



ISSN 1210-311X MK ČR: 2 979

# TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

2

ROČNÍK XXXI

2022

ASOCIACE TECHNICKÝCH DIAGNOSTIKŮ ČESKÉ REPUBLIKY, z. s.

## TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA V PRAXI

Recyklace provozních kapalin – chladicí kapaliny

*Recycling of operating fluids – coolants*

TD4

OLEJ a VODA

*OIL and WATER*

TD7

Normativní úprava ustavování rotačních strojů na obzoru?

*Shaft alignment technical standard coming?*

TD10

Využití multiparametrické diagnostiky v praxi pro odhalování příčin poruch strojního zařízení

*The use of multiparametric diagnostics in practice for the detection of causes of machinery failures*

TD13

Analýza částečných výbojů ve vinutí elektrického stroje v prostředí se sníženým tlakem vzduchu

*Analysis of partial discharges in the winding of an electrical machine in a reduced air pressure environment*

TD18

Opomíjený vliv frekvenčních měničů na technický stav strojních zařízení

*The neglected influence of frequency converters on the technical condition of machinery*

TD22

[www.atdcr.cz](http://www.atdcr.cz)



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

40. mezinárodní vědecká konference  
40th International Scientific Conference



**DIAGO® 2023**



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

konference se koná pod záštitou  
**Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky**

a pod patronací  
**prof. RNDr. Václava Snášela, CSc., rektora VŠB-TU Ostrava**  
**prof. Ing. Roberta Čepa, Ph.D., děkana Fakulty strojní**

**31. leden - 1. únor 2023**  
31. January - 1. February 2023

**Orea Resort Devět Skal \*\*\*, Sněžné - Milovy**  
Další konkrétní informace a registrace na [www.atdcr.cz](http://www.atdcr.cz)



DIAGO® 2023



DIAGO® 2023

#### Zaměření konference :

Konference je zaměřena na měřicí metody, přístroje a systémy používané v údržbě k objektivnímu zajišťování technického stavu, na řešení systémů údržby, na provozní zkušenosti z údržby strojů a zařízení, na řešení problematiky provozní údržby.

#### Tématické okruhy :

- technická diagnostika a provozní spolehlivost, monitorovací systémy technického stavu
- teorie systémů údržby, informační a řídicí systémy údržby
- tribotechnická diagnostika objektu a maziv
- vibrační diagnostika a monitorování technického stavu, modální a strukturální analýza objektu
- termodiagnostika, diagnostika elektrických točivých strojů
- ustavování strojních systémů
- nasazení a využití technické diagnostiky k zajištění jakosti chodu a jakosti nových výrobků, resp. oprav
- praktické zkušenosti z nasazení technické diagnostiky, řešení problematiky údržby
- vzdělávání v technické diagnostice a údržbě, certifikace způsobilosti osob

#### Hlavní partner :

Centrum energetických  
a environmentálních technologií



prof. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D. - ředitel CEET

#### Odborní garanti :

p. Ondřej Švec, DiS.  
doc. Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.  
Ing. Jakub Všolák  
prof. Ing. Milan Honner, Ph.D.  
Mgr. Marek Šeremeta

TRIFOSERVIS s.r.o., Čelákovice  
VŠB-Technická univerzita Ostrava, FEI  
ČEZ, a.s., Elektrárna Štěchovice, Štěchovice  
Západočeská univerzita v Plzni, NTVC  
LAMI KAPPA, spol. s r.o., Teplice

#### Mezinárodní programový výbor :

Dr.h.c. mult. prof. Ing. Juraj Sinay, DrSc.  
prof. dr hab. inž. Zbigniew Matuszak  
prof. Dr. Ing. Pavel Němeček  
doc. Ing. Jozef Žarnovský, Ph.D.  
doc. Ing. Juraj Grenčík, Ph.D.  
prof. Ing. Hana Pačaiová, Ph.D.  
Ing. Jan Hroch  
Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.  
doc. Ing. František Helebrant, Csc.

koordinátor vodíkových technologií SR, Košice, SR  
Akademia Morska w Szczecinie, Polsko  
viceprezident ATD ČR, z.s., Technická univerzita v Liberci  
proděkan TF, Slovenská poľnohosp. univerzita v Nitre, SR  
podpredseda SsÚ, Žilinská univerzita v Žilíně, SR  
viceprezidentka ATD SR, Technická univerzita v Košiciach, SR  
výkonný ředitel, Česká společnost pro údržbu, z.s., Praha  
tajemník ATD ČR, z.s., VŠB-Technická univerzita Ostrava  
VŠB-Technická univerzita Ostrava

#### Mediální partneři :

**ŘÍZENÍ ÚDRŽBA**  
Průmyslového podniku

**AUTOMA**  
Společnost pro automatizační techniku



## Vážení čtenáři, příznivci myšlenek technické diagnostiky!

Máme za sebou dlouhé období plné spíše špatných zpráv, jakými byla pandemie Covid 19, válka na Ukrajině, náhlý odchod našeho prezidenta ATD ČR Františka Vdolečka, takže nás výzva k úsporám již nemůže překvapit. Myslím, že je to apel i pro nás technické diagnostiky. Co může být úspornější, než spolehlivý optimálně fungující stroj. Vnímejte tedy současnou situaci nejen jako úkol, ale především jako zdůraznění principů, které nás v asociaci sdružují.

Začátkem roku 2023 nás čeká, a přípravy jsou v plném proudu, odložená jubilejní 40. konference DIAGO. Nejen, že se po letech izolace opět sejdem, ale bude se jednat i o konferenci volební, na které, jak nám velí stanovy zapsaného spolku, zvolíme nové vedení a přejdeme z režimu „dočasný“ do režimu plně funkční. Asociaci čeká nejen výše popsaná výzva, ale též řada dalších úkolů, které se během času nashromáždily. Tak přijďte na konferenci a buďte u toho.

Vám čtenářům se nyní dostává k rukám vydání časopisu, které není tematicky vyhraněné. Minulé číslo se věnovalo elektro- a termodiagnostice a dnešní témata rovnoměrně pokrývají všechny oblasti technické diagnostiky. Vážím se všech autorů, a tímto jim chci poděkovat, kteří uveřejnili svoje články a propagují tak naše společné téma a především na praktických příkladech ukazují význam údržby strojů a technické diagnostiky. Věřím, že složitá situace našeho průmyslu, energetická krize a vysoká inflace najdou rychlé řešení a v nastávajících změnách se význam údržby ještě více podtrhne.

Ještě jednou děkuji autorům článků v tomto vydání, děkuji čtenářkám a čtenářům časopisu Technická diagnostika a též všem kolegyním a kolegům z ATD ČR za to, že časopis přežil všechny nepříjemné události, které nás v minulosti potkaly. Přeji všem čtenářům časopisu, všem členům asociace a všem příznivcům myšlenek technické diagnostiky mnoho zdraví a osobních i pracovních úspěchů v roce 2023 a společně s vámi všemi věřím, že rok 2023 bude po všech stránkách lepší, než rok 2022.



Pavel Němeček  
víceprezident ATD ČR, z.s.

ŠÉFREDAKTOR:  
ZÁSTUPCE ŠÉFREDAKTORA:  
GRAFICKÁ ÚPRAVA:  
REDAKČNÍ RADA:

ING. DANIEL ZUTH, PH.D.  
ING. LADISLAV HRABEC, PH.D.  
JÍŘÍ RATAJ  
DR HAB. INŽ. WITOLD BIALY  
ING. MARTIN HOLEK, PH.D.  
PROF. ING. VÁCLAV LEGÁT, DRSC.  
DOC. ING. VIERA PEŤKOVÁ, PHD.  
ING. FRANTIŠEK VDOLČEK, CSC.

VYDAVATEL:

ASOCIACE TECHNICKÝCH  
DIAGNOSTIKŮ ČR, Z. S.  
VŠB-TU OSTRAVA  
17. LISTOPADU 15 / 2172  
708 33 OSTRAVA - PORUBA

VYCHÁZÍ:

MK ČR:  
ISSN:

2× ROČNĚ  
5 979  
1210-311X

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

ING. DANIEL ZUTH, PH.D.  
ING. LADISLAV HRABEC, PH.D.  
JÍŘÍ RATAJ  
DR HAB. INŽ. WITOLD BIALY  
ING. MARTIN HOLEK, PH.D.  
PROF. ING. VÁCLAV LEGÁT, DRSC.  
DOC. ING. VIERA PEŤKOVÁ, PHD.  
ING. FRANTIŠEK VDOLČEK, CSC.

PUBLISHER:

ASOCIACE TECHNICKÝCH  
DIAGNOSTIKŮ ČR, Z. S.  
VŠB-TU OSTRAVA  
17. LISTOPADU 15 / 2172  
708 33 OSTRAVA - PORUBA

VYCHÁZÍ:

MK ČR:  
ISSN:

2× ROČNĚ  
5 979  
1210-311X

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

# Recyklace provozních kapalin – chladicí kapaliny

## Recycling of operating fluids – coolants

ING. JAN SKOLIL, PH.D.

CLASSIC OIL S.R.O., BUŠTĚHRAD

### Úvod

Zatímco motorové oleje byly donedávna povinnou položkou, která se musela při podnikání na automobilovém trhu sbírat a likvidovat, zůstávají nemrznoucí směsi do chlazení stranou zájmu odpadového hospodářství a běžně „se ztrácejí“ při provozu nebo jsou vědomě po velkém naředění vodou vypouštěny do kanalizace. Pouze méně jak 5 % glykolu každoročně uvedeného na český trh nachází svůj legální osud ve spalovnách nebo ve fyzikálně-chemické úpravě na ČOV. Zbytek odpadů oficiálně neexistuje. Článek představuje, jak bylo v českých podmínkách uvedeno do praxe středoevropsky jedinečné zařízení na recyklaci chladicích kapalin.

### Abstract

*While engine oils were until recently a compulsory item that had to be collected and disposed of when doing business on the automotive market, antifreeze for cooling remains a secondary concern for waste management and is commonly „lost“ during operation or is deliberately discharged into the sewer after being heavily diluted with water. Only less than 5 % of the glycol placed on the Czech market each year finds its legal fate in incinerators or in physico-chemical treatment in WWTPs. The rest of the waste does not officially exist. The article presents how a unique Central European facility for recycling coolants was put into practice in the Czech Republic.*

V Evropě se ročně prodá okolo 450 000 tun koncentrovaných chladicích kapalin, přičemž polovina z tohoto množství připadá na osobní automobily a přibližně desetina pak je použita pro první plnění nově vyrobených vozů. [1] Pro Českou republiku nejsou tak přesná čísla k dispozici, ale odhaduje se, že ročně se na českém trhu prodá okolo 10 mil. litrů nemrznoucích směsí do chladiců [2], ačkoliv od doby výpočtu tohoto množství již

uběhla dvě desetiletí. Protože pro efektivnější přenos tepla či chladu v případě nemrznoucích směsí je nutné využít možnosti naředění vodou (na 33 až 50% roztok), celkový objem tekutiny, jejíž likvidaci je nutné ročně řešit, tak dosahuje až k 30 mil. litrům.

Uvedené množství platí za velmi zjednodušeného předpokladu, že stejné množství chladicí kapaliny, které se ročně prodá, se musí i zlikvidovat. Koloběh nemrznoucí tekutiny má však ve skutečnosti asi pětileté zdržení. Obvyklá výměnná lhůta ve vozidlech je 5 let (u starších vozů a nákladní techniky (autobusů) 2–3 roky), v otopných systémech pak činí obvykle 5–10 let. [3] Na druhou stranu je zřejmé, že s rostoucí životní úrovní v ČR přibývá jak automobilů, tak budov a průmyslových zařízení, která potřebují chlazení (topení) pomocí nemrznoucí směsi.

V silném kontrastu s informacemi uvedenými výše jsou pak data z databáze ISPOP Ministerstva životního prostředí, podle nichž se za posledních sedm let množství použitých chladicích kapalin (kód odpadů 16 01 14 N a 16 01 15 [4]) předané producenty k odborné likvidaci každoročně pohybuje v průměru okolo pouhých 1 000 tis. litrů! [5] Je ovšem nutné zdůraznit, že uvedená čísla představují výhradně vodné roztoky glykolů. Podíl odborně zlikvidovaných odpadních chladicích kapalin z celkové ročně prodaných nemrznoucích směsí (1 000 tun ku 30 000) tak dosahuje pouhých 3 %.

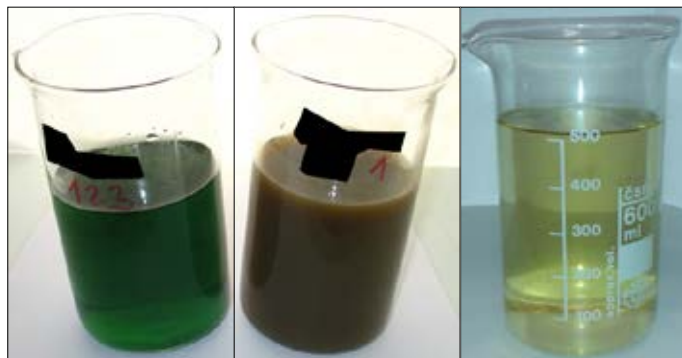
### 1. Současný stav recyklace glykolu

Aktuálně se cca 300 tun ročně u nás likviduje spalováním, k čemuž je nutný, vzhledem k nehořlavosti vodného roztoku glykolu (již od cca 10 % obsahu vody), přírůstek drahého paliva. O trochu větší množství (cca 500 tun) se alternativně po velkém naředění vodou likviduje na ČOV, což se dle zákona o odpadech nazývá eufemisticky fyzikálně-chemická úprava. [5]

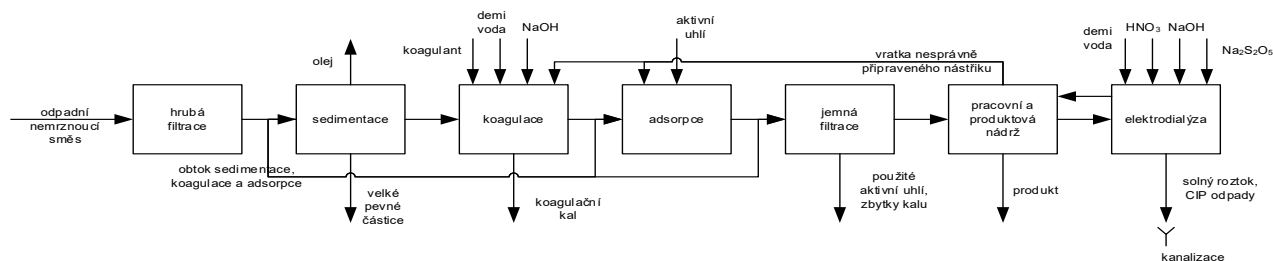
Současně možnosti recyklace použitých chladicích kapalin (viz Obr. 1.) na bázi glykolů jsou velmi široké. Alespoň orientační přehled je uveden v odborných člancích [6, 8, 9]. Velmi zjednodušeně řečeno je možné je rozdělit na metody vyžadující tepelnou energii (destilace, rektifikace) a technologie prováděné „za studena“ (iontová výměna, membránové procesy atd.), případně jde o kombinace obou technik.

V první variantě můžeme získat glykoly v téměř bezvodém stavu, navíc vícesytné alkoholy budou rozděleny dle svého bodu varu na jednotlivé chemické složky. Naproti tomu v druhém případě dostaneme vždy směs glykolů, pokud je ve směsi více druhů (ethylenglykol = MEG, propylenglykol = MPG nebo glycerol), a to v přibližně shodném poměru, v jakém do recyklace vstupovaly.

