
- Zabývejme se tématem nejistoty měření měrou, která odpovídá významu našich měření. Zcela ignorovat toto téma ale nelze. Obracet téma nejistot v žert s tím, že vše je nejisté, se rozhodně nemusí vyplatit. Nejistota měření je schématickým výpočtem, ze kterého lze odvodit, kudy vede cesta ke snížení variability. Výpočet lze jednoduše realizovat v tabulkovém editoru, což umožňuje modelování a trvalé zlepšování.
- Kladme důraz na kalibrace nejen jako na požadavek zákona o metrologii. Kalibrace není justování a má svoje pravidla a výstupy.
- Každá firma, která něco měří má/měla by mít metrologa. Ten by měl být zdrojem informací a pomocníkem především v oblasti kalibrací. Metrolog ale musí splnit důležitou povinnost – zavedení našich měřidel a etalonů do firemní evidence a jejich správnou kategorizaci.
- Představa, že budu plnění požadavků zákona na kalibraci vysvětlovat použitím vnitřní funkce SW před každým měřením nebo budu tvrdit, že vibrometr je vlastně jen nevinný indikátor nebo pouze kontrolní prostředek, pouze odhalí základní neznalost zákona a přitáhne pozornost dozorových orgánů a může odradit zákazníky, kteří jsou stále informovanější. Zcela nepřijatelné je označovat vibrometr za informativní měřidlo.



Literatura a zdroje, které doporučuji

- [unmz.gov.cz/metrologie/metrologicky-system/pravni-predpisy-v-oblasti-metrologie](#)
- Juláková, E.: Rovnice, jednotky a veličiny – jak s nimi? *Chemické listy* 99. Ročník 2005
- TNI 01 0115 Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)
- ILAC G24:2022 Pokyny pro stanovení kalibračních intervalů měřicích zařízení: [www.cai.cz/wp-content/uploads/2023/09/01_08-P030-ILAC-G24_2022_20230915.pdf](#)
- EA 4/02 Vyhodnocení nejistoty měření při kalibraci: [www.cai.cz/wp-content/uploads/2022/04/01_08-P001-EA-04_02-M_2022_20220425opr.pdf](#)
- TNI 01 4109-1:2011 Nejistota měření – Část 1: Úvod k vyjádřování nejistot měření
- TNI 01 4109-3:2011 Nejistoty měření – Část 3: Pokyn pro vyjádření nejistoty měření
- TNI 01 4109-3.1:2011 Nejistota měření – Část 3: Pokyn k vyjádření nejistoty měření (GUM 1995) Doplněk 1: Šíření rozdělení užitím metod Monte Carlo (Pokyn ISO/IEC 98-3/Doplněk 1)
- TNI 01 4109-3.2:2024 Nejistota měření – Část 3: Pokyn k vyjádření nejistoty měření (GUM:1995) – Doplněk 2: Rozšíření na libovolný počet výstupních veličin
- TNI POKYN ISO/IEC 98-4:2020 Nejistota měření – Část 4: Úloha nejistoty měření při posuzování shody
- Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví: [unmz.gov.cz](#)
- Český metrologický institut: [www.cmi.cz](#)
- Český institut pro akreditaci: [www.cia.cz](#)
- České kalibrační sdružení: [www.cks-brno.cz](#)
- Česká metrologická společnost: [www.csvts.cz/cms](#)
- Česká společnost pro jakost: [www.csq.cz](#)

Článek prošel recenzním řízením.



papouch.com

eshop s průmyslovou elektronikou



Datové
převodníky



Měření a
monitorování



Průmyslový
Ethernet



Komponenty
do průmyslu



Zakázková
řešení

silex
technology

Relay M-BUS
SOLUTIONS

PiiGAB
PROCESS INFORMATION

PAPOUCH

SOLARIX

LANTRONIX
NETIO

DATCON
INDUSTRIAL MEASUREMENT

ADVANTECH

iSMACONTROLLI

I/O moduly Quido

I malá automatizace umí velké věci

Vstupy



Hlídání oken, dveří,
stavu strojů a linek...

Výstupy



Ovládání osvětlení,
technologií, stykačů...

Impulzy

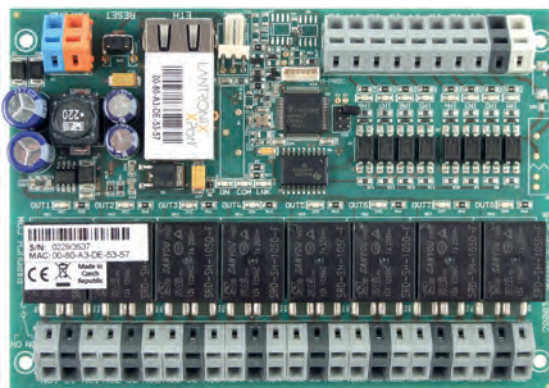
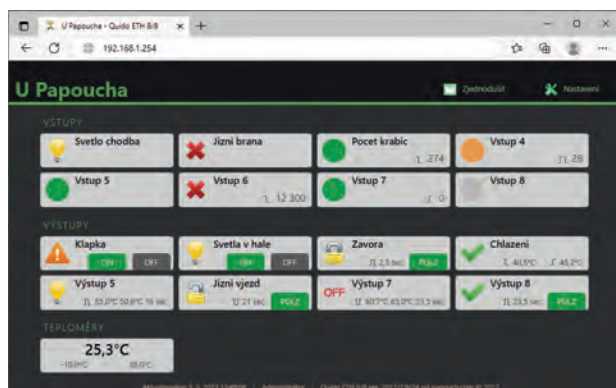


Měření energií:
voda, topení, elektřina

Teploměr



Hlídání teploty
vzduchu, vody, ...





Digitalizace údržby, mazací plán

Inspekční kontroly, DEMIP, NFC technologie

Cloudová databáze, prediktivní údržba

Ing. Lukáš Heisig, Ph.D., CTD

Digitalizace rutinních činností v údržbě: cesta od papíru k efektivnímu řízení

Digitalizing routine maintenance: from paper to effective management

Anotace / Abstract

Článek se zabývá problematikou digitalizace rutinních údržbářských činností se zaměřením na evidenci mazacích a inspekčních procesů. Popisuje současný stav vedení údržby v průmyslových provozech, kde převládá papírová dokumentace s řadou limitů a rizik. Představuje možnosti modernizace těchto procesů prostřednictvím dostupných digitálních nástrojů. Součástí článku je detailní představení aplikace DEMIP (digitální evidence mazacích a inspekčních procesů) jako cenově dostupného řešení pro malé i střední podniky, které umožňuje efektivní správu mazacích plánů a inspekčních kontrol pomocí NFC technologie a cloudového úložiště.

This article addresses the digitalization of routine maintenance activities, focusing on the record-keeping of lubrication and inspection processes. It describes the current state of maintenance management in industrial operations, where paper-based documentation prevails despite its numerous limitations and risks. The paper explores modernization opportunities through accessible digital tools and provides a detailed introduction of the DEMIP (Digital Evidence of Lubrication and Inspection Processes) application. DEMIP is presented as an affordable solution for small and medium-sized enterprises (SMEs), enabling efficient management of lubrication plans and inspections via NFC technology and cloud storage.

Úvod – současný stav vedení údržby

V mnoha průmyslových podnicích, zejména v segmentu malých a středních firem, se stále setkáváme s tradičním přístupem k vedení údržbářské dokumentace. Mazací plány, inspekční protokoly a záznamy o provedených úkonech jsou vedeny v papírové podobě nebo v nejlepší případě v tabulkových editorech typu MS Excel. Takový přístup je nejen neefektivní, ale i rizikový: informace o mazání či závadách se ztrácí, není možné jednoduše sledovat historii zásahů, chybí kontrola nad termíny mazání a vzniká závislost na jednotlivých pracovnících.

Tento zaběhnutý systém s sebou nese řadu problémů. Ruční zapisování dat do formulářů nebo tabulek představuje značnou časovou náročnost a zabírá cenný čas údržbářů. Riziko lidské chyby je všudypřítomné – dochází k záměnám mazacích bodů, přepisování termínů či vytváření nečitelných záznamů. Papírové záznamy jsou v náročném průmyslovém prostředí náchylné k poškození nebo ztrátě dokumentace, přičemž jejich archivace je problematická nejen z hlediska prostoru, který zabírají, ale i z hlediska dlouhodobého uchování. Významným problémem je také nízká dostupnost informací, data nebyvají okamžitě dostupná pro management a technické vedení. Absence analytických možností pak činí retrospektivní analýzu trendů a problémů prakticky nemožnou.

Nedostatečná evidence údržbářských činností může vést k vážným provozním problémům. Vynechané mazání kritických

uzlů způsobuje předčasné opotřebení komponentů, zvýšené vibrace a v krajním případě i havarijní stavy strojů. Absence systematické evidence inspekčních kontrol může znamenat přehlédnutí vznikajících poruch a následné neplánované prostoje výroby.

Digitalizace jako řešení

Proč digitalizovat údržbu?