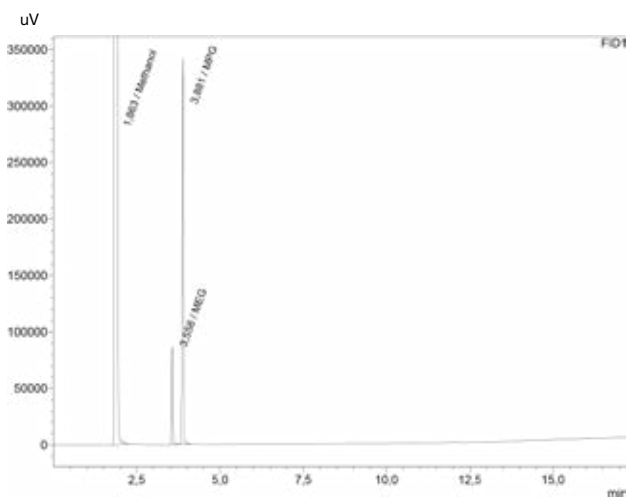
První typy technik jsou díky obrovské spotřebě energie a tím pádem vysokým provozním, ale i investičním nákladům při současné ceně ropy a energií bez vnější dotace nebo direktivního zásahu legislativy ekonomicky nenávratné. Naproti tomu druhé způsoby regenerace znemožňují díky přítomnosti vody další využití glykolu,



Obrázek 1: Vzhled použitých nemrznoucích směsí určených k likvidaci z osobního automobilu, autobusu a topného systému budovy. [7]



Obrázek 2: Jednotlivé kroky provozované technologie pro recyklaci odpadního glykolu. [7]



Obrázek 3: Příklad chromatogramu použité chladicí kapaliny po recyklaci.

např. pro výrobu PET obalů. Zároveň směsi alkoholů různých typů ve velkém naředění vodou omezují využití tohoto mixu glykolů pro výrobu nových jednodruhových chladicích kapalin v koncentrovaném stavu. Přesto se do tohoto typu bezohřevové recyklace pustil jeden z největších současných českých výrobců nemrznoucích směsí ve svém sídle v průmyslové zóně Kladno Dřín.

## 2. Nový způsob recyklace nemrznoucí směsí

Firma MemBrain, s. r. o., Stráž pod Ralskem s odbornou podporou firmy CLASSIC Oil, s. r. o. vyvinula technologii, která kombinuje několik různých procesů a přitom zavádí pár nových kroků. [7]

Recyklace MEG začíná hrubou sedimentací a filtrací sloužící k odstranění větších nečistot a olejů. Následuje koagulace, která eliminuje železo a další koloidy. K odstranění zbylých barviv a olejů slouží adsorpce na aktivním uhlí následovaná jemnou filtrací zbytků aktivního uhlí. Posledním

a nejdůležitějším krokem, je pak elektrodialýza odstraňující anorganické a organické soli, viz Obr. 2. [7]

Použitá technologie umožňuje využití kapalin za zenitem životnosti z topných systémů budov, solárních okruhů nebo tepelných čerpadel a samozřejmě také z tekutin chladicích systémů osobních nebo nákladních vozidel a autobusů (Obr. 1). Výsledkem je vždy přečištěný glykol, který vyhovuje normě ASTM D6471-10 pro kvalitu recyklovaného glykolu. [10] Kvalita recyklátu je také pravidelně ověřována na plynovém chromatografu (Obr. 3, methanol je rozpouštědlo), korozními zkouškami a analýzou čistoty.

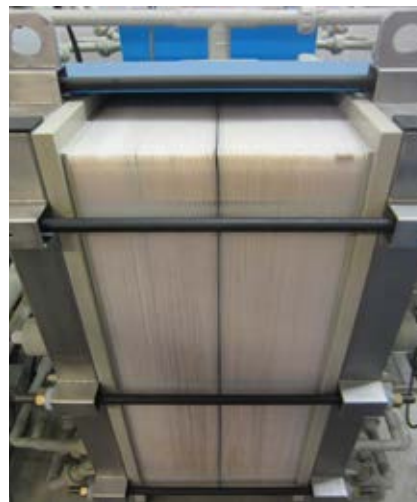
## 3. Aktuální recyklace glykolů na Kladně

Recyklační linka (Obr. 4) byla instalována začátkem roku 2017, povolení získala po téměř dvouletém martýriu na podzim téhož roku. V současnosti má díky vazbám výrobce na koncové zákazníky dostatek suroviny pro svoje přežití. Přesto by v případě nadbytku odpadu mohla svou kapacitu velmi snadno znásobit.

Bojuje však s některými překvapivými praktikami v odpadovém hospodářství na českém trhu. I když má původce zaplatit pouze náklady za dopravu odpadu, tak při zjištění, že by ho měla recyklace něco stát, najednou vodou ředitelný odpad vlastně už nemá. Ačkoliv zákon o odpadech jednoznačně



Obrázek 4a: Částečný pohled na recyklační zařízení po navýšení jeho kapacity



Obrázek 4b: Detailní pohled na membránový svazek.



Obrázek 5: Odpad po filtraci, koagulaci, aktivním uhlí a elektrodialýze.

upřednostňuje recyklaci před jakýmkoliv jiným nakládáním s odpadem.

Výjimkou v tomto ohledu nebyla donedávna ani naše největší automobilka, která nereflektovala na opakované nabídky recyklace, přestože je členem ČAOBH a deklaruje svůj pozitivní přístup k oběhovému hospodářství. Do loňského roku ji nezajímala nakonec ani vlastní cena za regeneraci odpadu. Teď se situace radikálně obrátila a středočeská automobilka má intenzivní zájem o prodej chladicí kapaliny vyrobené z recyklátu. Na Obr. 5 je pro dokreslení zobrazena postupná kroková přeměna přefiltrovaného glykolového odpadu na regenerovaný glykol, resp. surovinu s kvalitou panenské suroviny, vhodná pro výrobu nové nemrznoucí směsi pro chlazení motorů nebo temperaci budov, solárních kolektorů atd.

#### 4. Závěr

Recyklaci použitých nemrznoucích směsí na bázi glykolů se zaobírají chemické obory minimálně posledních 40 let. Přesto většina recyklačních zařízení měla donedávna v Evropě jepičí provozní život. Hlavními důvody byly zejména vysoké energetické nároky a snaha získat recyklovaný glykol kvalitou vhodný i pro jiné náročnější aplikace než jsou nemrznoucí směsí.

Uvedené nedostatky se snaží eliminovat nově používaná technologie na bázi elektrodialýzy. Nejtěžším oříškem pro její přežití ovšem není správná funkčnost jednotlivých prvků, ale zejména neadekvátní legislativní požadavky a pravděpodobně i neexistující společenská poptávka po regeneraci odpadu, neboť z ročně prodaného množství nemrznoucích směsí nejsou jako oficiální odpad k dispozici ani 3 % jejich vodných roztoků.

Že tato nová cesta v udržitelnosti těchto petrochemických produktů je ale správná, dokládá také současná ko-existence typově obdobných recyklačních technologií v Itálii, dvou ve Švédsku a minimálně tří v Německu.

#### 5. Literatura

[1] Upshi G.: New Engine Coolants Equal Opportunity.

*Lubes'n'Greases Europeanmiddle East-Africa*, 2013, no. 49, pp. 12 – 13.

- [2] Durdilová, P.: *Využití glykolu z použitých chladírenských směsí*. Praha, 1995, 95 s., Diplomová práce na fakultě chemické technologie VŠCHT v Praze. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Jiří Hanika, DrCSc.
- [3] Skolil J.: *Nemrznoucí chladicí kapaliny*. *Tribotechnika*, 2013, roč. 9, č. 5, s. 60 – 63. ISSN 1338-0524.
- [4] Příloha č. 1 k Vyhlášce Ministerstva životního prostředí č. 8/2021 Sb., ze dne 12. ledna 2021, o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů. In: *Sbírka zákonů*. 12. 1. 2021.
- [5] *Veřejný informační systém odpadového hospodářství* [databáze online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR. Dostupné z URL: <http://isoh.mzp.cz/visoh>.
- [6] Kizlink J., Frančovič K.: Možnosti využitia použitých chladicích nízkotuhnujúcich zmesí ako odpadov. *CHE-Magazín*, 2005, roč. 15, č. 6. s. 8 – 9.
- [7] Kinčl J., Kotala T., Kryžanovský M.: Technologie recyklace odpadních nemrznoucích směsí. *WasteForum*, 2015, č. 2, s. 71 – 74.
- [8] Hanika, J.; Durdilová, P.; Čapek, J.: Recyklace monoetylglykolu z použitých chladicích směsí. *Chemický průmysl*, 1996, č. 5, s. 21 – 23.
- [9] Schmidt E.: *Recycling used engine coolant, What every recycler needs to know*. NORA 2002 Annual recycling conference and trade show. [online]. [cit 01. 04. 2016]. Dostupné na: <http://www.eetcorp.com/corporate/RecyclingEngineCoolant.pdf>.
- [10] ASTM D6471 – 10, Standard Specification for Recycled Prediluted Aqueous Glycol Base Engine Coolant (50 Volume % Minimum) for Automobile and Light-Duty Service, <http://www.astm.org/Standards/D6471.htm>, 2010.

*Příspěvek prošel recenzním řízením.*

# OLEJ a VODA

## OIL and WATER

TOMÁŠ PROKOP

OMA CZ, A.S.

### Úvod

V průmyslové výrobě a pro naše účely tribodignostiky je vhodné sledovat tyto dvě kapaliny ze dvou hledisek. Buď jako nesmiřitelné odpůrce nebo jako dočasně stabilní směs.

Voda je, jak rád říkám, život ale vzhledem k výše uvedenému nebudu hovořit o vodě jako o životodárné kapalině či kolik zásob vodních zdrojů máme. Předem se také omlouvám, nebudu se věnovat výrobě elektrické energie a zejména té z jádra, protože to je kapitola sama o sobě.

Olej nebudeme řešit olivový, arašídový, dýňový, kokosový, konopný, lněný, mandlový, palmový, sezamový, slunečnicový nebo sójový. Bude řeč o starém dobrém minerálním oleji tedy na ropném základě.

### Abstract

*In industrial production and for our tribodignostics purposes, it is useful to look at these two fluids from two perspectives. Either as irreconcilable opposites or as a temporarily stable mixture.*

*Water is, as I like to say, life but in view of the above I will not discuss water as a life-giving fluid or how many water supplies we have. I also apologize in advance, I will not address power generation and especially that from nuclear power as that is a chapter in itself.*

*We are not going to deal with olive, peanut, pumpkin, coconut, hemp, flax, almond, palm, sesame, sunflower or soya oil. We will be talking about good old mineral oil, i.e. petroleum-based.*

### Voda jako problém

Voda v průmyslovém odvětví může způsobovat, jak si každý dobře uvědomuje, řadu problémů. Asi nejčastějším neduhem je koroze nebo tvorba úsad v podobě uhličitanu vápenatého na nejrůznějších místech. Jsme pak nuceni díky těmto dějům měnit konstrukční materiály, upravovat korozní prostředí, zavádět elektrochemickou ochranu či volit nějakou formu povrchové úpravy materiálu. Vzhledem ke snížení celkové tvrdosti vody a vodivosti uvažujeme také nad zavedením iontoměničů či reverzní osmózy.

### Voda jako pomocník

Voda má několik nesporných výhod. Zejména má velmi vysokou tzv. měrnou tepelnou kapacitu a funguje také jako vynikající rozpouštědlo. Voda disponuje jednou z největších tepelných kapacit mezi všemi látkami. Měrná tepelná kapacita vody je cca 4 200 J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>. U vzduchu je tato hodnota asi 1 000 J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup> a měrná tepelná kapacita minerálního oleje je cca 2 100 J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>. Tato hodnota nám pro náš účel vyjadřuje schopnost ochlazovat okolní prostředí díky absorpci tepla, aniž by se sama dramaticky ohřála. Díky své specifčnosti (tvorba vodíkových můstku v molekule) rozpouští voda hydrofilní,

polární látky plynné, kapalně i pevné fáze a vznikají tak vodné roztoky.

### Olej jako problém

Zde je velmi patrné riziko bezpečnosti. Tvorba olejové mlhy při obrábění materiálů, kluzká podlaha a úkapy, dýchací potíže při používání velmi lehkých olejových podílů. Riziko spojené s nevhodným výběrem oleje.

### Olej jako pomocník

Okřídlená věta zní: Kdo maže, ten jede. Olej nám obecně pomáhá tam kde chceme eliminovat neblahý efekt třecí síly nebo chceme vliv tření korigovat. Stejně jako voda je olej schopen ochlazování svého okolí a jak bylo řečeno výše, současně významně snižuje vliv třecí síly. Toto vše je samozřejmě závislé na tekutosti/viskozitě oleje a jeho dalších parametrech včetně zvolené výkonnosti úrovně.

### Voda a olej jako problém

Ano pokud neřídíme kontakt vody a oleje je výsledkem heterogenní směs dvou oddělených kapalin, které spolu interagovaly do té míry, kolik jim dovozovala vzájemná možnost saturace, aktuální teploty a mezifázového rozhraní. Olej i voda nejsou při takovém kontaktu schopny přenést své přednosti do výsledného spojení obou kapalin, ale naopak negativně ovlivní jedna druhou. Tuto záležitost nejčastěji vnímáme při proniknutí vody do hydraulického nebo turbínového oleje.

### Voda a olej jako pomocník

Pokud požadujeme, aby voda a olej využily svůj synergický potenciál musíme vytvořit emulzi. Emulze je tedy dočasně stabilní směs nemísitelných kapalin, například právě oleje a vody, která vzniká jemným rozdělením jedné fáze na velmi malé kapičky. Běžné emulze mohou být olej suspendovaný ve vodě nebo vodné fázi (o/w) nebo voda suspendovaná v oleji (w/o). Mohou existovat i složitější systémy, například olej ve vodě v oleji (o/w/o). Znamé potraviny ilustrují příklady: mléko je emulze oleje ve vodě; margarín je emulze vody v oleji; a zmrzlina je emulze oleje a vzduchu ve vodě i s pevnými částicemi ledu.

Většina emulzí vyžaduje použití funkčních chemických látek, tzv. emulgátorů, které stabilizují suspenzi malých kapiček a zabraňují jejich koalescenci nebo spojování za vzniku větších kapiček. Hnací silou koalescence je zmenšení mezifázové plochy, což snižuje termodynamickou energetickou hladinu systému. Emulgátory vytvářejí fyzikální bariéry, které zabraňují spojování kapiček.

Emulgátory jsou charakterizovány hydrofilně lipofilní rovnováhou (HLB), číslem od 1 do 20, které udává, která tendence je dominantnější. Hodnota HLB menší než 6 upřednostňuje emulze vody v oleji; hodnota větší než 8 upřednostňuje emulze oleje ve vodě. Hodnoty 7–9 označují dobrá smáčedla.

Kromě emulgátorů patří mezi další faktory, které ovlivňují stabilitu emulzí, viskozita kontinuální fáze (vyšší je lepší), velikost kapek (menší je lepší, obvykle 1–10 µm) a rozdíl hustot mezi oběma fázemi (menší rozdíl je lepší). Některé složky mohou ovlivnit viskozitu; hustoty jsou obvykle poměrně dobře fixovány; takže velikost kapek se stává jedinou proměnnou, kterou lze při zpracování manipulovat.

### Výroba emulze

Emulgace spočívá ve vytvoření malých kapiček a v tom, že jsou dostatečně obaleny vhodným emulgátorem. Vytvoření malých kapiček vyžaduje přidání energie k vytvoření velké mezifázové plochy. Například v kuchyni to může znamenat intenzivní šlehání mixérem.

Kromě správného dodání energie je rozhodující i pořadí přidávání složek. Správný postup je připravit nejprve kontinuální fázi včetně emulgátoru. Poté se za intenzivního míchání pomalu přidává disperzní fáze. Dobrým příkladem je majonéza. Teoreticky mohou být homogenní kuličky hustě zabaleny tak, aby zabíraly 74 % daného objemu. V majonéze může olej tvořit více než 74 % složení, což znamená, že zatímco je dispergovanou fází, kontinuální fázi tvoří tenký film kolem mnoha kapiček oleje. To také znamená, že vzhledem k tomu, že tradičním emulgátorem je vaječný žloutek, hrozí nebezpečí inverze směsi vlivem cholesterolu, pokud není míchání pečlivě kontrolováno. Konkrétně se olej musí přidávat pomalu, aby lecitin mohl důkladně obalit malé kapičky.

Vysoké nebo nízké teploty mohou emulze destabilizovat, proto se obvykle nezmrzájí. Nízké teploty mohou způsobit ztuhnutí tukové fáze, zatímco vysoké teploty mohou způsobit, že se kapičky energeticky srazí natolik, že dojde ke koalescenci.

### Praxe

V naší praxi se nejčastěji setkáváme s emulzemi pro obrábění kovů. Kapaliny pro obrábění kovů (MWF) jsou skupinou průmyslových kapalin, které se používají ke snižování teploty a/nebo mazání kovových obrobků při jejich obrábění. Při řezání a broušení může vznikat značné množství tepla a tření, což může způsobit nežádoucí termomechanické vedlejší účinky: pálení, deformace, kouř, drsnost povrchu, tepelné deformace atd. Pokud se obrobek spálí, může se stát nevhodným pro následné použití, zatímco zplodiny a kouř představují zdravotní riziko pro dýchací cesty pracovníků. Termomechanické nevýhody konvenčního obrábění kovů mohou představovat logistické zdravotní a bezpečnostní problémy, pokud nejsou řešeny.

### Formulace různých typů kapalin pro obrábění kovů (MWF)

MWF jsou složité receptury obsahující minerální (ropné) nebo organické oleje a řadu přísad a stabilizátorů, které mohou být emulgovány až z 50 % ve vodě.

Složení různých tříd MWF jsou jmenovitá a existuje mnoho různých složek, které mohou být při formulaci zavedeny za účelem zlepšení funkčnosti a stability výrobku. Patří mezi ně mimo jiné látky proti mlžení, protipěnové látky, biocidy, inhibitory koroze, dispergátory, stabilizátory atd. K dosažení

požadovaných vlastností konečného použití MWF, jako je optimální mazivost, může být zapotřebí až 20 různých složek. V mnoha případech může být požadováno více různých přísad ze stejné kategorie. To může způsobit množství problémů s kompatibilitou mezi základními kapalinami a přísadami nebo mezi přísadami samotnými.

### Problémy se stabilitou kapalin pro obrábění kovů

Obvykle se emulgované MWF připravují smícháním různých složení a individuálním posouzením účinků různých přísad. Tato metoda je sice užitečná při určování vlivu jednotlivých složek na funkčnost a stabilitu, ale časově náročná a nákladná.

Problémy s chemickou a fyzikální nestabilitou v MWF mohou snížit výkonnost a nepříznivě ovlivnit kvalitu výrobku a existuje nespočet destabilizačních jevů, které je mohou ovlivnit: koalescence olejových kapek, rozpad emulze, pění, separace fází atd. Ačkoli základními faktory destabilizace jsou složení emulze a afinita složek, rozhodující roli při rozpadu koloidů hraje také vnější síla. Síla čerpání může urychlit mechanickou nestabilitu, což znamená, že výrobky se v podmínkách reálného použití destabilizují rychleji. Tato vlastnost přímo souvisí s účinností MWF.

### Typy obráběcích kapalin

Kapaliny pro obrábění kovů na bázi vody (MWF) se obvykle prodávají jako koncentráty, které koncoví uživatelé ředí vodou. Používají se tři alternativní typy koncentrátů. První typ je založen na běžných rozpustných olejích, což je směs oleje a aditiv s vyšším podílem oleje. Další, tzv. syntetický typ, se skládá z vody a přísad v poměru 2:1.

Třetím typem koncentrátů jsou polosyntetické emulze, které se skládají ze zhruba stejných dílů oleje, vody a přísad. Polosyntetické emulze jsou stále oblíbenější, protože se ukázalo, že jsou velmi stabilní po delší dobu, zejména pokud se ředění a doplňování provádí demineralizovanou vodou (DEMI) nebo vodou s reverzní osmózou (RO), což výrazně zpomaluje nárůst tvrdosti vody v chladicím systému.

### Problémy s emulzemi – Bakterie

Jak bylo uvedeno výše – voda je život. Určitou přirozeností je tedy tvorba bakterií. Bakterie jsou velkou skupinou jednobuněčných organismů o délce několika mikrometrů (mikrometr se rovná jedné miliontině metru). Na Zemi jich jsou známy tisíce druhů, které jsou schopny kolonizovat jakékoli prostředí, a to znamená, že bakterie se podílejí na většině biomasy planety.

Pro své přežití jsou bakterie, stejně jako všechny živé druhy, závislé na zdrojích energie, jako je světlo nebo chemické látky, a na dostupnosti živin, především uhlíku, nezbytných pro jejich metabolismus.

Pro jejich optimální rozmnožování jsou však klíčové tři parametry. Úroveň pH, teplota a především kyslík, který představuje klíčový rozlišovací znak pro identifikaci dvou velkých kategorií: aerobních bakterií, které ke svému metabolismu kyslík potřebují, a anaerobních bakterií, které ho naopak nepotřebují.



Mezi anaerobní bakterie patří například bakterie redukující síru (SRB), které vytvářejí typický zápach zkažených vajec a mohou způsobovat tmavé skvrny na průmyslových strojích a obráběných dílech. Dalšími typy v chladicích kapalinách velmi běžných anaerobních bakterií jsou *Escherichia coli*, která se běžně vyskytuje ve střevech, *Bacillus cereus*, rozšířený v půdě, a *Clostridium* sp, všudypřítomný a schopný vytvářet spory.

Z aerobních je třeba zmínit *Pseudomonas oleovorans*, který je nejčastější v chladicích kapalinách, *Staphylococcus* sp, potenciálně patogenního, a konečně *Achromobacter* sp, velmi častý ve vodách.

### Problémy s emulzemi – Růst a šíření bakterií

V ideálních podmínkách bakterie rostou v počtu, přičemž se každých 10–20 minut duplikují a následují exponenciální růst, dokud nedosáhnou tzv. plató, tedy maximální udržitelné hustoty populace. Za touto hranicí dochází k pomalému poklesu (hladovění) počtu jednotek. Bakterie, které vidí, že jejich množení je ohroženo, tak aktivují řadu mechanismů.

Jedním z těchto mechanismů je produkce spor, v případě bakterií vytvářejících spory. Tvorba rezistentních spor umožňuje mnoha druhům bakterií odolávat extrémním podmínkám prostředí, zatímco čekají na dosažení lepších podmínek.

### Problémy s emulzemi – Tvorba biofilmu

Další strategií, kterou mohou mnohé druhy bakterií uplatňovat, aby se mohly dále množit a zároveň se chránit před vnějším prostředím, jsou biofilmy: biofilmy vznikají, když se malý počet bakterií přichytí na substrát, jako je vnitřní strana stroje nebo potrubí, a podaří se jim nerušeně odolávat, a začnou se shlukovat. První kolonizující jedinci začnou produkovat zvláštní buněčné mediátory neboli specifické molekuly používané jako komunikační jazyk, které podporují uvolňování velkého množství polymerů na bázi polysacharidů. To postupně umožňuje přilnutí dalších mikroorganismů, které časem vytvoří velmi odolnou komplexní strukturu.

Tento film vytváří základ, v němž často koexistují různé druhy mikroorganismů, které spojené dohromady vytvářejí vysoce stabilní konglomerát, jímž je obtížné proniknout.

Spolupráce různých druhů bakterií v rámci biofilmu podmiňuje projevy zvláštních vlastností samotných druhů tvořících biofilm, což vede k větší odolnosti jedinců vůči biocidům a detergentům.

V dalších článcích budou rozebrány důvody, proč jsou biofilmy vážným problémem v provozech na zpracování kovů: musí být fyzicky odstraněny vyprázdněním systémů a otevřením strojů a navíc většina baktericidů používaných k ošetření emulzí obtížně proniká do těchto biofilmů.

### Problémy s emulzemi – Biodegradace emulzí

Vodné emulze používané při obrábění kovů se obvykle připravují přidáním nejrůznějších chemických látek do minerálně-olejového základu, jako jsou mýdla mastných kyselin, sulfonáty, amidy, aminy, estery, neiontové povrchově aktivní látky zvané ethoxylované alkoholy, mazací přísady na bázi síry a fosforu a další sloučeniny.

Mnohé z těchto látek jsou živinami pro mikroorganismy jako zdroje uhlíku a dalších prvků. Současně existují další faktory, které působí jako kontaminanty: odpadní oleje z obráběcích strojů (tzv. ztrátové oleje) ovlivňující procesy, znečišťující látky jak ze zpracovávaných materiálů, tak z okolního prostředí, a dokonce i voda použitá k přípravě samotné emulze.

Tyto znečišťující látky, kromě toho, že jsou spouštěčem kontaminace mikroorganismů, jim mohou poskytovat další výživu.

### Problémy s emulzemi – Vliv na výkon emulze

Činnost mikrobů může ovlivnit výkonnost vodních roztoků několika způsoby. Povrchově aktivní látky a estery jsou degradovány na kyseliny, což způsobuje pění, tvorbu kaše a oddělování emulze. Tvorba kyselin vede k poklesu pH, což následně způsobuje výrazné snížení antikoroziční účinnosti, a tím i korozivní jevy na železných materiálech. Pokles pH rovněž snižuje biologickou stabilitu výrobku tím, že urychluje množení mikroorganismů. Degradace mazacích přísad proti opotřebení a takzvaných EP (Extreme Pressure) přísad snižuje řezné schopnosti emulze, což vede ke snížení životnosti nástroje a nepřijatelné povrchové úpravě. Degradace inhibitorů kovů může způsobit zbarvení a zbytky na neželezných materiálech (slitiny hliníku, mědi atd.), čímž se stávají nevhodnými pro obchod.

### Vliv na pracovní prostředí

Emulze nejsou nikdy zcela sterilní a minimální mikrobiální aktivita je přítomna zčady, ale pokud dosáhne obzvláště významných hodnot, prvním a nejzřetelnějším příznakem je jistě zápach, jaký lze nalézt v provozech v pondělí ráno po dvou dnech nečinnosti strojů.

Viníkem tohoto nepříjemného zápachu je metabolismus mikrobů, při kterém vznikají látky jako kyseliny a aldehydy. Mezi tyto vedlejší produkty patří sulfan/sirovodík, který poznáte podle charakteristického zápachu zkažených vajec. Tyto plyny se hromadí během odstávek a uvolňují se z emulze při opětovném spuštění recirkulace.

Přítomnost slizovitých zbytků v systému nebo ve filtrech je také jasným ukazatelem mikrobiologické aktivity: může se jednat o bakteriální biofilmy nebo houby.

Je důležité odstranit z povrchu emulze olej, pokud je přítomen, protože kromě toho, že působí jako živina pro mikroorganismy, zabraňuje oxysličování tím, že podporuje činnost anaerobních bakterií.

V neposlední řadě je třeba mít na paměti zdravotní rizika plynoucí z biologického rozkladu, mezi něž patří infekce, reakce na toxiny a senzibilizace (neboli alergické reakce), přičemž tato rizika se výrazně zvyšují tam, kde se nacházejí nesprávně ošetřené rány, jako jsou řezné rány a odřenyiny.

### Sledování podmínek

Vzhledem k uvedenému je nanejvýš důležité sledovat jak koncentraci a pH, které je relativně snadné kontrolovat, tak i vodivost emulze, alkalickou rezervu, tendenci k pění a tvorbu bakterií či plísní.

*Příspěvek prošel recenzním řízením.*

# Normativní úprava ustavování rotačních strojů na obzoru?

## Shaft alignment technical standard coming?

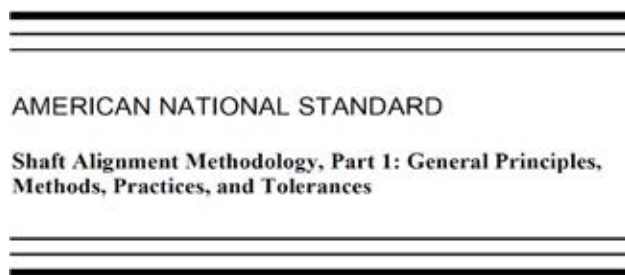
MGR. MAREK ŠEREMETA  
LAMI KAPPA, SPOL. S R.O.

### Anotace:

Text je věnován technické normě ANSI/ASA S2.75-2017-Part 1, která je platná v USA a určitým způsobem upravuje pravidla a postupy v oblasti ustavování rotačních strojů. Cílem článku je upozornit na některé zajímavé, podstatné a osvědčené postupy, nikoliv – vzhledem k jejímu rozsahu - detailně informovat o celém obsahu normy.

### Annotation:

*The article focuses on the technical standard ANSI/ASA S2.75-2017-Part 1 approved in the USA that regulates to the certain extend the procedures related to the shaft alignment of the rotating machinery. The aim of the article is to highlight some interesting, important and proven practical steps, not to describe – due to its scope – the complete standard in detail.*



Obrázek 1: Hlavička normy ANSI-ASA-S2.75

Na rozdíl od vibrodiagnostiky, vyvažování, termodiagnostiky nebo tribodiagnostiky je zatím oblast ustavování/souososti rotačních strojů mimo pozornost normotvůrců. Literatura na toto téma existuje, výukové materiály také, stejně tak obecné doporučené tolerance pro ustavení rotačních strojů z dílny výrobců laserových přístrojů. Dokonce i některé výrobní firmy mají své vnitropodnikové předpisy věnované problematice ustavování. Avšak obecná evropská/česká technická norma věnovaná ustavování rotačních strojů zatím vytvořena nebyla.

Nicméně před několika lety byla v USA přijata norma ANSI/ASA S2.75-2017-Part 1, která se obecně věnuje právě problematice ustavování a může nám v Evropě sloužit jako zdroj inspirace pro řešení běžných problémů při ustavování, jako možnost

### Poznámka:

*Informace uvedené dále v tomto článku jsou čistě informativní, nekladou si nárok na úplnost a přesnost a jejich výběr je – vzhledem k rozsahu normy – subjektivním rozhodnutím autora. Nižší uvedené postupy a doporučení nelze automaticky aplikovat na všechny případy ustavování, vždy se musí postupovat s přihlédnutím ke konkrétním okolnostem (bezpečnostním, technickým, časovým, finančním a dalším) a podle nejlepších dostupných technik.*

porovnání našich a zámořských osvědčených postupů, případně jako potvrzení toho, že pracovníci údržby řeší tady i tam v oblasti souososti rotačních strojů podobné věci.

### Základní informace o normě ANSI/ASA S2.75-2017-Part 1:

- vydána Acoustics Society of America (Committee S2 – Mechanical vibration and shock) prostřednictvím American Institute of Physics po schválení American National Standards Institute
- z roku 2017
- nezávazná (i v USA)
- nemá ekvivalent v ISO normách (alespoň zatím – viz dále)
- není k dispozici v českém jazyce
- norma bere v úvahu ustavování nejen pomocí laserových systémů (nejrozšířenější), ale také jinými metodami (číselníkové indikátory, průměrná pravítka atd.)