Digitalizace rutinních údržbářských činností není pouze módním trendem, ale reálnou odpovědí na potřebu zvýšení efektivity a spolehlivosti provozu. Moderní digitální nástroje umožňují okamžitou evidenci provedených úkonů bez nutnosti ručního přepisování a poskytují centralizované úložiště dat dostupné z více zařízení současně. Systémy mohou automaticky upozorňovat na blížící se termíny mazání a kontrol, vytvářet, ukládat a sdílet fotodokumentaci stavu zařízení přímo v místě kontroly. Významnou výhodou je také možnost analýzy trendů a identifikace problematických míst, spolu se snížením rizika lidské chyby prostřednictvím automatizace.



Bariéry při zavádění digitalizace

Mnohé podniky se obávají vysokých nákladů na zavedení digitálních systémů údržby. Komplexní CMMS (Computerized Maintenance Management System) platformy mohou být skutečně finančně náročné a vyžadují rozsáhlé školení personálu. Další překážkou bývá obava z komplikovanosti a nízké uživatelské přívětivosti těchto systémů, zejména pro starší zaměstnance.

Právě zde vzniká prostor pro jednoduchá, účelová řešení zaměřená na konkrétní údržbářské procesy, která jsou cenově dostupná a snadno implementovatelná.

Představení aplikace demip

DEMIP (digitální evidence mazacích a inspekčních procesů), viz aplikační list na obr. 1, je mobilní a webová aplikace vyvinutá společností Heistech, s.r.o., specificky pro potřeby průmyslové údržby. Jedná se o nástroj, který přináší **efektivní kontrolu nad mazacími a inspekčními plány** bez nutnosti investic do rozsáhlých IT systémů.

Aplikace je navržena s důrazem na jednoduchost ovládání, intuitivní rozhraní zvládne každý údržbář. Rychlost evidence je zajištěna možností zaznamenat provedený úkon jediným klikem. Spolehlivost identifikace je řešena využitím NFC technologie, kdy každý NFC čip má vlastní unikátní kód, což eliminuje záměny mazacích bodů. Voděodolné NFC čipy jsou vhodné i do náročných průmyslových prostředí, čímž je zajištěna jejich odolnost.

Klíčové funkce aplikace

Aplikace DEMIP nabízí přehlednou navigaci prostřednictvím seznamu linek a strojů s barevným označením stavu, kde zelená barva signalizuje dodržení termínu a žlutá barva upozorňuje na překročení termínu. Systém umožňuje rychlé vyhledávání konkrétních kontrolních bodů a filtraci podle priority a termínů. Karty kontrolních bodů je rozděleny zvlášť na kartu mazání, automatických maznic a inspekci. Detailní informace v kartě kontrolních bodů obsahují název a popis mazacího místa, typ a množství maziva, interval mazání, popis inspektovaného místa a činnosti inspekce a fotodokumentaci. K dispozici je také historie provedených záznamů spolu s poznámkami a nahlášenými závadami.

Evidence a reporting je zajištěn automatickým záznamem data a času provedení s možností přidání fotografie aktuálního stavu. Údržbář může zapsat poznámky a poruchy, přičemž systém obsahuje blokaci duplicitního evidování – tlačítko se po potvrzení zablokuje na stanovený interval. Data lze exportovat pro další analýzu.

Multiplatformní přístup je realizován prostřednictvím mobilní aplikace pro Android (iOS verze je v přípravě pro rok 2026) a webového rozhraní pro management a nastavení. Synchronizace dat probíhá v reálném čase a přístup je možný z více zařízení současně.

Výhody implementace DEMIP

Pro údržbáře představuje systém DEMIP úsporu času díky evidenci jedním klikem místo ručního zapisování. Eliminace chyb je zajištěna tím, že NFC čip zaručuje správnou identifikaci bodu. Všechny potřebné informace včetně typu maziva, intervalu, fotografie a historie jsou vždy po ruce. Odolné čipy fungují spolehlivě i při znečištění nebo vlhkosti.

Pro vedení údržby systém poskytuje přehled o stavu plnění mazacích plánů v reálném čase. Analytické možnosti umožňují

identifikaci problematických míst, zatímco fotodokumentace zachycuje vývoj stavu zařízení v čase. Systém včas upozorňuje na blížící se termíny údržby.

Pro management jsou zásadní nízké pořizovací náklady oproti komplexním CMMS systémům. Rychlá implementace je zajištěna tím, že dodání, montáž čipů a tvorbu databáze zajistí dodavatel. Systematická údržba snižuje riziko havarijních stavů a zároveň poskytuje průkaznou evidenci pro audity a certifikace.

”

Digitalizace údržby není otázkou „zda“, ale „kdy“. Čím dříve začnete, tím větší konkurenční výhodu získáte.

Praktická implementace

Proces zavedení

Implementace systému DEMIP probíhá v několika krocích. Proces začíná analýzou stávajícího stavu, která zahrnuje zmapování mazacích a inspekčních míst formou auditu mazání a inspekce. Následuje návrh struktury, při němž se vytváří hierarchie linek, strojů a mazacích bodů.

Další fází je instalace NFC čipů, kdy se montují voděodolné čipy na jednotlivá místa s přesným označením a popisem. Poté probíhá vytvoření databáze, do které se vkládají všechny údaje o mazacích bodech, intervalech a mazivech. Důležitou součástí implementace je školení personálu, při kterém dochází k zaškolení údržbářů v práci s aplikací. Závěrečnou fází je rozšíření systému do plného provozu v celém závodu.

Návratnost investice

Náklady na zavedení systému DEMIP jsou výrazně nižší než u komplexních CMMS platforem. Návratnost investice se projevuje v několika oblastech. Úspora času údržbářů je odhadována na 15–30 minut denně strávených evidencí. Dochází ke snížení neplánovaných prostojů díky systematickému mazání a včasné detekci problémů. Správné a pravidelné mazání vede k prodloužení životnosti zařízení snížením opotřebení. Přesná evidence zabraňuje nadbytečnému mazání, čímž dochází k optimalizaci spotřeby maziv. Taktéž dochází k eliminaci rutinních kontrol, mazání či inspekci tzv. „od stolu“, což má pozitivní vliv na zachování provozuschopnosti zařízení.

Zkušenosti z praxe

Podniky, které zavedly systém digitální evidence, reportují zejména zlepšení disciplíny při dodržování mazacích plánů. Výrazně se zkrátil čas potřebný na přípravu auditů a certifikací. Systém umožňuje rychlou analýzu při vzniku poruchy díky dostupnosti historie mazání daného uzlu. Významným přínosem je také zvýšení zodpovědnosti údržbářů, neboť každý úkon je zaznamenán včetně identifikace osoby, která jej provedla.

Závěr a výhled do budoucnosti

Digitalizace rutinních údržbářských činností není luxusem velkých korporací, ale dostupným nástrojem pro podniky všech velikostí. Aplikace DEMIP představuje praktické a cenově efektivní řešení, které umožňuje modernizovat evidenci mazacích a inspekčních procesů bez nutnosti investic do rozsáhlých IT systémů.

Přechod od papírové dokumentace k digitálnímu systému přináší měřitelné výhody v podobě úspory času, snížení chyb a zvýšení spolehlivosti provozu. Systematická údržba podpořená moderními nástroji je klíčem k prodloužení životnosti zařízení a minimalizaci neplánovaných prostojů. Taktéž vede k rychlejšímu převodu kompetencí v rámci fluktuací zaměstnanců.

Do budoucna lze očekávat další rozšíření funkcionality aplikace DEMIP, včetně prediktivních algoritmů upozorňujících na potenciální problémy na základě analýzy historických dat, integrace s vibračními diagnostickými systémy a rozšíření platformy o iOS podporu.