### Technická působnost normy:

- norma se vztahuje na ustavování dvou horizontálních strojů s celkem 4 ložisky a dvěma rotujícími hřídeli
- norma se nevztahuje na vertikální stroje, soustrojí 3 a více strojů, velké a hmotné stroje s významným průhybem hřídele, stroje s kardanem, stroje se třemi ložisky (diesel gensety), na stroje s tuhou spojkou a na ustavování otvorů
- principy této normy mohou být (ve smyslu „dobrovolně“ a „možná“) použity i na výše uvedené konfigurace

### Obecná doporučení:

- tam, kde to dává smysl, by mělo být měřeno:
  - a) rovinnost a vodorovnost základu/frémy
  - b) házivost hřídele a spojky
  - c) pnutí potrubí a kabelů
  - d) volná patka
  - e) rozdíl vzájemné polohy os rotace hřídelů strojů v klidu a za provozních podmínek (offline to running machinery movement - OLTR)
  - f) souosost os rotací hřídelů strojů
- doporučuje se ustavovat všechny rotační stroje
- stroje nově instalované stroje s výkonem přes 3,75 kW musí být odpovídajícím způsobem ustaveny
- po každém povolení kotevnicích šroubů by mělo být ustavení přeměřeno před spuštěním stroje
- při nadměrném opotřebení nebo vibracích stroje by nesouosost měla být zvažována jako příčina nebo jedna z příčin

- opotřebení nebo závady na stroji by měly být opraveny před jeho ustavováním
- vibrace přenášené na ustavovaný stroj mohou mít negativní vliv na měření

#### Doporučení týkající se přímo měření:

- ideálně by se mělo měřit s oběma hřídeli otočnými a rozpojenou spojku. Jako druhé v pořadí se spojenou spojku. Jako třetí v pořadí je jen jeden otočný hřídel. Jako nejméně žádoucí jsou oba hřídele neotočné
- měření by mělo být opakovatelné. Opakovatelnost by měla být kontrolována u výchozího a koncového měření
- u výchozího měření při větší nesouososti je žádoucí odchylka méně než 10 %. Následující měření by měla mít opakovatelnost okolo 0,03 mm
- během koncového měření by opakovatelnost měla být lepší než 0,03 mm
- stroj a měřicí systém může během prvního měření vykazovat určitou hysterezi. Proto se doporučuje nebrat první měření v úvahu
- spojení hřídelů při velké nesouososti může způsobit jinou než správnou pozici hřídele v (kluzném) ložisku nebo ohnutí hřídele (u valivých ložisek) nebo nežádoucí axiální pohyb hřídele(ů)

#### Doporučení týkající se pohybu se strojem při nastavování požadované souososti:

- velikost plochy použitých podložek by neměla být menší než je 80 % plochy patky, pod kterou mají být umístěny
- pod patku by se nemělo vkládat více než 5 podložek (bez započtení podložek pro korekci volné patky). Ne více než jedna z těchto podložek by měla být tenčí než 0,08 mm. Součet tloušťky tří nejtenčích podložek by měl být minimálně 0,25 mm
- test na volnou patku by měl být proveden na začátku a také na konci ustavování. Tolerance pro volnou patku je 50  $\mu\text{m}$  (tedy 0,05 mm)
- doporučená praxe při utahování kotevních šroubů je sledovat, zda-li má utahování vliv na polohu hřídele
- pokud ano, tak se má utahovat vždy ve stejném pořadí, stejnou osobou, křížem, se stejnou silou
- tam kde je specifikován určitý moment, tak se má utahovat na tento moment
- omezení pohybu stroje na kotevních šroubech nebo na základu – preferovaným řešením je pohyb obou strojů
- pouze pokud pohybem žádným strojem nelze vyřešit, tak by se mělo přistoupit na zvětšení děr, podtočení šroubů, úpravy frémy apod.
- provádění a měření pohybu strojem – zvedací anebo odtlačné šrouby jsou možné. Pro měření pohybu lze použít číselníkové indikátory nebo laserový systém



Obrázek 2: Krátká pružná spojka, Úhel a radiál Obrázek 3: Vložená hřídel, Úhly  $\alpha$  a  $\beta$

- odtlačné šrouby by měly být po utažení kotevních šroubů povoleny
- axiální mezera na spojce – musí být nastavena podle pokynů výrobce spojky a výrobce stroje podle toho, co je více limitující
- správná velikost axiální mezery má být ověřena na konci ustavování

#### Tolerance pro ustavení:

- tolerance pro ustavení – jsou zpracovány pro krátkou pružnou spojku ve formátu radiál/úhel a pro vloženou hřídel ve formátu úhel A/B
- tolerance jsou definovány ve třech stupních kvality (minimální, standardní, přesné)
- při posuzování ustavení podle tolerancí musí být vzat v úvahu případný vzájemný pohyb strojů za klidu vs za provozu (OLTR hodnoty)

#### Dokumentace ustavení:

- dokumentace – konečný stav by měl být dokumentován ve formě trvalého záznamu (protokolu), který by měl obsahovat (tam, kde je to přiměřené) následující údaje:
  - a) identifikaci stroje a místa
  - b) datum
  - c) přístroj a metodu použitou při ustavování
  - d) osobu, která ustavení provedla
  - e) požadované tolerance
  - f) OLTR data
  - g) rovinnost a vodorovnost základu / frémy
  - h) házivost hřídele anebo spojky
  - i) pnutí potrubí / kabelu / stroje
  - j) výsledky měření volné patky
  - k) výchozí (ne)ustavení
  - l) konečné ustavení
  - m) konečnou axiální mezery
  - n) údaje z vizuální prohlídky stroje
  - o) prohlášení o souladu s touto normou

#### Vybavení používané pro ustavování:

- u číselníkových úchylkoměrů, spároměrek a průměrných pravítek nemusí být pravidelně kontrolována jejich přesnost. Úchylkoměry by nicméně měly pracovat volně
- mikrometry a odpichy vyžadují pravidelnou kontrolu
- asery, elektronické a optické systémy musí být periodicky ověřovány vůči referenčnímu standardu podle doporučení výrobce

### Doplňující informace:

- normu ANSI/ASA S2.75-2017-Part 1 lze zakoupit přes internet
- aktuální cena činí 150,00 USD, tzn. cca 3 750,00 Kč
- norma nesmí být reprodukována bez předchozího písemného souhlasu vydavatele
- norma ANSI/ASA S2.75-2017-Part 1 byla revidována v roce 2020
- existují také Část 2 (Part 2) této normy – Terminologie ustavování (anglická) z roku 2017 (revize 2020) a Část 3 (Part 3) – Ustavování vertikálních strojů z roku 2021 (publikováno 2022).

### Závěr:

Jak bylo řečeno v úvodu tohoto článku, tak norma ANSI/ASA S2.75-2017-Part 1 je nezávazná i v zemi svého původu a tedy pro nás v Evropě může sloužit jen jako čistě informativní zdroj, nicméně podle kuloárně dostupných a neověřených informací se zvažuje její transpozice v určitém rozsahu do oblasti ISO norem. Předpokládaný časový horizont je v řádu několika let.

### Literatura

- [1] Norma ANSI/ASA S2.75-2017-Part 1 (2017), originální znění v anglickém jazyce
- [2] Materiály LAMI KAPPA

*Příspěvek prošel recenzním řízením.*

## Akademie údržby – úspěšný start pro vzdělávání v údržbě

**První účastníci absolvovali pilotní lekce nového on-line kurzu, který přibližuje moderní údržbu běžné praxi. Potvrzují pak, že vhodně volená témata nastavují pracovníky v údržbě na nová témata, která jsou pro moderní údržbu potřeba.**

Daleko lépe pak mohou vyhodnotit potenciál vlastní údržby i potřebu individuálního vzdělávání, které dále Česká společnost pro údržbu umí nabídnout. Využijte akční nabídky kurzu a nastartujte vzdělání vašich pracovníků údržby ještě dnes z pohodlí vašich továren.

### Co je to akademie údržby?

Česká společnost pro údržbu je už více než 20 let studnicí inspirace a znalostí na poli české průmyslové údržby. Vše o průmyslu na druhou stranu zastupuje projekt, který hledá cesty, jak tyto informace efektivně doručit k cílové skupině. Akademie údržby je kurz, který vznikl spojením sil těch, jimž není osud průmyslové údržby lhostejný.

Nešetřete na údržbě, nešetřete na vzdělávání... Tento krok se nevyplatí.

Kurz Akademie údržby jsme připravili s nejvyšší možnou kvalitou obsahu i se špičkovou formou zpracování. Cílem je předat důležité informace, které povedou k pochopení moderního přístupu k průmyslové údržbě pro všechny, kteří mají zájem obor posouvat dál.

### Obsah tvoří odborníci

Česká společnost pro údržbu je hlavním obsahovým garantem náplně kurzu i jeho budoucích rozšíření. Tímto krokem se ČSPÚ podílí na zvyšování úrovně průmyslové údržby a navazuje tím na vlastní školení i aktivní služby pro firmy.

### Úvodní nastavení kurzu

Koupí kurzu získáte přístup ke čtyřem úvodním exkluzivním lekcím, které mapují moderní přístup k údržbě. Bonusem ke každému přístupu jsou záznamy vybraných

podcastů, on-line konferencí a dalšího zajímavého obsahu z údržby. V kapitolách se seznámíte s tématy:

- Od prevence k predikci
- Audit údržby
- Správa majetku
- Analýza ztrát a rizik

### Jak získat licenci kurzu

V současné chvíli funguje kurz v pilotním režimu a nabízí dva druhy předplatného. V obou případech získáte přístup k dostupnému obsahu, ale liší se budoucí využití kurzu:

#### 1. Zkušební verze kurzu

- Obsah dostupný pouze do 1. února 2023
- Bez možnosti zisku certifikace
- Bez garance dalšího obsahu
- 50% sleva na kurz

#### 2. Plná verze kurzu

- Licence platná minimálně do září 2023
- Přímý vliv na vývoj aplikace formou připomínkových skupin
- Bonusový obsah, včetně záznamu Fóra údržby (2. února 2023 v Praze) + příslib nových lekcí
- Možnost získání certifikace pro každou licenci (dostupné v roce 2023 i zpětně)
- Možnost nákupu většího počtu licencí za zvýhodněnou cenu

Více informací i nákup licencí je dostupný na [www.akademieudrby.cz](http://www.akademieudrby.cz), nebo zašlete individuální poptávku na [seminare@trademedia.cz](mailto:seminare@trademedia.cz).



# Využití multiparametrické diagnostiky v praxi pro odhalování příčin poruch strojního zařízení

## *The use of multiparametric diagnostics in practice for the detection of causes of machinery failures*

ING. PETR NAHODIL, **ELVITED NAHODIL**  
 DOC. ING. MILOŠ HAMMER, CSC., **VUT FSI UAI BRNO**

### Anotace:

Diagnostika strojních zařízení v praxi pro odhalování příčin poruch je v poslední době stále náročnější, neboť tato zařízení jsou složitější z hlediska konstrukce a čím dál častějšího využívání moderních frekvenčních měničů pro jejich řízení. Dnešní diagnostik musí při řešení závad a problémů s těmito stroji mít dobrý přehled o diagnostických metodách z různých oborů a tyto metody umět prakticky využívat. Dále je nutné znát konstrukci a funkci stroje jak po stránce mechanické, tak po stránce elektrické, a to včetně vlivů, které mohou dopadat na funkčnost a provozuschopnost stroje. Z uvedeného je zřejmé, že diagnostika strojních zařízení je složitá a předpokládá rozsáhlé znalosti výše uvedené. Rovněž je nutné vyvíjet, verifikovat a zavádět nové přístupy, metodiky a metody. O tomto pojednává předkládaný článek, který je zaměřen na multiparametrickou diagnostiku.

### Annotation:

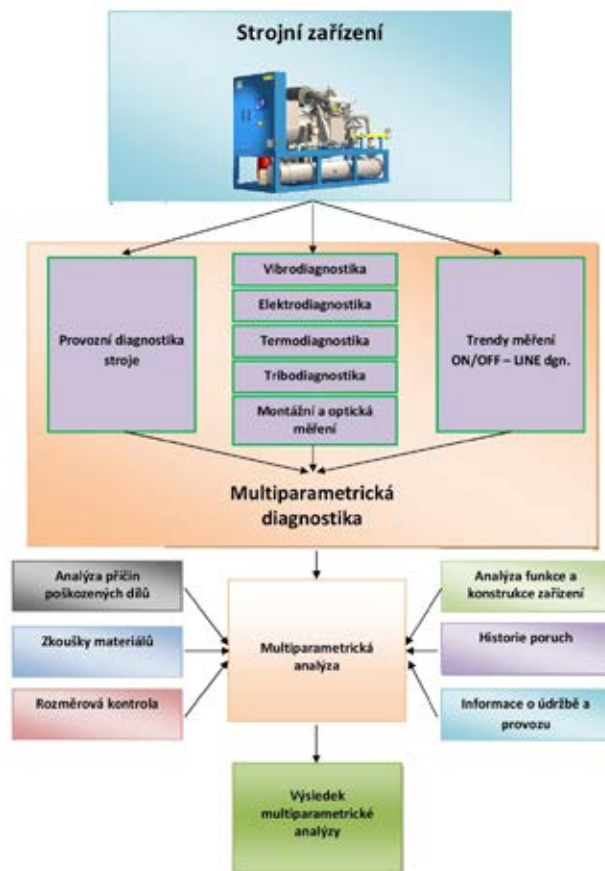
*Diagnostics of machinery in practice for detecting the causes of failures is recently becoming more and more demanding, as these devices are more complex in terms of design and the increasing use of modern frequency converters for their control. Today's diagnostician must have a good understanding of diagnostic methods from various disciplines and be able to use these methods in practice when troubleshooting these machines. In addition, it is necessary to know the design and function of the machine both mechanically and electrically, including the influences that can affect the functionality and operability of the machine. It is clear from the above that the diagnosis of machinery is complex and requires extensive knowledge of the above. It is also necessary to develop, verify and implement new approaches, methodologies and methods. This is the subject of the present paper, which focuses on multiparametric diagnostics.*

Na obr. 1 je znázorněn obecný postup nasazení multiparametrické diagnostiky v praxi pro odhalování příčin poruch strojního zařízení, kdy výsledky z provedené multiparametrické diagnostiky společně s výsledky různých analýz, poznatků z historie stroje a z údržby, znalosti funkce a konstrukce analyzujeme pomocí různých metod. Výsledkem této analýzy je popis příčiny problému a následně návrh opatření k jeho odstranění a uvedení do bezporuchového stavu.

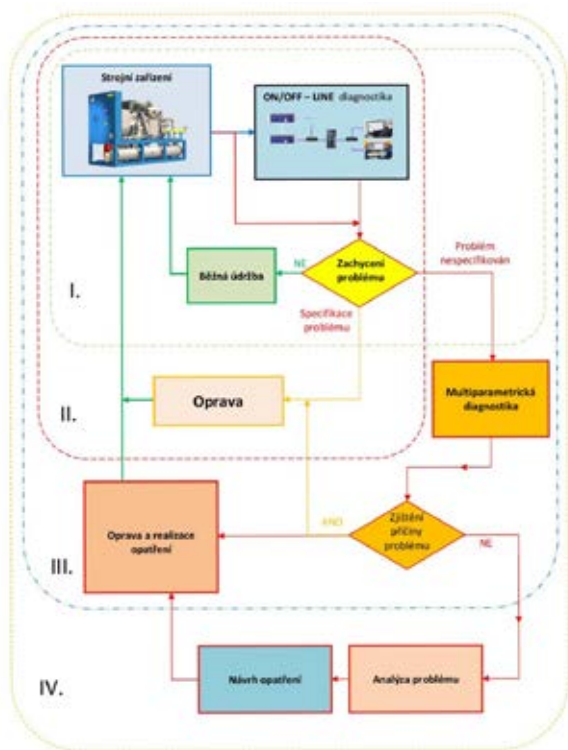
### Obecné pojednání o multiparametrickém přístupu

Aby bylo možné důkladně analyzovat příčinu poruch stroje, nestačí jen provádět jednotlivá měření, která jsou hodnocena

dle příslušných norem, či jiných postupů, případně je sledován trend vývoje těchto hodnot, ale je nutné přistupovat k diagnostice strojů komplexně. Multiparametrickou diagnostikou strojů rozumíme analýzu a hodnocení výsledků měření více parametrů z jednotlivých diagnostických oborů jako je např. vibrodiagnostika, elektrodiagnostika apod., spojenou se sledováním dlouhodobých trendů hodnot ON/OFF-LINE diagnostiky. Analýzou a vzájemným propojením těchto směrů dostaneme diagnostický obraz o chování sledovaného zařízení, který dále slouží pro podrobnější analýzu příčin řešeného problému. V této části řešení jsou mimo jiné využity výsledky a poznatky z historie oprav, působení vnějších vlivů, rozboru příčin poškozených dílů, záznamů z údržby apod. Výsledkem tohoto snažení je návrh, respektive soubor návrhů opatření pro zlepšení provozu strojního zařízení, snížení počtu opako-



Obr. 1) Schéma multiparametrické diagnostiky



Obr. 2) Schéma procesu diagnostiky strojů

vaných poruch a prodloužení životnosti jak jednotlivých částí stroje, tak celého stroje.

Tam, kde je nutné sledovat stav stroje nepřetržitě, tzn. v rozsahu 7/24 (7 dní v týdnu, 24 hodin denně) je nasazována tzv. ON-LINE diagnostika. Sledování stavu strojního zařízení se provádí nepřetržitě pomocí trvale nainstalovaných senzorů v určitých časových úsecích (např. každých 30 sekund), kde naměřená data se ukládají do systému, ve kterém se i vyhodnocují. Použití ON-LINE diagnostiky se vyplácí tam, kde je nutné stav stroje nepřetržitě sledovat, sledovaný stroj je strategický pro provoz celé linky nebo firmy a porucha či havárie stroje by měla velké následky jak finanční, tak například výrobní z pohledu odstavení stroje. Oproti tomu OFF-LINE diagnostika se používá tam, kde je možné si dovolit sledovat zařízení v delších časových intervalech např. 1x za 14 dní, či měsíc. Tato diagnostika se používá u zařízeních, kde je nutné sledovat stav stroje, ale nehrozí bezprostřední riziko náhlého poškození stroje či výpadku celého zařízení. OFF-LINE diagnostika je většinou součástí prediktivní a proaktivní údržby.

Proces údržby ve spojení s multiparametrickou diagnostikou spočívá ve vhodném nastavení sledovaných parametrů ON/OFF-LINE diagnostiky. Snahou je eliminovat náročné provádění měření specialistou, které bývá velmi drahé a je nasazováno většinou tam, kde standardní metody diagnostiky obvykle selhávají nebo jsou neúplné a nevedou vždy k vyřešení daného problému.

Pokud je dobře nastaven proces ON/OFF-LINE diagnostiky včetně vhodného vytipování sledovaných parametrů a jejich

vyhodnocení v rámci nastaveného systému sběru dat, lze mnoho závad odhalit přímo z těchto měření. V předchozím diagramu na obr. 2 jsou znázorněny čtyři úrovně diagnostiky.

- I. úroveň sledování diagnostických parametrů pro běžnou údržbu strojů (lze například využít pro stanovení vhodné doby domazání ložisek, doplnění provozních náplní apod.)
- II. úroveň je taková, kdy je detekován poruchový stav, který lze řešit drobnou opravou a není potřeba detailnější rozbor či analýza sledovaných parametrů
- III. úroveň je stav, kdy je nutné provést detailnější multiparametrickou diagnostiku. Na základě analýzy této diagnostiky lze stanovit jednoduchá nápravná opatření včetně opravy a uvedení do bezporuchového stavu (závada na ložisku, nevyváženost ventilátoru apod.)
- IV. úroveň je stav, kdy je nutné pro stanovení příčiny využít všechny dostupné informace jak z provedené diagnostiky stroje, tak z historie oprav poruch, údržby, výsledky analýzy poškození části strojů (pohony, ložiska, spojky...), chemického rozboru materiálů, konstrukce stroje apod. Tato úroveň zjištění příčin a stanovení vhodných opatření bývá jak časově, tak finančně velmi náročná, a to i z hlediska sestavení řešitelského týmu odborníků v daném oboru. K této úrovni diagnostiky se přistupuje většinou u opakovaných problémů strojů, případně u sériových vad strojů a zařízení, nebo u složitých a speciálních zařízení, kde nestačí jedna metoda diagnostiky. Někteří výrobci a uživatelé již mluví o inovační rekonstrukci.

Abychom byli schopni provést a navrhnout detailní multiparametrickou analýzu strojního zařízení, je nutné znát funkci zařízení. Principem veškerých analýz je pochopení chování stroje tak, abychom mohli stanovit příčiny problémů a navrhnout vhodná opatření k jejich odstranění. Z tohoto důvodu se nelze omezit jen na jednu diagnostickou disciplínu, ale je nezbytné využít více dnes dostupných metod a oborů diagnostiky.

V dnešní době už nestačí jen provádět vibrodiagnostiku, měřit a sledovat hodnoty vibrací a porovnávat spektra, ale je nutné hledat vazby mezi vibracemi, napájecími proudy, termografickými poli, tribodiagnostikou a v neposlední řadě i dalšími metodami nedestruktivních zkoušek, či analýzou poškozených dílů stroje.

### Postup při řešení s využitím multiparametrické diagnostiky

Využití multiparametrické diagnostiky při sledování stavu stroje je velice důležité, tyto metody můžeme využít při všech úrovních diagnostiky včetně trendování měřených veličin. Jako jsou například teplota, rychlost a zrychlení vibrací, tlak v potrubí apod. a vyhodnocovat pouze nastavením alarmových a mezních hodnot jednotlivých parametrů pro signalizaci, nebo při on-line diagnostice, kdy pomocí inteligentních systémů a různých průběžně prováděných automatických výpočtů, jsme automaticky schopni detekovat přímo poruchy jednotlivých částí jako je například poškození ložiska, nevyváha ventilátoru apod. bez zásahu diagnostika.

Při řešení složitějších problémů s využitím multiparametrické diagnostiky obvykle postupujeme tak, že z diagnostikovaného stroje nasnímáme záznamy z měřících snímačů pomocí

vhodného datarecorderu tak, aby bylo možné tato nasbíraná data později analyzovat v postprocesingovém zpracování a provést vyhodnocení naměřených dat. Každý diagnostický obor nabízí několik diagnostických metod, které lze v rámci multiparametrické diagnostiky využít. Výhodou této metody je ta skutečnost, že data z různých diagnostických disciplín můžeme analyzovat adekvátním způsobem a můžeme mezi sebou provádět různá srovnání, či hledat určité společné znaky, které vedou ke stanovení příčiny problému, (cíleně vynecháváme zvýšení jistoty našeho rozhodnutí. Jsou známy práce, které se daným zvýšením jistoty rozhodnutí zabývaly, jedná se o jednotky procent ve srovnání s rozhodující diagnostickou metodou pro měřený objekt, ale je nutné si plně uvědomit, každé navýšení, byť o jednotky procent je navýšením jistoty určení se všemi představitelnými důsledky). Další nezanedbatelnou výhodou je ta skutečnost, že nastavení pro vyhodnocení nasbíraných dat lze operativně měnit, kombinovat a tím dále zpřesňovat výsledek analýzy. Tímto způsobem máme zajištěno, že při opakovaném měření vycházíme stále ze stejného zdroje dat a data nejsou v čase ovlivněna například změnou provozních podmínek apod. Velmi důležité pro tyto analýzy je, aby záznam nasnímaných surových dat byl dostatečně dlouhý, aby výpočty a zpracování datových souborů, které potřebujeme provádět, byly schopné zaznamenat dynamické změny, které se na sledovaném zařízení odehrávají.

Při řešení a analýze takto složitých problémů je nutné spojit výsledky multiparametrické diagnostiky s poznatky z historie stroje (jako je například počet vyskytujících se stejných závad, provozních parametrů, vlivu obsluhy apod), jeho údržby (poznatků z dřívějších oprav, apod), znalostí konstrukce a také s působením vnějších vlivů (například vliv vibrací sousedních strojů, bludné proudy atd.). Výsledkem analýzy je zjištění a definování příčiny problému (závady). Na základě tohoto zjištění jsme schopni lépe navrhnout vhodná opatření, která po jeho realizaci je nutné ověřit.

Nejspolehlivějším ověřením provedeného opatření je prodloužení životnosti zařízení, které potlačilo, případně zabránilo dalšímu opakování řešených poruch. Dalším ověřením je provést opakovanou multiparametrickou diagnostiku, která má za úkol provést porovnání sledovaných parametrů před opravou a po opravě.

### Technická a organizační příprava

#### • Definice problému

Na začátku každého řešení nějakého problému je nutné tento problém vyspecifikovat, popsat jednotlivé části problému které je nutné v rámci multiparametrické diagnostiky řešit. Definice problému může být zcela jednoduchá, jde o to, aby v dalších krocích této metody bylo jasné stanoveno, jaký problém se má řešit a jakého výsledku by mělo být dosaženo. Příklad definice může vypadat následovně: Problém: Soustrojí pohonu napájecího čerpadla, nízká životnost ložiska elektromotoru, hlučnost ložiska a jeho časté výměny.

#### • Stanovení postupu

Na základě specifikace problému a znalostí konstrukce stroje je třeba navrhnout diagnostické prostředky, metody a systém multiparametrického snímání dat. Nejprve je třeba

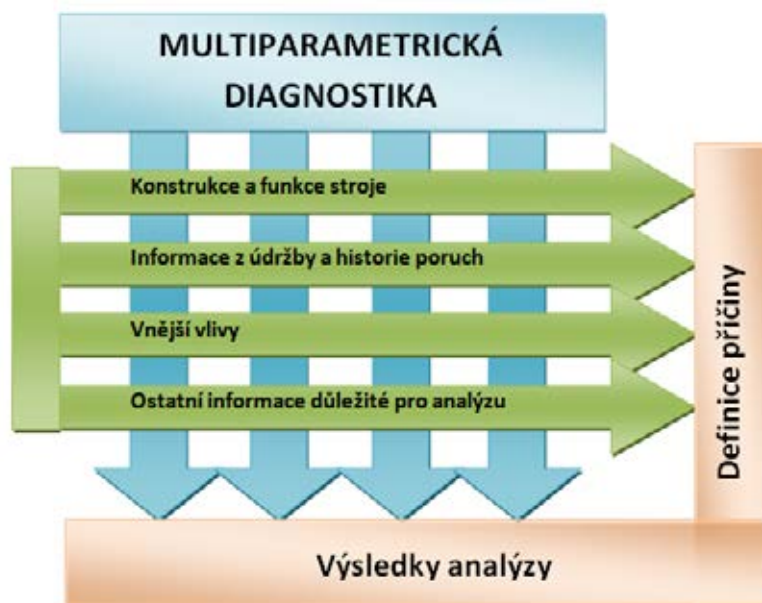
provést technický rozbor, kde je třeba popsat funkci stroje, mít k dispozici informace o údržbě strojního zařízení, historii oprav, informace od provozovatele jak zařízení používá (počet startů, počet motohodin za rok, zatížení apod.), případně zda jsou k dispozici záznamy z on-line měření (vibrace, sledování výkonu, teplot, průtoku apod.). Dále je třeba stanovit, jaké parametry jsme schopni měřit, měřící místa, měřící rozsahy a metody. Dále je třeba vzít v úvahu potřebnou délku a počet předchozích měření, abychom dostali požadovaný vzorek naměřených dat, bez nějakého případného domodelování potřebného počtu měření. Tuto délku měření stanovíme na základě funkce stroje, například pokud je třeba měřit parametry stroje od startu strojního zařízení při oteplování stroje až do doby, kdy teploty stroje jsou v ustáleném stavu. Dalším příkladem může být měření, kdy stroj má určitý pracovní cyklus, kde se například mění otáčky stroje, zatížení stroje apod.

Při návrhu diagnostických prostředků vycházíme z druhu a rozsahu měřících parametrů, předpokládaného množství zaznamenaných dat, vhodnosti použitých senzorů a výstupních parametrů z těchto senzorů apod.

### Multiparametrická diagnostika

V této části metodiky na základě stanoveného postupu měření provedeme multiparametrickou diagnostiku stroje. Abychom mohli z naměřených dat dostat maximum informací, při měření provádíme záznam snímaných dat pomocí vhodného záznamového zařízení, do kterého ukládáme digitalizované časové záznamy tak, abychom mohli tato data následně zpracovat a vyhodnotit. Záznam dat provádíme v určitém časovém úseku, do kterého se snažíme zaznamenat celý otáčkový rozsah od minimálních otáček do maximálních otáček, přechodové stavy případně celý pracovní cyklus strojního zařízení, kdy stroj pracuje v různých provozních režimech. Měření parametry, pokud máme dostatek měřících kanálů, je vhodné měřit a zaznamenávat paralelně. Pokud dostatek měřících kanálů nemáme a jsme omezeni pouze několika málo kanály, je nutné, abychom zvolili vhodné představitele měřících kanálů z vibrodiagnostiky, z elektrodiagnostiky, případně tlaku, teploty apod. a ty měřily současně, včetně daných provozních podmínek s účelem následného porovnání.

- **Vibrodiagnostika** – záznam hodnot vibrací.
- **Elektrodiagnostika** – záznam hodnot proudu, případně napětí.
- **Termodiagnostika** – záznam hodnot měřených teplot ve vybraných místech, případně časové termografické snímky.
- **Provozní měření** – záznam dat z provozních parametrů (průtok, výkon...).
- **Data z ON/OFF- LINE diagnostického zařízení** V mnoha aplikacích se provádí ON-LINE diagnostika zařízení. V rámci této diagnostiky jsou zaznamenávána snímaná data v různých časových intervalech, jako jsou například vibrace motoru a čerpadla, teplota ložisek, vinutí a čerpaného média, napájecí proud motoru, průtok média apod. Tato data jsou v systému ukládána a z těchto dat lze pak vyčíst velmi užitečné informace vzhledem k historickému chování stroje.



Obr. 3) Schéma analýzy problému

- **Vyhodnocení multiparametrického měření** – z naměřených surových dat v této části provádíme pomocí vhodných vyhodnocovacích programů postprocesingové vyhodnocení. Díky této metodě, jsme schopni provést opakované vyhodnocení naměřených dat, s různými rozlišovacími parametry, různými frekvenčními filtry a s využitím různých diagnostických metod. Specifikum této metody je, že všechny naměřené a vyhodnocené parametry jak z našeho provedeního měření, které jsme schopni různě nadefinovat, tak i dlouhodobějších dostupných záznamů, které jsou již zpracované systémem, vyhodnocujeme společně a hledáme vzájemné propojení a závislosti. Při vyhodnocení měření využíváme všech dostupných metod diagnostiky.

### Multiparametrická analýza

V další části multiparametrické analýzy je třeba dát do souvislosti výsledky provedené multiparametrické diagnostiky s funkcí a konstrukcí stroje a s informacemi, které získáme z údržby, historií poruch, informacemi od obsluhy apod.

- **Tribodiagnostika** – v rámci multiparametrické diagnostiky lze také využít metody tribodiagnostické analýzy maziv
- **Nedestruktivní zkoušky materiálů** – nedestruktivních diagnostických metod, (defektoskopie, tzn. ultrazvuk, prozařovací metody včetně rentgenu, apod), forenzních analýz poškozených dílů (rozbor a analýza poškozeného ložiska za použití metod jako je například rozbor materiálu, elektronový mikroskop, zjišťování podpovrchových trhlin, struktura materiálu a jeho deformace apod.).
- **Forenzní analýzy** – zjišťování příčin poškozených dílů – poškozené díly jsou podrobeny materiálovým zkouškám, kdy je třeba poškozený díl rozříznout, zhotovit vzorky pro testování nebo pro analýzu poškození součásti pod mikroskopem apod. (zkoumání poškozených ložisek, ucpávek apod.)

- **Rozbor funkce a konstrukce** – na základě zjištěných indicií se provede analýza, zda stroj a jeho funkce pracují v souladu s návrhem stroje.
- **Vliv vnějších vlivů** – funkci stroje mohou často ovlivnit i vnější faktory, jako například okolní teplota, bludné proudy, vlhkost, prašnost apod.
- **Informace o údržbě** – zde je nutné vzít v úvahu jakým způsobem a v jakém rozsahu se údržba provádí.
- **Informace o výskytu a četnosti poruch** – Důležitou informací je také jaké poruchy a jak často se na stroji vyskytují.

**Analýza problému** – je hlavní článkem multiparametrické diagnostiky. Tato část patří k nejdůležitějším krokům této metody. Pro analýzu většiny problémů lze využít metod, jako je například riziková analýza FMEA, či jiné metody rizikové analýzy (FMECA, ETA, FTA, HAZOP aj.), Ishikawův diagram apod. Pomocí těchto metod zde zpracováváme výsledky z provedeního měření, které se snažíme dát do souvislosti

s funkcí stroje, informacemi o historii stroje a jeho poruchách, údržbě stroje apod., např. podle obr. 3. Výsledkem každé takové analýzy by měl být soubor potenciálních příčin, které způsobují řešený problém.

**Definice příčiny** – jak již bylo napsáno, výsledkem analýzy je definování souboru možných příčin, které způsobují řešený problém. Ze souboru možných příčin se určí nejpravděpodobnější příčina řešeného problému. Výsledkem může být i více příčin, které se vzájemně ovlivňují, případně ve složitějších případech se může jednat o řetězec příčin.

### Návrh vhodných opatření, realizace a verifikace

#### Návrh vhodných opatření

Výsledkem multiparametrické analýzy je pravděpodobná příčina nebo soubor, resp. řetězec příčin. Na základě určení příčiny problému je nutné stanovit vhodná opatření, která eliminují řešený problém nebo nejlépe celý problém odstraní. Tuto část je nutné řešit nejlépe s projektantem, resp. konstruktérem zařízení i s ohledem na přijatá opatření pro řešení podobných, či stejných zařízení. Návrhy opatření mohou být různého charakteru. Mohou spočívat v konstrukční úpravě stroje, změně provozních, či technologických podmínek, úpravě pokynů pro obsluhu, či změně systémů údržby.