O autorovi

Ing. Lukáš Heisig, Ph.D., CTD

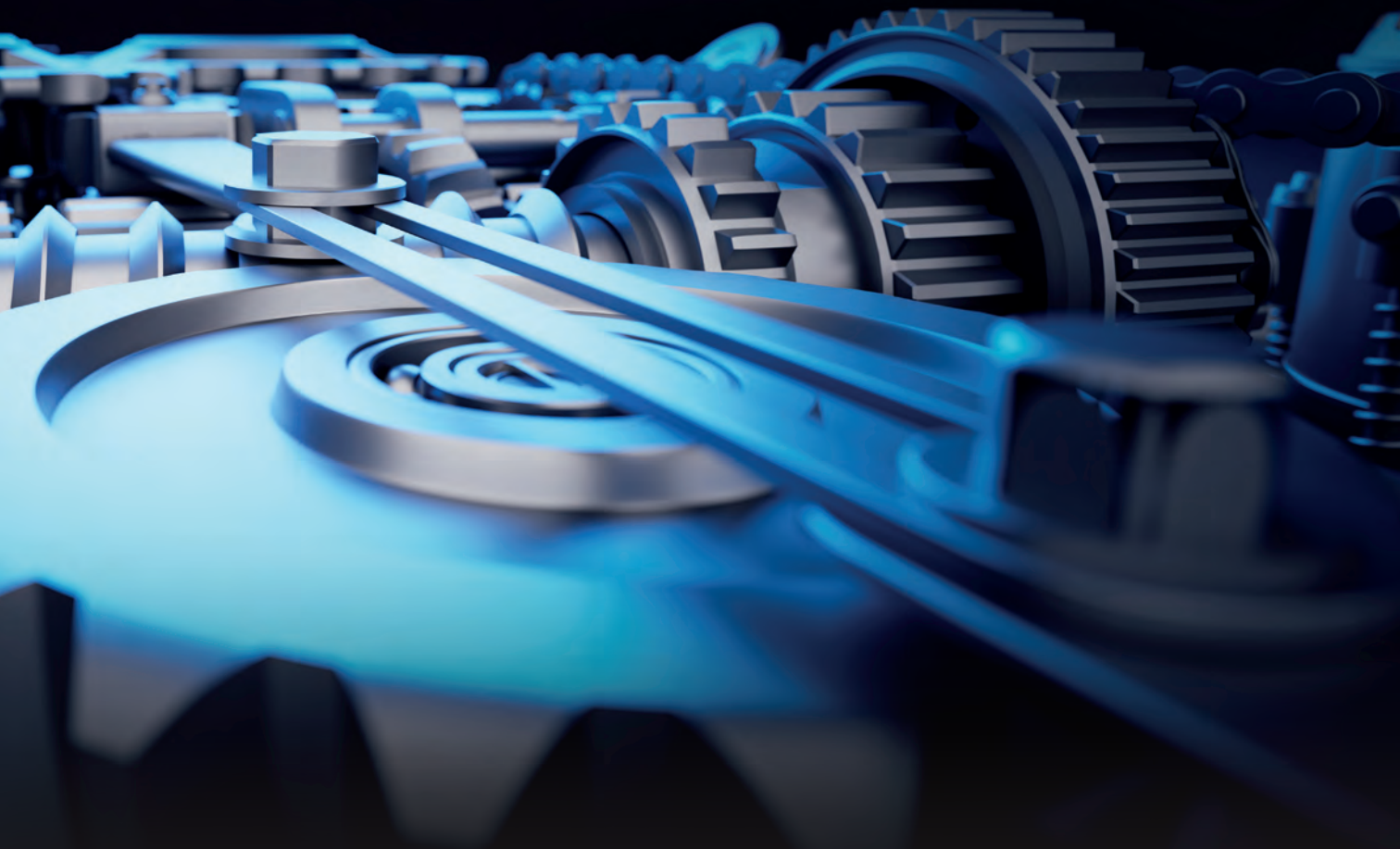
je zakladatelem společnosti Heistech, s.r.o., která se specializuje na technickou diagnostiku strojů a fluid management. Společnost Heistech, s.r.o., s mnohaletými zkušenostmi v průmyslové údržbě vyvinula aplikaci DEMIP jako odpověď na reálné potřeby údržbářských týmů v českých a moravských podnicích.

Heistech, s.r.o.

Dobrkovice 111, 763 07 Dobrkovice

Tel.: +420 724 555 179, e-mail: info@heistech.cz

www.heistech.cz



Ing. Tresner Lubomír

Tuhá maziva jejich benefity a omezení

Anotace

Tuhá maziva jsou suché mazací látky používané v nejrůznějších podobách a aplikacích již tisíce let. Příspěvek má za úkol seznámit zájemce s osvědčenými i novými typy těchto látek, které byly objeveny teprve nedávno. Jejich hlavní předností je zejména usnadňovat mazání v extrémních podmínkách a prostředích, kde klasická maziva již nevyhovují. V příspěvku budou uvedeny některé zajímavé vlastnosti těchto maziv a naznačeny oblasti jejich možného použití v tribotechnické praxi.

Tuhá neboli pevná maziva jsou jakékoli látky, které snižují součinitel tření a opotřebení třecích ploch, i při vysokém zatížení brání přímému dotyku jejich povrchů. Tuhá maziva jsou již historicky

nepostradatelnými komponenty zkoumanými v tribologii, poté aplikovanými v tribotechnice. Jednou z prvních doložených tribotechnických aplikací tuhých maziv bylo použití síranu vápenatého (sádry) Egypťany již ve třetím tisíciletí před Kristem pro usnadnění pohybu kamenných bloků při stavbě pyramid. I grafit se hojně používal již od středověku. Nyní jsou pevná maziva důležitá zejména v oblastech s extrémními požadavky na mazání a podmínkami, kde nelze použít kapalné oleje nebo plastická maziva například v jaderných reaktorech, kosmických a dalších aplikacích s vysokým vakuem, agresivních prostředích a v jiných náročných provozních podmínkách, hlavně při extrémních teplotách nebo tlacích.

Nejčastější podoby aplikace pevných maziv

Pevné mazivo se může do třecí zóny dostat několika způsoby:

- **Povlak (film)** – souvislá vrstva maziva nanesená a zaleštěná do povrchu dílu.
- **Kompozitní povlak** – částice maziva rozptýlené v nosné matrici.
- **Objemový kompozit** – částice maziva rovnoměrně rozmístěné v celém objemu materiálu součásti.
- **Práškové mazivo** – suché prášky vháněné přímo do místa tření.
- **Aditiva v olejích, tucích či pastách** – tuhé částice rozptýlené v kapalině.

Nejllepší kombinaci prvních dvou vlastností vykazují anizotropní materiály s vrstvenou krystalovou strukturou (např. grafit, disulfid molybdenu, nitrid bóru). [4]

Výhody suchých filmů

- Funkce i při velmi vysokém zatížení
- Tepelná stabilita/vysoké i nízké teploty
- Odolnost vůči nepříznivému prostředí
- Různorodé formy aplikace

Nevýhody suchých filmů

- Vyšší tření a opotřebení než u čistého hydrodynamického mazání
- Omezená životnost mazacího filmu
- Nižší schopnost odvádět teplo
- Složitější doprava maziva na třecí plochy (kapaliny lze snadno čerpat, filtrovat a chladit) [4]

Požadavky na vlastnosti pevných maziv

- **Nízká smyková pevnost ve směru kluzného pohybu** – zajišťuje nízký součinitel tření díky snadnému smykovému pohybu mezi vrstvami mazacího materiálu.
- **Vysoká tlaková odolnost kolmo na směr kluzu** – umožňuje přenášet velká zatížení bez přímého styku povrchů.
- **Dobrá adheze k podkladu** – film maziva musí na povrchu držet i při vysokých smykových napětích.

Třídění tuhých maziv		
Skupina	Typické příklady	Charakteristické rysy
Anorganické látky s vrstevnatou strukturou	Grafit, MoS ₂ , hBN; WS ₂ , MoSe ₂ , TaSe ₂ , TiTe ₂ , H ₃ BO ₃	Šestiúhelníkové atomární vrstvy vázané slabými Van-der-Waalsovými silami ⇒ nízká smyková pevnost mezi vrstvami. Velmi nízký COF (~0,03–0,2)
Oxidy kovů	B ₂ O ₃ , MoO ₃ , ZnO, Re ₂ O ₇ , TiO ₂ aj.	Mazací schopnosti při vyšších teplotách. COF ~0,06–0,25
Měkké kovy	Pb, Sn, Bi, In, Cd, Ag; aj.	Nízká smyková pevnost a vysoká tvárnost. COF (~0,1–0,3)
Organické polymery s řetězcovou strukturou	Polytetrafluorethylen PTFE, poly-chlorfluorethylen; využití jako tenké filmy (např. polymerové překryvy ložisek).	Slabé vazby mezi řetězci umožňují snadné klouzání, vysoká pevnost po délce řetězce. Nízký COF (~0,02–0,1)
Mýdla (metalické soli)	Soli mastných kyselin s Li ⁺ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , Zn ²⁺ , Cu ²⁺ ; vznikají zmydelněním tuků zásadou.	Molekuly mají hydrofobní „ocas“ a hydrofilní „hlavu“, která dobře přilne k povrchu a snižuje tření. COF (~0,05–0,1)
Fluoridy	CaF ₂ , BaF ₂ , CF _x	Netoxické a nehořlavé, extrémně stabilní i v oxid. Prostředí nízký COF (~0,1–0,2)
Nanomateriály	Nanočástice oxidů, měkkých kovů, polymerů, MoS ₂ , hBN, CNT, DLC, Fullereny, Grafen, MXeny aj.	Nížší tření (COF 0,01–0,1) a menší opotřebení. Vylepšené mazání a stabilní mazací filmy. Vysoká stabilita při vysokých teplotách a extrémních tlacích. Vytváření kvalitních povlaků a dlouhá životnost.

Anorganická maziva s vrstevnatou (lamelární) strukturou

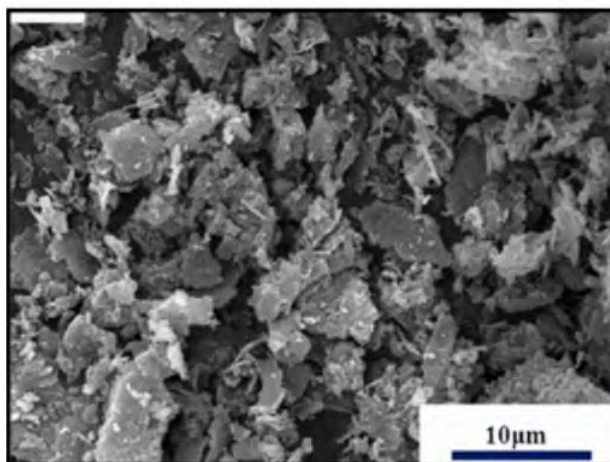
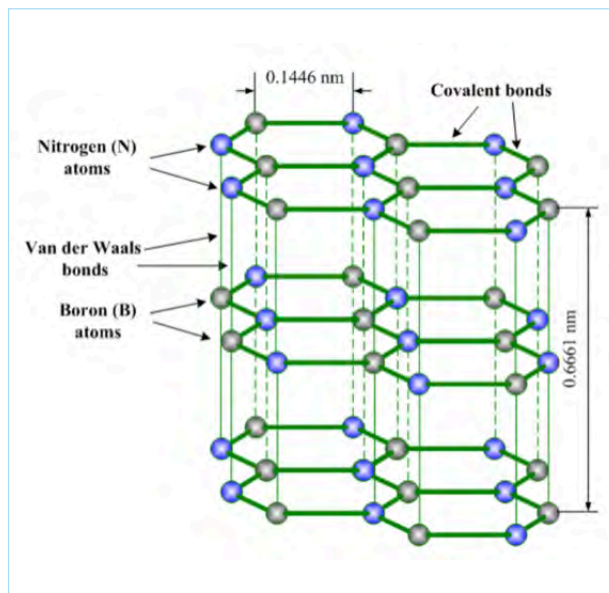
Hlavními nejužívanějšími představiteli jsou **grafit (C)**, **molybdenisulfid (MoS_2)** a hexagonální **nitrid bóru (hBN)**, dále pak některé sulfidy, selenidy a teluridy (chalkogenidy) molybdenu, wolframu, niobu, tantalů, titanu (např. WS_2 , MoSe_2 , TaSe_2 , TiTe_2), monochalkogenidy (GaS , GaSe , SnSe), chloridy kadmia, kobaltu, olova, ceru, zirkonia (např. CdCl_2 , CoCl_2 , PbCl_2 , CeF_3 , PbI_2) a také některé boritany (např. $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), H_3BO_3 a sírany (Ag_2SO_4). Tyto typy maziv mají jedinečnou vrstevnatou strukturu, v níž mají atomy těsně uspořádané ve stejné vrstvě se silnými kovalentními vazbami mezi sebou, zatímco jednotlivé vrstvy jsou slabě spojeny van der Waalsovou vazbou, což umožňuje jejich snadný posuv po sobě. Pokud jsou tyto vrstvy přítomny mezi kluznými povrchy, snadno se připojí k dosedacím plochám a zároveň je lze mezi sebou snadno oddělit a zarovnat rovnoběžně ve směru pohybu. Nízkého tření se dosahuje díky nízké adhezi mezi vrstvami. Samotné hexagonální vrstvy vázané silnými meziatomovými kovalentními vazbami pak mohou přenášet zatížení a chránit kluzné plochy před opotřebením.

Grafit má součinitel tření vůči oceli typicky okolo 0,1 v normálních podmínkách (vzdušná vlhkost cca 50 %), avšak jeho lubrikační účinnost zásadně závisí na adsorpci vodních par či jiných polárních molekul na povrchu vrstev. Molekuly H_2O + O_2 se adsorbují na bazálních rovinách grafitu, což dále snižuje jejich vazbu a tím i tření mezi nimi. **V suchu či ve vakuu grafit mazat přestává** – bez přítomnosti kondenzované fáze jeho tření výrazně vzroste (ve vakuu bývá asi **10× vyšší** než na vzduchu) a dochází k rychlému opotřebení. Teplotní rozsah použití -180 až 500 °C na vzduchu; nad 600 °C prudká oxidace. Naproti tomu **MoS_2 a WS_2** k lubrikaci žádnou adsorbovanou vrstvou polárních molekul nepotřebují – již samotná slabá vazba mezi sulfidovými vrstvami zajišťuje vynikající kluzné vlastnosti i ve vakuu.

MoS_2 patří k nejučinnějším tuhým mazivům pro vakuum a kosmické aplikace, neboť i za absence vlhkosti vykazuje extrémně nízké tření (v ultravakuu naměřeny součinitele až $\sim 0,01$). Naopak v prostředí s vlhkým vzduchem se jeho třecí vlastnosti zhoršují a hrozí oxidace sulfidu a koroze. Teplotní rozsah použití -200 až 400 °C vzduch i vakuum. Podobně **WS_2** má vynikající třecí vlastnosti v suchu, přičemž bývá o něco odolnější vůči oxidaci než MoS_2 . Rozsah teplot -180 – 500 °C vzduch, -200 – 600 °C vakuum nebo suchá atmosféra bez kyslíku.

h-BN („bílý grafit“). Ten má také vrstevnatou hexagonální strukturu a lamelární mechanismus smyku, i když vazby mezi vrstvami BN jsou o něco silnější než u grafitu či MoS_2 . **h-BN** dosahuje součinitele tření $\sim 0,2$ – $0,25$ v suché atmosféře, v přítomnosti vlhkosti však tření klesá pod 0,1 (v hydratovaném prostředí či ve vodě dokonce ještě nižší). Výhodou nitridu boru

je jeho chemická a tepelná stálost – na rozdíl od grafitu a MoS_2 je **vysoce odolný proti oxidaci** a lze jej použít i při teplotách (~ 900 °C na vzduchu, 1400 °C vakuum), kde grafit či MoS_2 už selhávají. Hexagonální struktura krystalu hBN [7] viz obr. 1.



Obr. 1: Struktura krystalu a částice hBN

Oxidy kovů

Mimo uvedené nejčastěji používané oxidy B_2O_3 , MoO_2 , ZnO , Re_2O_7 , TiO_2 jsou používány i kombinace oxidů např. CuO-MoO_2 , NiO-Mo_2 , $\text{PbO-B}_2\text{O}_3$, $\text{CuO-Re}_2\text{O}_7$.

Oxidy s nízkou pevností ve smyku nebo s nízkým bodem měknutí se při tření mění na tenké sklovité nebo vrstvené filmy, které oddělují protilehlé povrchy. Pro jejich účinnost je zásadní:

- **teplota** – většina těchto oxidů se stává „mazivem“ až nad 200 °C, kdy povrch částečně zesklíne (borátové sklo u B_2O_3) nebo přejde do tzv. Magnéliho fází (u TiO_2 při >800 °C), kdy se projeví významné snížení COF při vysokých teplotách.
- **tlak a rychlost skluzu** – film musí být tenký, aby se neodlupoval; optimalizace koncentrace látky.
- **prostředí** – v inertní atmosféře či vakuu bývá tření ještě nižší, vysoká vlhkost naopak některým oxidům škodí (B_2O_3 a Re_2O_7), vznik kyselin – koroze.

Všechny uvedené oxidy mohou sloužit jako tuhá maziva či přísady, ale každý „funguje“ v jiném teplotním/interakčním okně. Při správné volbě prostředí a koncentrace lze dosáhnout COF ~0,06–0,25, výrazně nižšího opotřebení a stabilního provozu i tam, kde kapalina již selhává. [7]

Měkké kovy

Pb, Sn, Zn, Bi, In, Cd, Ag, Au; používají se čisté nebo ve slitinách, jako povlaky (galvanické nebo PVD/CVD termicky nástřík) nebo jako fáze v kovových kompozitech (ložiskové slitiny Cu, Al). [2]