#### Realizace opatření

Zavedení doporučených opatření může být někdy velice jednoduché, kdy postačuje změnit systém údržby nebo upravit provozní podmínky stroje tak, aby se stroj při jeho provozu vyhnul nestandardnímu chování (například rezonanci na určitých otáčkách). Někdy je třeba provést poměrně velký časově i finančně náročný konstrukční zásah. Při realizaci takových zásahů je nutné počítat i s dalšími problémy, které se mohou při realizaci opatření vyskytnout a které je nutné během realizace řešit.



### Verifikace

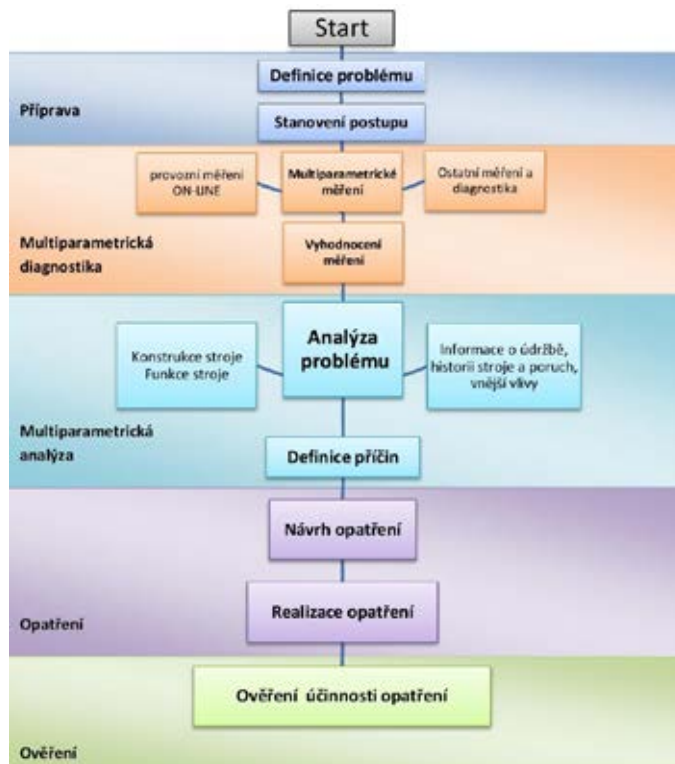
Abychom si ověřili, že specifikace příčiny problému a realizace opatření byla úspěšná, je nutné provést ověření. Jsou v zásadě dva základní druhy ověření možných verifikačních postupů. První způsob je ověření pomocí opakovaného měření a porovnání výsledků s měřením před opravou. Tento způsob se zpravidla používá tam, kde řešíme nevyhovující procesní a provozní parametry stroje. Druhý způsob se využívá při opakovaných závadách stroje, kde provádíme časté opravy stejného druhu. Zde se jeví jako nejlépe hodnotící parametr prodloužení životnosti stroje nebo prodloužení doby do detekce další poruchy v přijatelných mezích. Celý proces navržené metodiky je znázorněn v následujícím procesním modelu podle obr. 4.

Princip multiparametrické diagnostiky, který je popsán v navržené metodice spočívá v komplexnosti řešení problémů strojů a zařízení. Cílem celého postupu je s co největší pravděpodobností určit příčinu řešeného problému, při použití metod z různých diagnostických oborů. Při diagnostice strojů se nelze omezit jen na určitý diagnostický obor, ale je třeba tyto obory provázat a vnímat souvislosti z těchto oborů. Dále je nutné vzít v úvahu jako parametr řešení i informace z údržby, různých rozborů a analýz materiálů a poškozených dílů, nedestruktivního testování apod. Výsledkem je určení příčiny, návržení a realizace vhodného opatření. Nedílnou součástí celého postupu je nejen verifikace problému, ale i jeho validace v rámci nasazení a využití multiparametrické diagnostiky a analýzy.

### Přínosy multiparametrická diagnostiky

Popsaný postup byl s úspěchem aplikován při řešení několika složitých případů, kdy se podařilo vyřešit pomocí multiparametrické diagnostiky a multiparametrického přístupu několik závažných a opakujících se problémů u strojních zařízení, která byla napájena z frekvenčních měničů. Dnešní inteligentní systémy dokážou nejenom sbírat data, ukládat do cloudových jednotek a případně vyhodnocovat a sledovat technický stav zařízení, ale na základě získaných dat upravovat a řídit výrobní procesy. Využití multiparametrické diagnostiky v této oblasti je velice široké. Jako příklad lze uvést multiparametrickou diagnostiku pohonu strojního zařízení, který je poháněn frekvenčním měničem. Toto zařízení je osazeno několika senzory vibrací, které snímají jak rychlost a zrychlení vibrací, tak monitorují teplotu určité kritické části zařízení. Na základě změřených dat systém zjistí, že zařízení se dostalo např. do rezonance, nebo se v technologii zpracování materiálu změnila jeho struktura, a to se projevilo třeba ve změně velikosti hodnot zrychlení vibrací. Na základě předem definovaných algoritmů a naměřených hodnot je systém schopen změnit otáčky zařízení a přizpůsobit technologický proces, jak schopnosti stroje plnit svoji funkci, tak druhu zpracovávaného materiálu.

Multiparametrický přístup k diagnostice strojů a zařízení napájených frekvenčním měničem je v dnešní době důležitý. V systému napájecí transformátor, frekvenční měnič a asyn-



Obr. 4) Procesní model řešení problému pomocí metodiky multiparametrické diagnostiky

chronní motor existuje mnoho možných potenciálních rizik pro správnou funkci tohoto zařízení. Objasnění určitých dějů, postupů a metod, které je nutné využívat pro objasnění a zjišťování prvotních příčin opakovaného poškození určitých částí zařízení, je nalézt způsoby, jak efektivně diagnostikovat tato zařízení s využitím moderních přístupů, a především najít vhodná opatření pro odstranění prvotních příčin problémů. Při řešení a sledování stavu zařízení se dnes již nejedná o diagnostiku, která má za cíl pouze stanovit současný stav zařízení, ale o multiparametrickou diagnostiku, kterou lze využít i k optimalizaci výrobních procesů a spolehlivého chodu pohonů strojů a zařízení.

### Závěrem

Přínosy pro praxi a vědu jsou v oblasti rozšíření aplikace vědeckých poznatků. Mluvíme tak především o aplikované vědě s využitím, jak do nově stavěných technických systémů, tak současně provozovaných. Aplikací odpovídacích změn jejich konstrukčního provedení a zajištění zvýšení jejich diagnostikovatelnosti, spolehlivosti, bezpečnosti vede v neposlední řadě k vyšší užitečnosti a výrobní provozuschopnosti. Aby provedená diagnostika strojů měla význam pro praxi, nestačí jen měřit, ale naměřená data je nutné správně vyhodnotit a najít správná řešení jak pro odstranění příčin řešených problémů, tak pro stanovení správné údržby strojních zařízení.

*Příspěvek prošel recenzním řízením.*

# Analýza částečných výbojů ve vinutí elektrického stroje v prostředí se sníženým tlakem vzduchu

## *Analysis of partial discharges in the winding of an electrical machine in a reduced air pressure environment*

### Abstrakt

Průrazné napětí plynného dielektrika závisí na jeho tlaku, jak popisuje Paschenova křivka. Používání různých elektrických zařízení ve vysokých nadmořských výškách proto může vést k selhání izolace, pokud není správně navržena pro toto prostředí. Průvodním jevem hrozícího selhání izolace je přítomnost částečných výbojů. Tento článek popisuje vliv tlaku a teploty vzduchu na aktivitu částečných výbojů. Sledovanými parametry byly zápalné napětí, počet a amplituda pulsů při konstantním napětí při různých tlacích a teplotách vzduchu. Měření byla provedena na statorovém vinutí elektrického stroje ve vakuové komoře, speciálně navržené pro měření vysokého napětí.

### Abstract

*The breakdown voltage of a gaseous dielectric depends on its pressure as described by the Paschen curve. Therefore, the use of various electrical equipment at high altitudes can lead to insulation failure if not properly designed for this environment. A concomitant of impending insulation failure is the presence of partial discharges. This article describes the effect of air pressure and temperature on partial discharge activity. The parameters monitored were the ignition voltage, number and amplitude of pulses at constant voltage at different air pressures and temperatures. The measurements were carried out on the stator winding of an electrical machine in a vacuum chamber specially designed for high voltage measurements.*

### 1. Úvod

Hlavní konstrukční částí statoru jsou statorové plechy, které jsou od sebe izolovány. V drážkách statoru je umístěna izolace (např. papírová nebo plastová) a do této drážky je pak uloženo vinutí, které je vyrobeno z lakovaného měděného drátu. To znamená, že izolační systém nízkonapěťových elektrických strojů se obvykle skládá z drážkové izolace a izolačního laku vodiče. Diagnostiku tohoto typu izolačního systému lze provést různými způsoby. Ve většině případů se měří izolační odpor [1]. Existují ale i jiné metody. Ztrátový činitel lze použít pro detekci poruchy izolace [2]. K detekci mezizávitového zkratu lze použít srovnávací impulsní zkouška [3]. Mezizávitový zkrat lze také detekovat i z axiální složky magnetického pole [4].

Vzduch sice není hlavní součástí izolačního systému, ale přesto na něj má značný vliv, protože styk různých částí není dokonalý a obsahuje mezery, vyplněné vzduchem. Pokud se tedy tlak sníží, měly by se snížit i izolační schopnosti elektrického stroje. Nižší tlak vzduchu může také vést k přehřátí stroje, protože v poklesne množství tepla, odvedeného ze stroje konvekcí [5].

Všechny tyto faktory hrají velkou roli při konstrukci elektrických strojů do extrémních podmínek, zejména pro letecký průmysl.

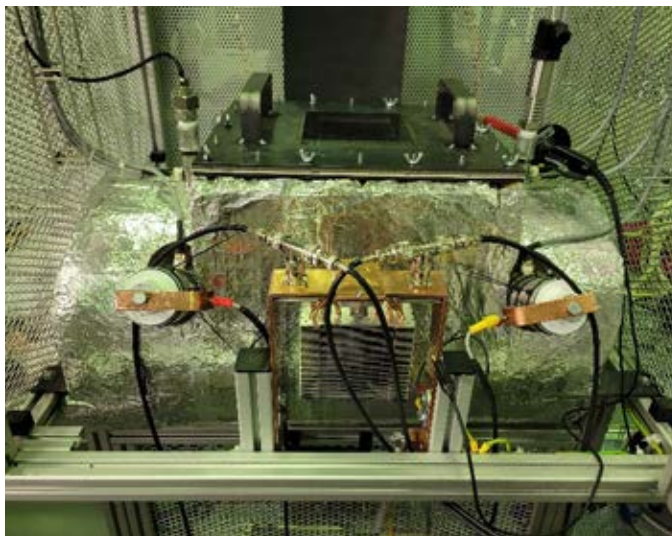
V současnosti probíhá snaha o elektrifikaci co největší části leteckých komponentů a také o zvýšení napětí, které lze použít pro napájení těchto motorů. Částečné výboje jsou jednou z nejdůležitějších otázek, pokud jde o elektrická zařízení v leteckém průmyslu, protože mohou představovat hrozbu pro spolehlivost stroje [6].

### 2. Vliv tlaku vzduchu a okolní teploty

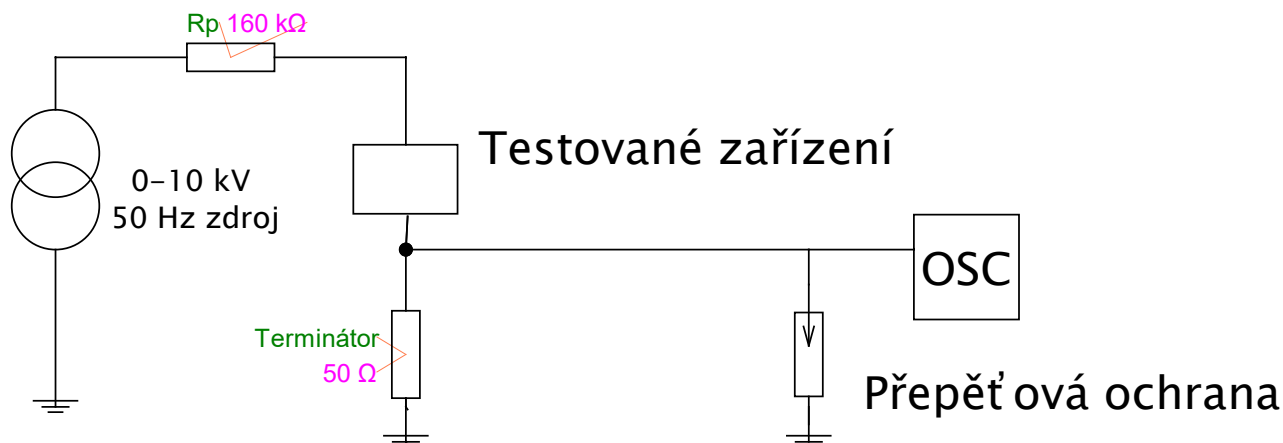
Vztah mezi tlakem vzduchu a průrazným napětím popisuje Paschenova křivka. Problematický může být popis vlivu teploty. Existují metody pro korekci Paschenovy křivky dle skutečné teploty okolí, ale většinou se jedná o aproximace a skutečné průrazné napětí se může lišit [7][8].

Celý experiment byl proveden ve vakuové komoře, speciálně navržené pro testování dielektrických materiálů při sníženém tlaku vzduchu a vysokých teplotách.

Komora je vybavena vývěvou, která umožňuje snížit tlak vzduchu až na 20 mbar. Dále je zde 2 kW topný kabel, který umožňuje vyhřát komoru až na 200 °C. Komora je zakryta tepelnou izolací, kromě víka s průzorem. Průzor je vyroben z křemičitého skla, takže umožňuje lokalizaci výboje UVC citlivou kamerou během testu. Úspěšnost takové lokalizace však do značné míry závisí na osvětlení zkušební komory, protože v některých případech dochází k mnoha odrazům na povrchu průzoru.



Obr. 1 Testovací stanoviště.



Obr. 2 Schéma zapojení.

Stator byl zapojen podle schématu zapojení na obr. 2. Jako zdroj zkušebního napětí je použit VN transformátor s pevnou izolací. Stator je připojen k transformátoru přes VN rezistor s nízkou indukčností. Tento odpor omezuje zkratový proud v případě průrazu vzorku. Proud státorem je měřen vysokofrekvenčním bočníkem. Napěťový signál z bočníku je zaznamenáván osciloskopem.

#### Popis měření

Testovaným motorem byl jednofázový asynchronní stroj, bez ložiskových štítů a rotoru.

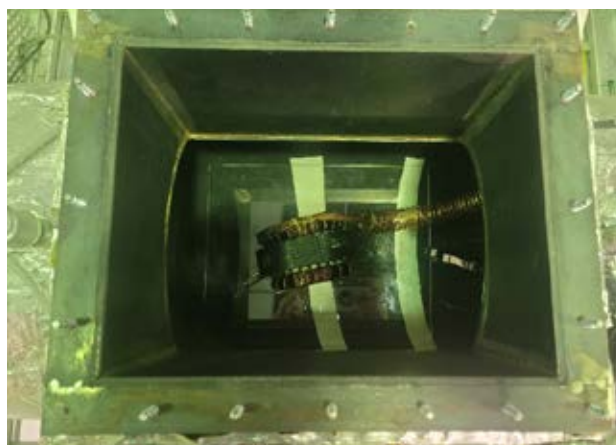


Obr. 3 Testovaný objekt.

Konce vinutí byly propojeny a připojeny na zdroj vysokého napětí. Magnetický obvod byl připojen k bočníku měděnou páskou s vodivým lepidlem. Teplota motoru byla měřena termočlánkem nalepeným na magnetickém obvodu.