Mazací schopnost měkkých kovů vychází z jejich nízké smykové pevnosti, značné plasticity a tvorby snadno smykatelné povrchové vrstvy (tribofilmu) na styčných plochách. Při tření se rozmažou po povrchu protikusu a vyplní nerovnosti; vzniká tenký kovový film, který pak klouže v místě kontaktu a brání přímému dotyku tvrdších materiálů. Často se proto nanášejí jako tenké vrstvy, které snižují tření a chrání podkladový materiál před opotřebením. K aplikaci těchto měkkokovových filmů existuje celá řada depozičních metod. Klíčovým ukazatelem je přitom soudržnost vrstvy se substrátem, protože právě ona určuje dlouhodobou životnost povlaku, jeho mazací schopnost a vlastnosti proti opotřebení. Pro základní mazací úlohy zpravidla postačí jednodušší postupy, jako galvanické pokovování nebo vakuové napařování. Vysoce kvalitní, kompaktní a pevně přilnavé filmy však vyžadují pokročilejší techniky, například iontové pokovování, naprašování či depozici asistovanou iontovým svazkem. Kromě pevnosti spoje mezi filmem a substrátem je odolnost proti opotřebení měkkých kovových povlaků také do značné míry závislá na tloušťce filmů. Optimální tloušťka těchto filmů pro dosažení nízkých koeficientů tření potažmo nízkého opotřebení se pohybuje od 0,5 do 1 µm. Tenčí filmy se rychleji opotřebyjí a vykazují krátkou životnost. Teplota ovlivňuje významně nepřímo úměrně koeficient tření. Za běžné teploty jsou jako pevná maziva využitelné hlavně kovy s velmi nízkou

tvrdostí: například **indium, cín, olovo, zinek** – všechny tyto mají nízký bod tání a malou tvrdost. Pro vysoké teploty (řádově stovky °C) jsou pak vhodnější měkké kovy se **zvýšenou teplotou tání**, zejména **stříbro, zlato** (příp. platina). **Stříbro** taje při 962 °C, je poměrně měkké. Měkké kovy se uplatňují v kluzných uzlech pracujících nasucho i s olejovou náplní, zejména tam, kde je nutné efektivně odvádět teplo vznikající třením. Jejich rozsáhlejší využití ale omezuje silná chemická vazba na některé aditivní prvky olejů, která může vést ke koroznímu opotřebení povrchů. Přesto dokážou v určitých aplikacích podat nejlepší možný výkon. Stříbro například slouží jako pevné mazivo pro snižování tření a opotřebení ve vysokootáčkových kuličkových ložiskách rotujících anod rentgenových trubíc, v součástech družic či v kluzných částech jaderných reaktorů. Bronz a Babbittovy slitiny jsou zase osvědčené při mazání pouzder ložisek a mnoha dalších strojních dílů. [2]

Polymery

Jsou určité plasty s velmi nízkým koeficientem tření. K nejběžnějším plastům vhodným pro třecí uzly patří PTFE, polyimid (PI), polyamid (PA), polyethylentereftalát (PET), polyoxyetylen (POM) a polyethylen s ultravysokou molekulovou hmotností (UHMWPE) a to buď ve formě práškových přísad do maziv nebo jako součást kompozitního materiálu případně tenké filmy coby překryvy ložisek. Tyto materiály mají charakteristickou molekulární stavbu složenou z dlouhých, rovnoběžně orientovaných řetězců. Uvnitř řetězce je drží silné kovalentní vazby, zatímco sousedící řetězce jsou propojeny mnohem slabšími sekundárními interakcemi. Materiál se tak chová mechanicky anizotropně a zároveň výborně maže: dlouhé makromolekuly po sobě dokážou klouzat už při relativně malých smykových napětích a současně se fyzikálně adsorbují na třecí plochy, čímž snižují tření i opotřebení podkladu. V technické praxi proto



polymery často tvoří matrici samomazných kompozitů, které jsou plněny zvláštními aditivami nebo výztužemi.

Vedle kompozitů se uplatňují i čisté polymery – buď jako masivní díly, nebo v podobě tenkých vrstev. Tenké polymerní filmy lze na tribologický povrch nanést například nástřikem či poprášením prášku s následným slinováním při vyšší teplotě a tlaku.

Asi nejčastěji frekventovaným mazacím polymerem je PTFE označované také jako Teflon®. Jeho molekuly jsou tvořeny dlouhými nepolárními fluorovanými uhlíkovými řetězci – které mají velmi malou vzájemnou adhezi. Makromolekuly PTFE se tak mohou snadno posouvat vůči sobě, čímž se při smyku uplatňuje mechanismus podobný lamelárnímu skluzu. Je to specifický polymer vytvořený z ethylenů nahrazením atomů vodíku atomy fluoru. Protože PTFE je netoxický, lze jej použít v průmyslových aplikacích, jako je farmaceutický a potravinářský průmysl. Jeho výhodou je velmi nízký koeficient tření 0,02–0,15, inertnost k většině chemikálií a rozsah teplot použití –270 až +260 °C (nad ~300 °C začíná degradovat). [1] Nevýhodou je obecně nízká tepelná vodivost a nižší mechanická pevnost a tuhost, kterou lze zlepšit rovněž vytvořením kompozitního materiálu za pomoci plniv jako je např. grafit, MoS₂, sklo, uhlíková vlákna, olovo, bronz aj. [3]

Mýdla

Jsou soli nenasycených mastných kyselin. Na rozdíl od mýdel pro tvorbu plastických maziv s kationty převážně Li⁺, Ca²⁺, Al³⁺, kde mýdlo slouží jako zahušťovadlo neboli kostra maziva, se pro výrobu mýdel pro suché mazání používají zejména kationty Na⁺, Ca²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺ a to hlavně kvůli afinitě k oceli a schopnosti tvořit tribochemický oleát. Tato mýdla se vyrábějí nejčastěji z kyselin olejových, případně linolových či linolenových. Taková mýdla pak vytvářejí adsorbované nebo chemicky vázané vrstvy, které mají velmi nízkou smykovou pevnost a dokážou tak oddělit třecí páry i při absenci klasického olejového filmu. Při kontaktu s kovovým povrchem dochází k chemické adsorpci (výměně iontů) vzniku vrstvy kov-oleátu tloušťky ~ 2–10 nm a tření pak probíhá uvnitř vzniklé organokovové vrstvy jejíž smyková pevnost je řádově nižší než u podkladu. Nenasycený řetězec zůstává částečně mobilní; při lokálním poškození se film obnovuje z dalších přítomných molekul – má schopnost samoregenerace. Filmy dosahují $\mu \approx 0,05$ –0,10. Pro praktické aplikace jsou tato mýdla využitelná jako prášek, lisovaná fólie nebo tenká chemicky vázaná vrstva (2–10 nm) na kov. Použití mají jako pevné povlaky pro tváření, kluzné vrstvy v práškové metalurgii, přísady do bio-plastických maziv, případně jako aditiva pro hraniční mazání motorových olejů. [1]

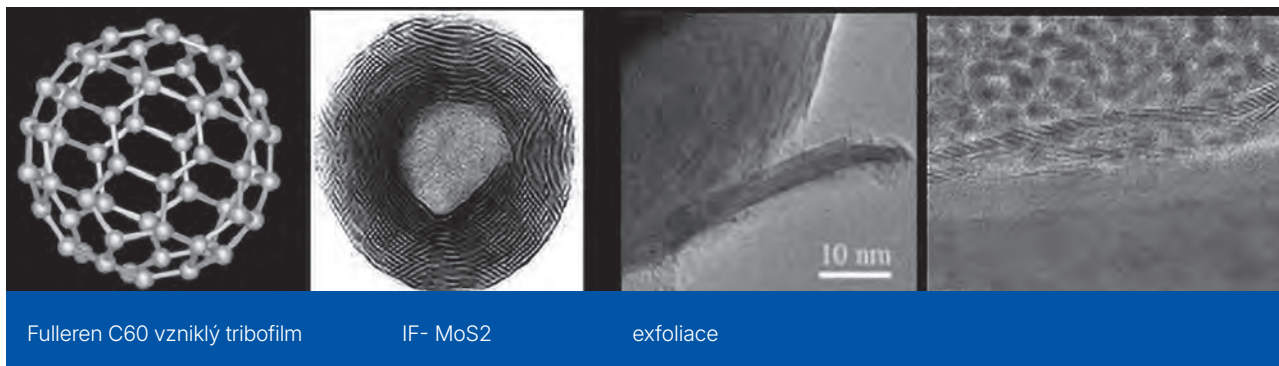
Fluoridy

Fluoridová maziva např. (CaF₂, BaF₂, aj.) vynikají **vysokoteplotní stabilitou** – na vzduchu nemění složení až do extrémních

teplot (~1000 °C). Tyto fluoridy nejsou vrstevnaté, přesto mají za zvýšených teplot schopnost klouzat – vykazují mazací účinek **při teplotách zhruba 400–900 °C**, kdy u nich dochází k přechodu z křehkého do plastického stavu. V rozmezí (~500–900 °C) vytvářejí změkčené fluoridy – hladké ochranné filmy a umožňují kluzný pohyb i v prostředí, kde by vše ostatní shořelo. Jejich omezení je ovšem **použitelnost jen při vysokých teplotách** – za studena a středních teplot jsou tvrdé a nefunkční. Proto se obvykle kombinují s jinými mazivy; například povlak **Ag–BaF₂/CaF₂**, obsahuje jak měkké stříbro pro mazání od 20 do ~400 °C, tak fluoridový eutektik pro oblast 400–800 °C. Fluorograft CF_x je naopak vrstevnatý materiál podobně jako grafit, stabilita do 450 °C, který rozšiřuje použití grafitu do vakua a sucha (není hygroskopický, vodivý ani neoxiduje), avšak jeho mechanické vlastnosti jsou omezené – používá se spíše jako příměs do jiných maziv (např. do teflonových nebo epoxidových povlaků pro snížení tření). Všechny tyto materiály se používají v aplikacích, kde je požadováno suché mazání bez přítomnosti kapalných maziv většinou za vysokých teplot, vynikající chemická odolnost, zejména v průmyslu, letectví, vesmírných aplikacích, elektronice a náročných triboaplikacích. [2]