#### Experiment byl proveden v několika krocích:

- 1) Počáteční měření: Měření bylo provedeno při pokojové teplotě pro stanovení zápalného napětí a parametrů částečných výbojů za běžných vnějších vlivů.

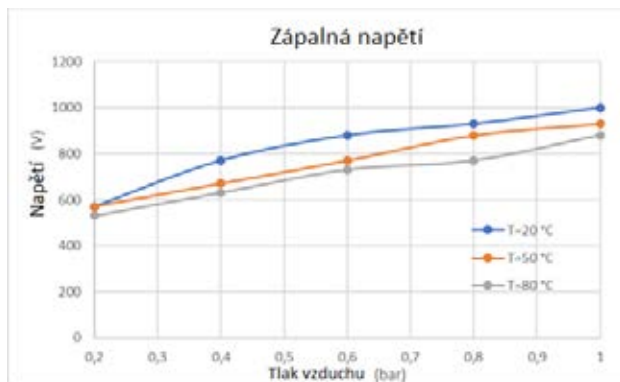


Obr. 4 Testovaný objekt umístěný ve vakuové komoře.

- 2) Tlak byl nastavován s krokem 0,2 bar. Nejnižší tlak vzduchu byl nastaven na 200 mBar, což odpovídá výšce přibližně 12 km nad mořem.
- 3) Toto měření bylo opakováno při různých teplotách až do 80 °C. Maximální teplota byla omezena izolační třídou testovaného motoru. Mezi změnami teploty je důležité počkat na ustálení teploty testovaného motoru. Po dosažení požadované teploty statoru bylo vyčkáváno dalších 15 minut, aby byl zajištěn rovnoměrný ohřev. Pro každou teplotu a tlak vzduchu bylo určeno zápalné napětí.

Tabulka 1 Zápalné napětí při různých okolních podmínkách

Tlak (bar)	Zápalné napětí při 20 °C (V)	Zápalné napětí při 50 °C (V)	Zápalné napětí při 80 °C (V)
1	1000	930	880
0,8	930	880	770
0,6	880	770	730
0,4	770	670	630
0,2	570	570	530



Obr. 5 Graf závislosti zápalného napětí na okolních podmínkách

Analýza četnosti pulsů v závislosti na tlaku a teplotě byla provedena vždy při testovacím napětí 1 kV. Jak je vidět z výsledků, počáteční napětí a četnost se mění s tlakem a teplotou vzduchu. To je důkazem, že vzduch hraje důležitou roli v izolačním systému elektrického stroje.

V extrémních podmínkách (80 °C, 200 mbar) je zápalné napětí poloviční než při běžných vnějších vlivech. Poměr tlaku/zápalného napětí se v testovaném rozsahu tlaku vzduchu mění dle předpokladů, tedy s klesajícím tlakem klesá i zápalné napětí. Na grafu zobrazeném na obr. 5 můžeme vidět, že výsledná funkce je téměř lineární a je patrný i vliv teploty.

Tato skutečnost omezuje maximální přípustné úrovně napětí v leteckém průmyslu. Všechna elektrická zařízení v nehermetických částech jakéhokoli letadla musí být dimenzována na toto prostředí.

Tabulka 2 Četnost částečných výbojů

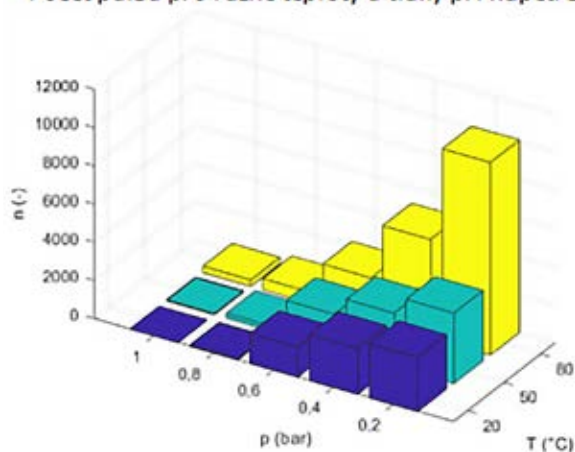
Teplota (°C)	Tlak (bar)				
	1	0,8	0,6	0,4	0,2
20	10	63	1 575	2 416	2 845
50	54	241	1 817	2 769	3 673
80	334	586	2 240	5 147	10 072

Byla také analyzována četnost pulsů částečných výbojů. Pro tento účel byly spočítány všechny pulsy nad hladinou šumu pozadí během jedné periody testovacího napěťového signálu, tedy 20 ms. Počet pulsů částečných výbojů roste exponenciálně s klesajícím tlakem vzduchu, viz Tabulka 2. Je zde také možno sledovat velký vliv teploty viz obr. 6.

## 5. Závěr

Získaná data ukazují, že vliv jak teploty, tak tlaku vzduchu není zanedbatelný. Ve skutečnosti jsou oba poměrně významnými faktory, pokud jde o zápalné napětí částečných výbojů (obr. 5) a počet pulsů (obr. 6). Teplotní závislost úrovně částečných výbojů v izolačním systému je složitější a neovlivňuje ji pouze teplota vzduchu v dutinách, vzduchových mezerách a v prostoru kolem měřeného objektu. Vliv mají mimo jiné změny související s tepelnými dilatacemi v izolačním systému.

Počet pulsů pro různé teploty a tlaky při napětí 1 kV



Obr. 6 Graf četnosti pulsů v závislosti na okolních podmínkách

Je třeba vzít v úvahu, že testovaný motor byl před proběhnutím experimentu provozován. To znamená, že izolační systém stroje byl zestárý, a to mohlo být příčinou rychlého nárůstu počtu výskytů částečných výbojů za nejméně příznivých vnějších vlivů. S rostoucím počtem pulsů částečných výbojů se zvyšuje rychlost degradace izolačního systému. Dlouhodobá přítomnost částečných výbojů může způsobit poškození izolačního systému, což může vést k jeho selhání.

To ukazuje, že konstrukce motorů pro letecký průmysl může představovat problém, protože existuje mnoho faktorů, které je nutno brát v potaz. Pro spolehlivý provoz by měl návrh vinutí statoru zohledňovat geometrické a admittanční řízení pole. V případě nezhlednění všech okolností při návrhu motorů pro tyto aplikace, může motor v tomto prostředí selhat.

## Reference

- [1] Insulation resistance testing guide, Chauvin Aroux, ed. 01, 2010
- [2] P. M. John and J. A. de Kock, "Data mining - a technique used to extract information from tan delta Measurements on medium Voltage Induction Motors," AFRICON 2007, 2007, pp. 1-8, doi: 10.1109/AFRCON.2007.4401639.
- [3] S. Grubic, J. Restrepo and T. G. Habetler, "Online Surge Testing Applied to an Induction Machine With Emulated Insulation Breakdown," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 49, no. 3, pp. 1358-1366, May-June 2013, doi: 10.1109/TIA.2013.2253535.
- [4] J. Fulneček and S. Mišák, "Stator current and axial magnetic flux analysis of induction motor," 2018 International Conference on Diagnostics in Electrical Engineering (Diagnostics), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/DIAGNOSTIKA.2018.8526025.
- [5] CIGÁNEK, Ladislav a Miroslav BAUER. Elektrické stroje a přístroje: učební text pro průmyslové školy elektro-

technické - čtyřleté. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957.

- [6] V. Madonna, P. Giangrande, W. Zhao, H. Zhang, C. Gerada and M. Galea, "Electrical Machines for the More Electric Aircraft: Partial Discharges Investigation," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 57, no. 2, pp. 1389-1398, March-April 2021, doi: 10.1109/TIA.2020.3046434.
- [7] Giacomo Galli, Hassen Hamrita, C. Jammes, Michael Kirkpatrick, Emmanuel Odic, et al. Paschen's Law in

Extreme Pressure and Temperature Conditions. IEEE Transactions on Plasma Science, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019, 47 (3), pp.1641-1647. ff10.1109/TPS.2019.2896352.hal-02117590

- [8] G. C. Stone and V. Warren, "Objective methods to interpret partial-discharge data on rotating-machine stator windings," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 42, no. 1, pp. 195-200, Jan.-Feb. 2006, doi: 10.1109/TIA.2005.861273.

*Príspevok prošel recenzním řízením.*

## Opomíjený vliv frekvenčních měničů na technický stav strojních zařízení

### *The neglected influence of frequency converters on the technical condition of machinery*

ING. DANIEL PLONKA  
DAMITECH

#### Abstrakt

Často opomíjeným jevem, který má za následek poškození izolovaných i neizolovaných ložisek elektromotorů řízených frekvenčními měniči, je nedodržení zapojení měničů dle projektové dokumentace (nedostatečný průřez vodičů, uzemnění, ekvipotenciální pospojování, aj.). Příčinou poškození ložisek je průchod elektrického proudu. Odhalení problémů a jejich možných příčin je v článku provedeno metodami vibrodiagnostiky a elektrodiagnostiky. Z prediktivního hlediska je vhodné pravidelné sledování opotřebení ložisek metodami Technické diagnostiky, použití izolovaných ložisek v elektromotorech a dodržení zásad pro připojení pohonů k frekvenčním měničům.

#### Abstract

An often neglected phenomenon that results in damage to insulated and non-insulated bearings of electric motors controlled by frequency converters is failure to comply with the connection of converters according to the project documentation (insufficient conductor cross-section, grounding, equipotential bonding, etc.). The cause of bearing damage is the passage of electric current. Detection of problems and their possible causes is carried out in the article by methods of vibrodiagnostics and electrodiagnostics. To prevent the aforementioned problems a regular monitoring of bearing wear by Technical Diagnostics methods is recommended as well as the use of insulated bearings in electric motors and compliance with the principles for connecting drives to frequency converters.

#### 1. Problematika pohonů s frekvenčními měniči

Systémy řízení elektromotorů frekvenčními měniči jsou v dnešní době velice rozšířené pro regulaci otáček i výkonu poháněných strojů. Avšak negativní vlivy, jež ovlivňují technický stav elektromotorů, jsou opomíjeny. Pro zabezpečení

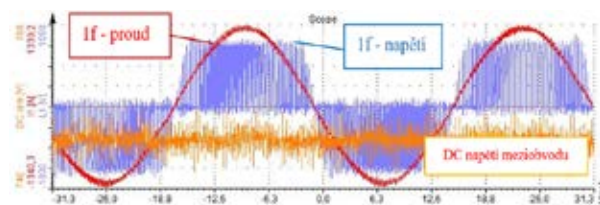
bezporuchového provozu je třeba porozumět všem vlivům, jež vznikají ve strojním zařízení a pohonu, který je řízen frekvenčním měničem.

Při napájení elektromotorů ze standardní distribuční sítě jsou za ideálních podmínek souhlasné napětí a proud (vektorový součet všech tří fází) nulové a nedochází k indukci hřídelových napětí (za podmínky symetrického magnetického pole ideálního elektromotoru).

V případech, že dojde k nesymetrii magnetického pole z různých důvodů (např. nesymetrie napětí, nenulové souhlasné napětí, geometrie stroje, nehomogenita magnetických částí elektromotoru, problémy s vinutím apod.), dochází k naindukovaní napětí na hřidel elektromotoru a k uzavření proudu mezi rotorem a ostatními statickými částmi elektromotoru, přes ložiska, spojku atd.

Napájecí frekvence motoru z distribuční sítě je obvykle 50 Hz, v některých případech může být i 60 Hz. Při napájení z frekvenčního měniče se napájecí frekvence pohybuje v určitém frekvenčním rozmezí, které je nejčastěji omezeno u nízkých frekvencí účinností chlazení elektromotoru a při vyšších frekvencí maximálními otáčkami elektromotoru.

Frekvenční měniče pracují se spínací frekvencí v řádech kilohertzů (kHz). Výstupní napětí z frekvenčního měniče má obvykle obdélníkový průběh, oproti tomu proud má sinusový průběh, na kterém je namodulovaná pulzní frekvence.

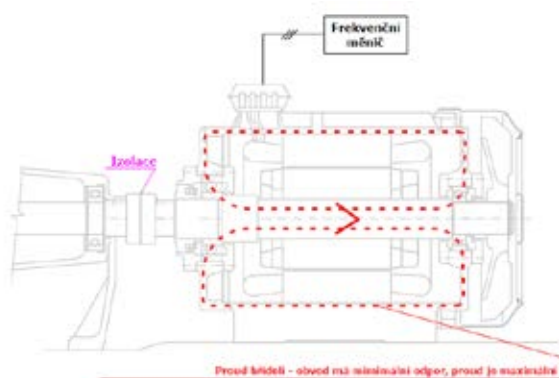


Obr. 1. Průběh napětí a proudu z frekvenčního měniče a DC napětí v meziobvodu FM

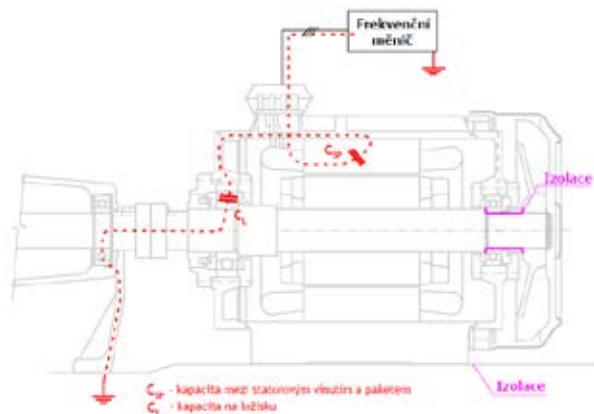
Veškeré izolace, které oddělují živé části od neživých, se chovají jako kondenzátor s určitou kapacitou a impedancí. Tyto vysoké frekvence (spínací frekvence a jejich harmonické složky) se přes tyto izolace dostávají na neživé části a uzavírají se přes konstrukce neživých částí cestou nejnižší impedance zpět do frekvenčního měniče.

Proudy, které pak tečou neživými částmi strojního zařízení, bývají kombinací zdrojů hřídelového napětí (z nesymetrie magnetického pole) a kapacitních proudů z frekvenčního měniče. V mnoha případech se na zařízení mohou vyskytovat proudy i z jiných zdrojů, než ze samotného pohonu, tzv. bludné proudy (například proudy z vyrovnávání potenciálů mezi různými zařízeními či budovami, proudy ze sousedních strojních zařízení, vnější proudy, apod.). Problém nastává, když tyto proudy tečou přes rotační komponenty, jako jsou ložiska, spojky, zubová kola převodovek, ucpávky, maziva apod. V těchto případech pak dochází k degradaci především maziv, ložisek a dalších částí strojních zařízení.

Snahou projektanta, diagnostika a technika údržby, je pak eliminovat tyto příčiny poškození částí strojního zařízení, zjistit, proč a z jakého důvodu k poškození či snížení životnosti komponent dochází, a najít vhodná opatření pro zabránění průchodu proudu přes tyto důležité části strojního zařízení.



Obr. 2. Proud uzavíraný z hřídelového napětí elektromotoru



Obr. 3. Kapacitní proudy z FM

## 2. Příklady poškození ložisek způsobené průchodem elektrického proudu

### 2.1. Příklad 1

Na obrázku 4 je uvedena soustava elektromotor 200 kW ( $1480 \text{ min}^{-1}$ ) – dvouvpěrný čelistový drtič. Strojní zařízení nebylo pořizováno jako celek (tzv. na klíč), ale jednotlivé strojní uzly byly dodány od více dodavatelů (bohužel - z ekonomických důvodů). Provozovatel stroje se nezabýval výše uvedenými skutečnostmi (patrně ani netušil, že je třeba této problematice věnovat zvýšenou pozornost), ačkoliv řízení pohonu frekvenčním měničem bylo od počátku v projektu.

Opomineme-li skutečnost, že zapojení měniče nebylo provedeno dle projektové dokumentace (nedostatečný průřez vodičů, délka napájecího kabelu z rozvaděče, uzemnění, ekvipotenciální pospojování, apod.), primárním problémem bylo dodání elektromotoru v provedení s neizolovanými ložisky (důsledek výše uvedené dodávky od více dodavatelů).

Je velice pravděpodobné, že v případě realizace jedním dodavatelem komplexně realizujícím celou zakázku, by výše uvedené nedostatky nevznikly. Paradoxně, náklady ušetřené na vstupu (nákupu), se následně investují do provozu (oprav).