Nanomateriály

Nanostrukturované částice jsou dalšími perspektivními materiály využitelnými mimo jiné i v tribologii a tribotechnice. Na rozdíl od mikročástic mohou nanočástice vyvolávat na površích kvantové jevy. Kvantové interakce mezi atomy a molekulami mohou ovlivnit jak strukturu samotného tribofilmu, tak základního materiálu a zlepšit tak kluzné vlastnosti a ochranu proti opotřebení. Zajímavými moderními materiály jsou nano částice dichalkogenidů **WS₂** nebo **MoS₂**, které vytvářejí jakési kulaté sféry podobné **fullerénům** mající cibulovitou (tzv. vnořenou) vrstevnatou strukturu. Tyto kuličky o rozměrech 50–100 nm se odvalují mezi povrchy, mají vysokou tlakovou odolnost (až 25 GPa) a po jejím překročení se exfoliují na tenký 2D tribofilm pevně ulpívající na povrchu kluzné plochy, výsledkem je významné snížení tření i opotřebení. [5] **Obr.2. Uhlíkové nanostruktury** jsou další perspektivou, intenzivně se zkoumá **grafen** – jednovrstevný grafit, který má podobné lubrikační vlastnosti jako grafit, ale na rozdíl od něj funguje výborně i v suchu. Grafenové povlaky či příměsi dosahují velmi nízkých součinitelů tření a dokonce tzv. **superlubrikace** (tření řádu 0,01) v určitých kombinacích materiálů. **Uhlíkové nanotrubice (CNT)** byly rovněž úspěšně použity jako pevná maziva – buď ve formě tenkých povlaků, nebo jako plnivo kompozitů. Při provozu se CNT částečně zprvu odvalují jako pružné válečky později degradují a mohou zanechávat **kluzký uhlíkový tribofilm**, který dále přispívá k mazání. [6] Velkou pozornost rovněž poutají



Obr. 2

například MXeny, což je nová rodina dvourozměrných karbidů/nitridů přechodných kovů. **MXeny** mají strukturu podobnou vrstevnatým dichalkogenidům (slabě vázané vrstvy) a vyznačují se kombinací silných vazeb uvnitř vrstvy s pouze slabými vazbami mezi vrstvami. Mohou samy fungovat jako tuhé mazivo – snadno

se exfoliují na tenké vrstvičky, které ulpí na povrchu třecích ploch a vytvoří odolný tribofilm snižující opotřebení. Jistou nevýhodou je hydrofilnost jejich povrchových chemických zakončení, což lze řešit úpravou jejich povrchů ke zlepšení dispergovatelnosti v hydrofobních médiích. [6],[7]

Závěr

Tuhá maziva představují nezastupitelnou součást tribotechniky pro extrémní podmínky. Každá skupina (vrstevnatá, polymerní, kovová, fluoridová aj.) má unikátní soubor výhod a omezení – proto je volba optimálního maziva vždy kompromisem dle provozních parametrů. Současný výzkum směřuje k vývoji adaptivních a nanokompozitních mazacích systémů, které by zajistily spolehlivé mazání v co nejširším spektru podmínek (od kryogenních teplot až po žár, od vakua po korozivní prostředí). S využitím nových 2D materiálů (MXeny, grafen) a nanodoplňků (nanotrubice, fullereny) lze očekávat další snižování tření a zvyšování životnosti kluzných uzlů v praxi, což nemalou mírou přispěje i ke zvýšení ekologie provozu strojů. Tento přehled reflektuje současný stav poznání v oblasti tuhých maziv a poukazuje na perspektivní směry dalšího vývoje v tribologii.

Zdroj

Aktuální poznatky v článku vycházejí z odborných publikací a zdrojů, zejména přehledových článků v časopise *Lubricants* [mdpi.com](https://www.mdpi.com), [2] přehledů pokročilých pevných maziv [researchgate.net](https://www.researchgate.net) [1] a specializovaných studií zaměřených na jednotlivé materiály: vrstvené sulfidy, grafit a nitrid bóru, měkké kovy, fluoridy [mdpi.com](https://www.mdpi.com), [2] polymerní PTFE [researchgate.net](https://www.researchgate.net), [3] www.substech.com, [4] MXeny [azom.com](https://www.azom.com), [5] uhlíkové aj. *nanomateriály* [nature.com](https://www.nature.com), [6] www.sciencedirect.com. [7]

Článek prošel recenzním řízením.



Průmyslová kybernetická bezpečnost, průmysl

Jan Fulneček, Stanislav Mišák, René Záruba, Ondřej Podivínský

Analýza statorového proudu a axiálního magnetického toku asynchronního motoru

Stator current and axial magnetic flux analysis of an induction motor

Anotace

Tento příspěvek uvádí porovnání dvou diagnostických metod, které jsou využívány pro detekci asymetrie statorového vinutí. Na asynchronním motoru bylo provedeno několik laboratorních měření a byly použity obě diagnostické metody. Axiální magnetický rozptylový tok byl měřen speciální cívkou umístěnou na horní části krytu ventilátoru, zatímco statorové proudy byly zaznamenávány pomocí osciloskopu. Všechny signály byly analyzovány a porovnány. Cílem tohoto experimentu bylo porovnat citlivost a vhodnost popsaných metod pro diagnostiku poruch nízkonapětového asynchronního motoru.

Abstract

This article presents a comparison of two diagnostic methods widely used for the detection of stator winding asymmetry. Several laboratory measurements were performed on an induction motor, and both diagnostic methods were used. The axial magnetic stray flux was measured using a special coil mounted on the top of the fan cover, while the stator currents were recorded using an oscilloscope. All signals were analyzed and compared. The aim of the experiment was to compare the sensitivity and suitability of the described methods for low-voltage induction motor fault diagnostics.

1. Úvod

Asynchronní stroje jsou hojně používány v průmyslových aplikacích. Podle [1] téměř 50 % celosvětově vyrobené elektrické energie je spotřebováno asynchronními motory. Vzhledem k takto rozsáhlému použití asynchronních motorů hrají diagnostické nástroje pro predikci a detekci poruch důležitou roli.

Nízkonapětové asynchronní motory s kotvou nakrátko jsou široce rozšířené díky své vysoké spolehlivosti a nízké ceně. Většina poruch asynchronních motorů je způsobena jejich mechanickými součástmi (50 %). Na druhou stranu, poruchy statorového vinutí rovněž představují významnou část všech poruch, v rozmezí od 15 % do 35 % v závislosti na konkrétním použití [2]. Existuje několik bezdemontážních metod pro monitorování stavu nízkonapětových asynchronních motorů. Poruchy ložisek nebo jiných mechanických součástí mohou být detekovány měřením vibrací [3]. Detekce poruch vinutí je složitější.

2. Porovnávání metod

Jakákoli statorová asymetrie ovlivňuje magnetické pole ve vzduchové mezeře. Frekvence magnetického toku

vzduchové mezeře, která je funkcí počtu zkratovaných závitů statorového vinutí, může být popsána následující rovnicí (1) [4].

$$f = f_{grid} \cdot \left(\frac{n}{p}(1 - s) \pm k \right)$$

Kde f_{grid} = frekvence sítě; $n = 1, 2, 3, \dots$; $k = 1, 3, 5, \dots$;
 s = skluz; p = počet pólových dvojic

Proto může být porucha vinutí během provozu motoru detekována pomocí analýzy spektra statorového proudu (MCSA) nebo měřením axiálního magnetického rozptylového toku.



I. MCSA

Byla navržena v 70. letech 20. století pro použití v diagnostice nepřístupných motorů. Cílem této metody je provést Fourierovu analýzu napájecího proudu. Různé typy poruch zkreslují napájecí proud motoru a přispívají tak ke vzniku dodatečných harmonických složek [5]. Spolehlivost této metody byla v průběhu času ověřena jejím rozsáhlým nasazením v průmyslu.

II. Analýza axiální magnetické složky

Axiální magnetická složka je generována proudy v čelech vinutí statoru a proudy ve zkratovacích kruzích rotoru [6]. Závady součástí motoru vyvolávají odpovídající anomálie magnetického pole [7]. Tato metoda není tak rozšířená jako MCSA a diagnostika založená na tomto typu měření vyžaduje další výzkum.

3. Popis experimentu

Pro účely tohoto experimentu byl použit běžný nízkonapěťový indukční motor (Tab. 1). Kostra motoru je vyrobená z hliníkové slitiny, ložiskové štíty jsou z litiny. Ocelový kryt ventilátoru je jedinou feromagnetickou částí kostry motoru.

Tab. 1 Parametry zkoumaného indukčního motoru (zapojení do hvězdy)

Typ	1LA7090
Výkon	750 W
Jmenovité napětí	400 V
Jmenovitý proud	2,1 A
Jmenovité otáčky	915 min ⁻¹
Počet satorových drážek	36

I. Úprava satorového vinutí

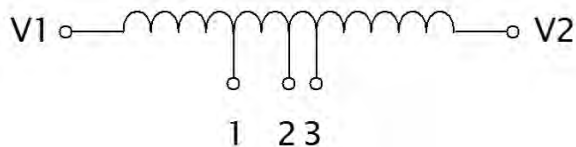
Satorové vinutí bylo vybaveno dodatečnými zkušebními vývody (Obr. 1 a Obr. 2), které umožňují uživateli vytvářet mezizávitové zkraty v jednom z vinutí satorové cívký během provozu motoru (Obr. 3).



Obr. 1 Připojení zkušebních vývodů k satorovému vinutí

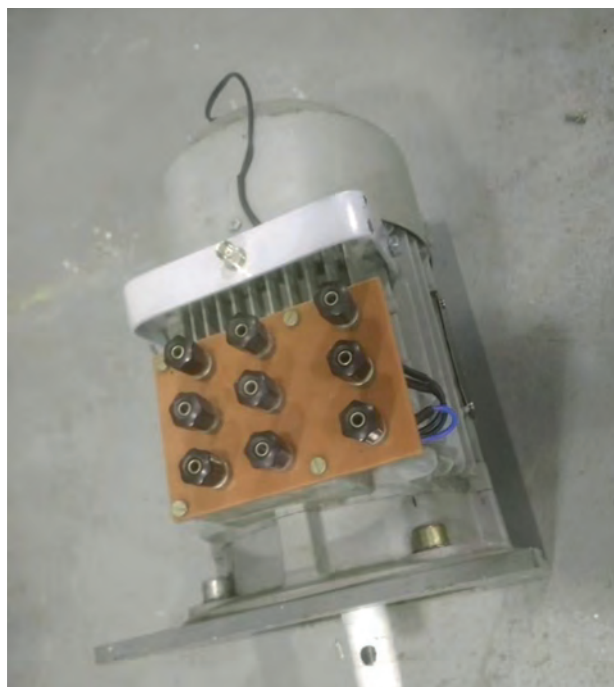
Odpor satorové cívký bez mezizávitového zkratu je 13 Ω. Propojením vývodů 2 a 3 se vytvoří mezizávitový zkrat uvnitř

jedné drážky (zkrat mezi závitý). Tímto způsobem je zkratováno 2,5 % závitů satorové cívký.



Obr. 2 Úprava cívký satorového vinutí

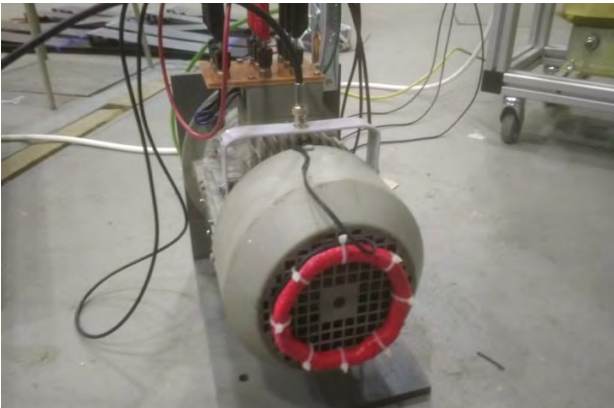
Propojením vývodů 1 a 2 se vytvoří mezizávitový zkrat mezi dvěma drážkami. Zkratovaná část (zkrat mezi cívkami) zahrnuje 16 % závitů satorové cívký.



Obr. 3 Testovaný asynchronní stroj

II. Instalace měřicí cívký

Měřicí cívký byla upevněna na krytu ventilátoru pomocí stahovacích pásek (Obr. 4). Průměr měřicí cívký je 10 cm a má 2200 závitů vodiče o průměru 0,25 mm. Cívký je kvůli rušení vybavena měděným stíněním. Celá cívký (včetně stínění) byla izolována PVC páskou.



Obr. 4 Měřicí cívka

III. Měření

V tomto experimentu byl motor testován za chodu naprázdno. Průběhy proudu statoru a výstupní napětí měřicí cívky byly zaznamenávány osciloskopem (Tab. 2). Byly vytvořeny tři různé modelové situace:

Modelová situace A

Není přítomen žádný mezizávitový zkrat. Tato situace je použita jako referenční stav. Zkušební vývody 1, 2 a 3 jsou rozpojeny.

Modelová situace B

Je přítomen mezizávitový zkrat uvnitř jedné drážky. Je vytvořen propojením vývodů 2 a 3.

Modelová situace C

Je přítomen mezizávitový zkrat mezi dvěma drážkami. Je vytvořen propojením vývodů 1 a 2.

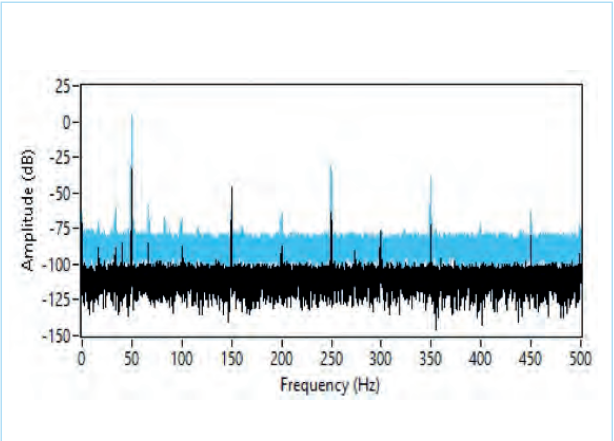
Tab. 2 Efektivní hodnoty statorového proudu jednotlivých situací				
Modelová situace	I_u (A)	I_v (A)	I_w (A)	n (min ⁻¹)
A	1,97	1,99	1,97	998
B	1,97	1,97	1,99	998
C	1,97	2,98	2,69	996

4. Naměřená data

Frekvenční spektrum bylo vypočteno pro všechny získané signály pomocí funkce FFT v programu LabVIEW. Délka zaznamenaného signálu byla 30 s a vzorkovací frekvence byla nastavena na 1 kS/s. Toto nastavení poskytuje rozlišení FFT 0,03 Hz při šířce pásma 1 kHz.

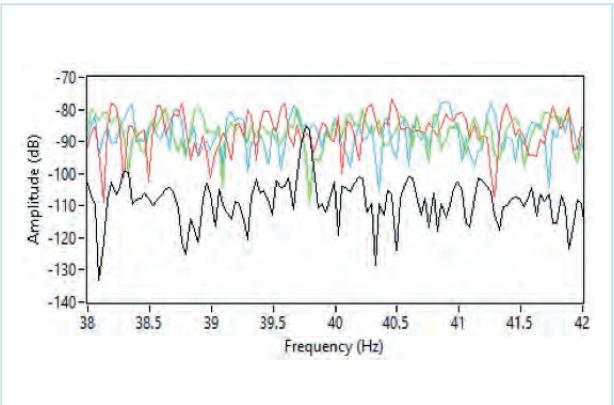
I. Modelová situace A

V první situaci není přítomna žádná porucha statorového vinutí (Obr. 5).



Obr. 5 Frekvenční spektrum – situace A (černá – měřicí cívka, modrá – MCSA)

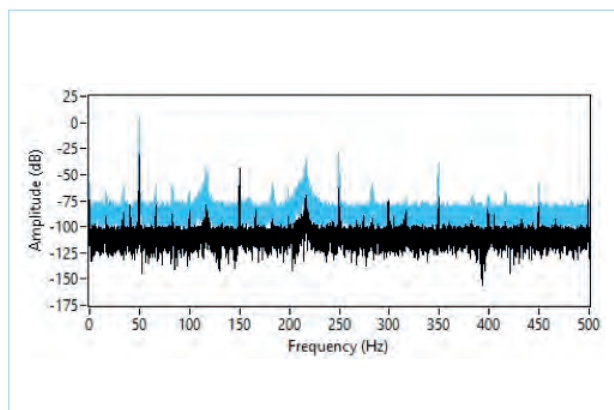
Ve spektru axiálního rozptylového magnetického toku se vyskytují některé složky, které chybí ve spektru MCSA (obr. 6). Nejvýznamnější z nich jsou 39,8 Hz, 273,3 Hz a 899 Hz. Původ těchto složek však zatím nebyl objasněn.



Obr. 6 Detail složky 39,8 Hz (černá – měřicí cívka, červená I_u , modrá – I_v , zelená – I_w)

II. Modelová situace B

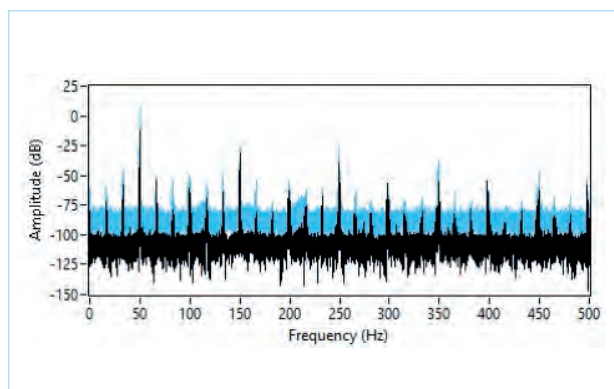
V druhé situaci je přítomen mezizávrtový zkrat uvnitř jedné drážky. Nejvýznamnějším rozdílem oproti předchozímu scénáři A je přítomnost dvou nových složek ve spektru: $f_1 = 116,7$ Hz a $f_2 = 216,7$ Hz (Obr. 7).



Obr. 7 Frekvenční spektrum – situace B (černá – měřicí cívka, modrá – MCSA)

III. Modelová situace C

Zkrat mezi cívkami generuje širokou škálu složek ve frekvenčním spektru. Složky f_1 a f_2 jsou stále přítomny (Obr. 8).



Obr. 8 Frekvenční spektrum – situace C (černá – měřicí cívka, modrá – MCSA)

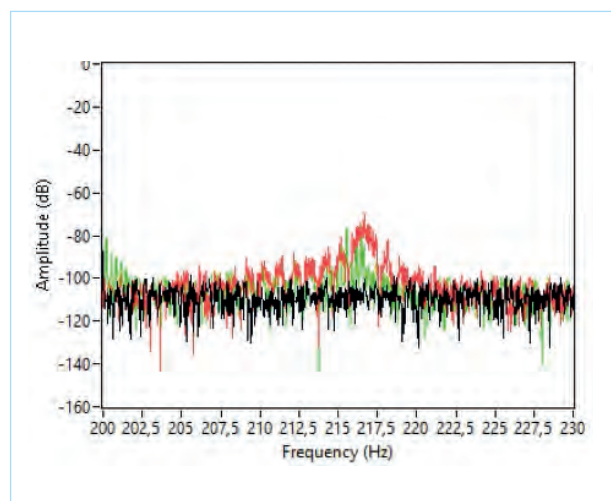
5. Výsledky

Složka f_2 se během experimentu projevila jako nejvýznamnější pro testované poruchové stavy, proto byla zvolena pro porovnání obou metod. Amplitudy této složky pro všechny posuzované scénáře jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3 Amplitudy složky f_2

Modelová situace	Měřicí cívka	MCSA
A	-105 dB	-78 dB
B	-85 dB	-62 dB
C	-70 dB	-36 dB

Absolutní hodnota amplitudy signálu ze snímače s cívkou je výrazně nižší než u metody MCSA. Důvodem je skutečnost, že měřicí cívka byla použita pouze jako pasivní prvek a na její výstup nebyl připojen zesilovač. V takovém zapojení je tato metoda náchylnější k rušení v prostředích s vysokou úrovní šumu.

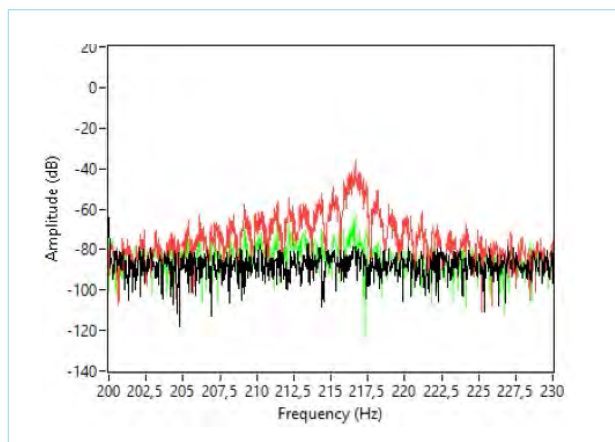


Obr. 9 Axiální složka rozptylového magnetického toku složky f_2 (černá – situace A, zelená – situace B, červená – situace C)

Amplitudy signálu ze snímací cívky se v situacích B a C liší pouze nevýznamně (viz Obr. 9).

Z pohledu MCSA se amplituda dané složky jeví jako úměrná počtu zkratovaných závitů (Obr. 10). V situaci B je výrazně nižší (postiženo 2,5 % vinutí) než v situaci C (postiženo 16 % vinutí).

Při hodnocení trendu periodických měření je nutné vyjádřit rozdíl amplitud složky f_2 mezi bezporuchovým stavem (A_A) a poruchovým stavem (A_B a A_C). Toto je nejjednodušší způsob, jak porovnat citlivosti popsanych metod (Tab. 4).



Obr. 10 Složka f_2 MCSA (černá – situace A, zelená – situace B, červená – situace C)

$$\Delta B = A_B - A_A$$

$$\Delta C = A_C - A_A$$

Jak je patrné z Tab. 4, měřicí cívka je ve scénáři B citlivější. Rozdíl amplitudy složky f_2 je výraznější než v případě metody MCSA.

Tab. 4 Porovnání citlivostí

	Měřicí cívka	MCSA
ΔB	20 dB	16 dB
ΔC	35 dB	42 dB

6. Závěr

Jak vyplývá z výsledků, obě metody mohou být u nízkonapěťových asynchronních motorů použity pro detekci mezizávítového zkratu statorového vinutí, a to i za chodu naprázdno.

Podle výsledků experimentu vykazuje měření axiálního magnetického rozptylového toku vyšší citlivost při detekci mezizávítového zkratu uvnitř jedné drážky než metoda MCSA, avšak nižší citlivost v případě zkratu mezi cívkami (mezi dvěma drážkami). Lze očekávat vliv materiálu kostry motoru a krytu ventilátoru. Zkoumaný motor byl osazen feromagnetickým krytem ventilátoru, avšak některé nízkonapěťové motory jsou vyráběny s plastovými kryty.

Obě metody mají své výhody i nevýhody. Pro měření metodou MCSA je nutné připojit proudové kleště ve svorkovnici motoru. Snímací cívku lze snadno instalovat bez složité montáže, což je výhodné zejména v nebezpečných prostorech (např. ve vlhkém prostředí nebo v prostředí s nebezpečím výbuchu). Na druhé straně musí být její průměr stanoven podle průměru rotoru [8]. To je nevýhoda měřících cívek, zatímco proudové kleště jsou univerzálnější. Dlouhodobá instalace měřicí cívky může mít i negativní dopady, jelikož cívka zakrývá podstatnou část výstupního otvoru pro proudění vzduchu.

Podrobnější analýza měřících cívek instalovaných na různých typech elektromotorů, provozovaných v odlišných provozních režimech a podmínkách, představuje jednu z možných oblastí dalšího zkoumání.

Reference

1. W. T. Thomson, M. Fenger, "Current signature analysis to detect induction motor faults", *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 7, pp 26-34, Jul/Aug 2001.
2. M. Rigoni, N. Sadowski, N.J. Bastitela, J.P.A. Bastos, "Detection and analysis of rotor faults in induction motors by the measurement of the stray magnetic flux", *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, vol. 11, pp 68-80, June 2012.
3. H. Bouchikhi, V. Choqueuse, M. Benbouzid, "Induction machine faults detection using stator current parametric spectral estimation," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 52-53, pp. 447-464, February 2015.
4. D. Miljkovic, "Brief Review of Motor Current Signature Analysis," *CrSNDT Journal*, vol.5, pp. 14-26, June 2015.
5. W. T. Thomson, "On-line MCSA to diagnose shorted turns in low voltage stator windings of 3-phase induction motors prior to failure" in *proceedings of Electric Machines and Drives Conference 2001, June 2001, Cambridge, USA*.
6. Kokko, *Condition monitoring of squirrel-cage motors by axial magnetic flux measurement, Dissertation thesis 2003, University of Oulu*.
7. P. Bernat, P. Kacar, "Operational non-contact diagnostics of induction machine based on stray electromagnetic field", *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, vol. 17 (1a), pp. 89-94, 2015
8. J. Tulicki, J. Petryna, M. Sulowicz, "Fault diagnosis of induction motors in selected working conditions based on axial flux signals", *Technical Transactions*, vol. 3E, pp. 99-113, December 2016

Článek prošel recenzním řízením.

**Jan Fulneček, Stanislav Mišák,
René Záruba, Ondřej Podivínský**

*Fakulta elektrotechniky a informatiky,
VŠB – Technická Univerzita Ostrava
Ostrava, Česká republika*



REGISTRUJTE SE ZDE:
WWW.EPLAN.CZ

Eplan Next26

MEZINÁRODNÍ FESTIVAL
INŽENÝRINGU

MNICHOV
20.–21. KVĚTNA
2026





Řešíte implementaci NIS2 / nového Zákona kybernetické bezpečnosti? Pomoc s přípravou konceptu kybernetické bezpečnosti výroby / podniku

**Siemens komplexní podpora a řešení kybernetické
bezpečnosti vám pomůžou!**

- Regulace kybernetické bezpečnosti podniku
- Podpora vyžadovaných technických opatření ve výrobní vrstvě
- Ochrana výroby a služeb
- Specializované implementace pro jednotlivá odvětví