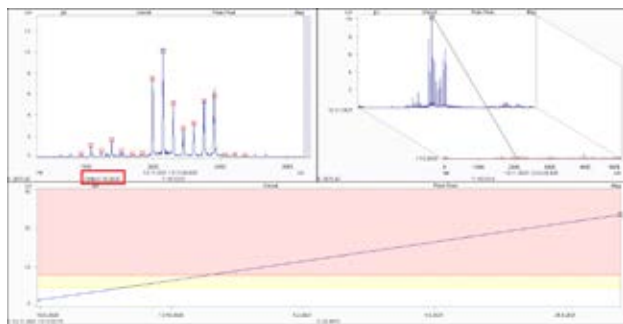


Obr. 4. Pohon drtiče (ilustrativní obrázek)

Průběh poškození ložisek z pohledu FFT analýzy vibračního signálu je uveden na obrázku 5. První hodnota v trendu z roku 2020 je z nově instalovaného stroje. Je patrné, že životnost ložisek byla vyčerpána za necelý rok. Harmonické frekvenční složky označené ve spektru zrychlení vibrací z roku 2021 mají rozesup  $76,75 \text{ Hz}$ . Tyto frekvence odpovídají poškození vnějšího kroužku ložiska 6319 (defektní ložiskové frekvence vnitřního / vnějšího kroužku, klece a valivých elementů lze jednoduše spočítat – viz obrázek 6).

Prováděným opakovaným vibrodiagnostickým měřením se zamezilo havárii stroje, jelikož provozovatel neměl o vznikající problém ponětí. Díky včasnému upozornění na havarijní stav byly ekonomické ztráty sníženy na minimum (elektromotor nehavaroval, nedošlo k prostoji výroby). V nejbližší plánované odstavce byla na elektromotoru vyměněna ložiska (na NDE straně bylo instalováno izolované ložisko).

Výstupem z vibrodiagnostického měření bylo odhalení havarijního stavu ložisek, avšak profesním posláním diagnostika



Obr. 5. Spektrum zrychlení vibrací a trend

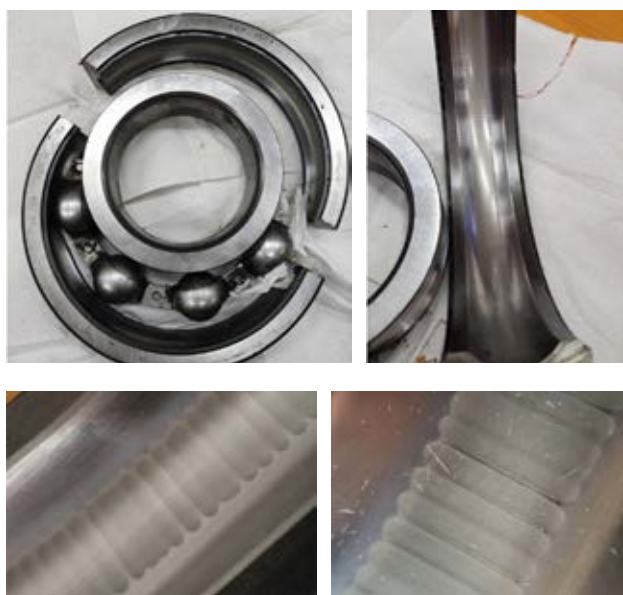


Obr. 6. Výpočet ložiskových frekvencí

není pouze specifikace aktuálního technického stavu (tzv. predikce), důležité je specifikovat podstatu, proč k problému došlo (tzv. proaktivita).

Dle štítku elektromotoru byla použita ložiska na straně NDE: 6319C3 a DE: NU322. Z frekvenčních spekter je patrné, že proud procházel výhradně přes ložisko na NDE straně, jelikož ložiskové vady válečkového ložiska NU322 nebyly ve frekvenčních spektrech přítomny.

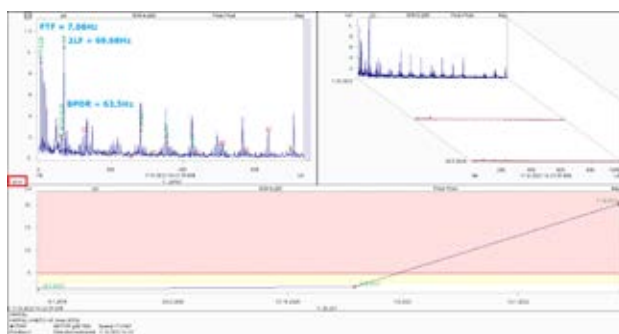
Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem (výrazné poškození ložiska NDE strany za velmi krátké časové období v souvislosti s řízením frekvenčním měničem) bylo podezření na poškození průchodem elektrického proudu opodstatněné. Fotografie poškození ložisek demontovaných z elektromotoru jsou uvedeny na obrázku 7.



Obr. 7. Poškození ložisek

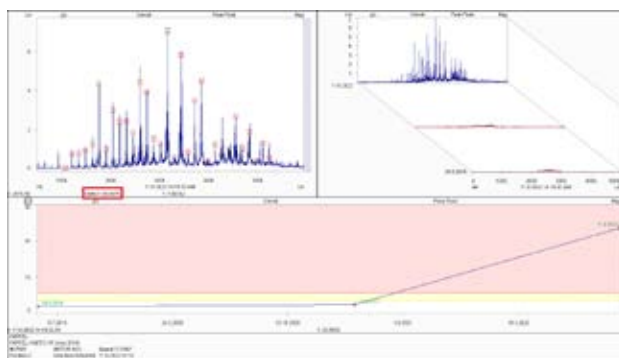
Podobným případem může být i poškození izolovaných ložisek soustrojí elektromotoru 1200 kW ( $1\,500\text{ min}^{-1}$ ) – gumárenský hnětič, kde ložiska elektromotoru (na NDE straně izolována) dosáhla konce své životnosti po třech letech provozu. Hlavním problémem bylo nedodržení vhodné zapojení motoru k frekvenčnímu měniči.

Průběh poškození ložisek z pohledu FFT analýzy vibračního signálu je uveden na obrázku 8. Prvotní hodnota v trendu z roku 2019 je z nově instalovaného stroje. Harmonické frekvenční složky označené ve spektru obálky zrychlení vibrací z roku 2022 mají rozestup  $63,5\text{ Hz}$  = vady vnějšího kroužku (BPOR) ložiska 6226C3 a  $7,06\text{ Hz}$  = vady klece (FTF) ložiska 6226C3. Ve spektrech jsou rovněž patrné výrazné harmonické frekvence  $69,68\text{ Hz}$ , které souvisí s napájecí frekvencí měniče. Výpočet defektních ložiskových vad je uveden na obrázku 10.



Obr. 8. Spektrum obálky zrychlení vibrací a trend

Na obrázku 9 je ve frekvenčním spektru zrychlení vibrací vliv měniče nejzřetelnější. Dominantní harmonické frekvence s rozestupem  $69,68\text{ Hz}$  (2LF) odpovídají dvojnásobku napájecí frekvence měniče ( $34,33\text{ Hz}$ ) při aktuálních otáčkách elektromotoru  $1\,030\text{ min}^{-1}$ . Během provozu se frekvence měniče pohybovala v rozmezí  $24\text{ Hz} - 35\text{ Hz}$ .

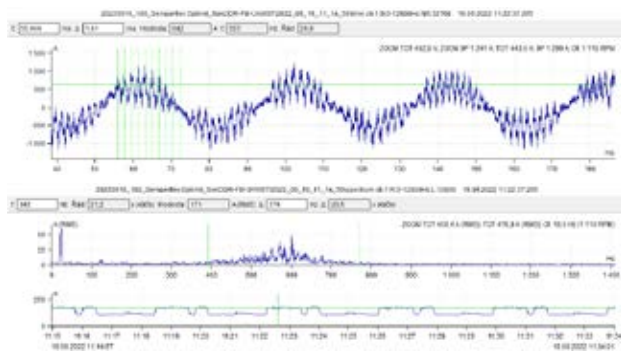


Obr. 9. Spektrum zrychlení vibrací a trend



Obr. 10. Výpočet ložiskových frekvencí

Na základě podezření na poškození ložisek vlivem průchodu elektrického proudu byla provedena elektrodiagnostika napájení elektromotoru. Z časového signálu, který byl měřen na všech fázích elektromotoru, je vidět nestandardní průběh proudu s napájecí frekvencí 24 Hz a s výraznou frekvenční modulací v blízkosti 550 Hz. Ve spektru proudu je vidět, že se jedná o široké frekvenční pásmo 550 Hz +/- 150 Hz. V důsledku této modulace lze předpokládat, že zde dochází k indukci hřídelového napětí o vyšších frekvencích a uzavírání proudu přes ložiska motoru, kde standardní izolované ložisko je již nedostačující.



Obr. 11. Časový průběh a frekvenční spektrum napájecího proudu

Na obrázku 12 je vidět poškození ložisek elektromotoru, kde došlo k destrukci valivých elementů a valivých drah ložisek.

### 2.2. Příklad č. 2

Dalším příkladem na obrázku 13 je diagnostika proudu v ekvipotenciálním pospojování elektromotoru, převodovky a čerpadla. Podobně, jako tomu bylo u prvního příkladu, byl pro provoz zařízení použit elektromotor bez izolovaných ložisek a připojení elektromotoru k frekvenčnímu měničiči nebylo provedeno podle zásad pro tyto instalace. Po velmi krátké době, cca jednoho roku, došlo k poškození ložisek elektromotoru. Měření proudu v ekvipotenciálním pospojování mezi jednotlivými komponenty, hlavní ochrannou přípojnicí a uzemněním bylo zjištěno, jak se proudy indukované do hřídele uzavírají. Na základě tohoto měření byla stanovena i hypotéza a předpoklad dalšího poškození ozubení převodovky a ložisek čerpadla.

Provozovateli byla doporučena okamžitá výměna ložisek na elektromotoru a osa-



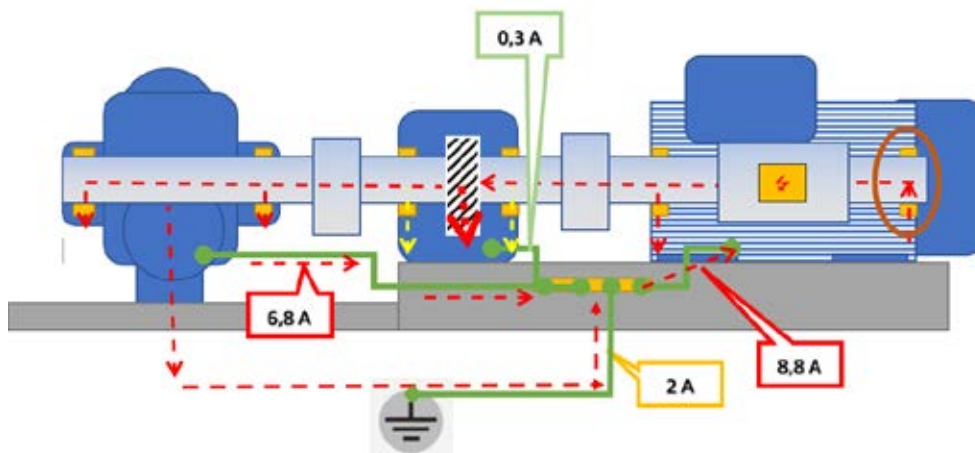
Obr. 12. Poškození ložiska (prasklý valivý element, vady na valivých elementech)

zení izolovaného ložiska elektromotoru na straně chladicího ventilátoru (NDE strana). Následně také provedení revize převodovky a čerpadla.

### 3. ZÁVĚR

Diagnostika pohonů strojů řízených frekvenčním měničem je v praxi velice důležitá, zvláště pak v kombinaci s technickou diagnostikou, jako je vibrodiagnostika, elektrodiagnostika, termodiagnostika a v neposlední řadě tribodiagnostika. Metody technické diagnostiky nemají za cíl pouze zjišťovat, zda strojní zařízení vykazují určité problémy, ale především stanovit původ těchto problémů a pomoci nalézt řešení pro odstranění jejich příčin. Diagnostika je také účinný nástroj pro stanovení vhodné údržby sledovaných strojů.

*Příspěvek prošel recenzním řízením.*



Obr. 13. Proudová mapa naměřených proudů ekvipotenciálního pospojování zařízení



# AUTOMATIZACE 4.0 I "POSLEDNÍ METR" SE POČÍTÁ

K dosažení úplné kontroly nad celkovými náklady na vlastnictví (TCO) v řízení dodavatelského řetězce na posledním metru jsou výdejní automaty optimální

**NOVÝ  
SAVESPRING  
KARUSELOVÝ AUTOMAT  
OD SPOLEČNOSTI  
IVM ZRT.**

• NOVÝ VÝDEJNÍ AUTOMAT OD IVM MICROLOGISTICS SAVESPRING

• 3 V 1 KARUSELOVÝ AUTOMAT PRO VÝDEJ NÁŘADÍ A NÁSTROJŮ

KOMBINUJE 3 ZÁKLADNÍ OPERACE: VÝDEJ JEDNORÁZOVÉ POLOŽKY;  
• ZAPUJČENÍ SDÍLENÉ POLOŽKY A VRÁCENÍ POUŽITÉ POLOŽKY

SaveSpring je jedním z najrozmanitějších průmyslových výdejních automatů, který dokáže uskladnit a vydat do 540 různých druhů produktů.

**SaveSpring má 3 základní funkce:**

- Výdej nových produktů jednorázové spotřeby
- Zapůjčování sdílených produktů
- Vrácení použitých produktů

Zařízení uchovává všechny provedené transakce, které jsou zaznamenány v reálném čase a zdokumentovány v softvéru. S uživateli komunikuje v 17 jazycích.

**SaveSpring přesvědčí:**

- Všestrannými možnostmi konfigurace a uskladnění produktů (skladování až 540 různých druhů produktů), které umožňují nekonečné možnosti přizpůsobování a úprav dle vašich požadavků na zásobovací řetězec.
- Možnostmi konfigurace v rámci jedné pozice, co umožňuje využívání automatu pro různé případy a potřeby a zároveň je jednoduše v čase měnit.
- Rezervace položek před jejich samotným použitím přes přívětivé uživatelské rozhraní na dotykovém displeji v 17 různých jazycích.
- Skladování tekutin, křehkých nebo těžkých produktů a rozšiřování portféla našim univerzálním softvérem **SaveLog** určeným pro kontrolu všech našich dostupných typů automatů. **SaveSpring** disponuje jednoduchým konceptem doplňování s barevným kódováním i jednoduchým vrácením již použitých produktů.
- Nepřetržitá dostupnost 24/7. [info@ivm-micrologistics.com](mailto:info@ivm-micrologistics.com)



SUSTAINABLE  
MICROLOGISTICS

IVM Zrt.  
8000 Székesfehérvár,  
Takarodó út 2,  
Tel. +421 904 496 759  
[info@ivm-micrologistics.com](mailto:info@ivm-micrologistics.com)

## NÁŠ SOFTWARE SAVELOG – NEZÁVISLÝ OPERAČNÍ SYSTÉM, KTERÝ ŘÍDÍ VŠECHNY AUTOMATY

- JEDEN softvér spravuje a řídí VŠECHNY naše řešení.
- SaveLog lze propojit s jakýmkoli ERP systémem přes naše API.
- Intuitivní, uživatelsky přívětivý dizajn.
- Snadné ovládání.
- Vícejazyčné rozhraní—komunikuje ve vašem jazyce.

- Nepřetržitá kontrola stavu naplnění/vyřízení stroje.
- Správa projektových kódů a nákladových středisek.
- Řada dalších manuálních a automatických reportů.
- Komplexní, víceúrovňová organizační hierarchie a řízení nákladového střediska.
- Jednorázové přístupové právo pro SaveFlex, SavePro4 nebo SaveSpring.

V současné době provozujeme více než 3000 projektů s +400 zákazníky na 4 kontinentech.



**MOŽNÁ SÍŤOVÁ PŘIPOJENÍ:**

- Lokální Server
- 3G/4G síť
- Plug & play
- Smíšené lokální VPN
- Uzavřené sítě
- Zabezpečená síť VPN
- IVM Cloud

ISO9001: Certifikace získaná v roce 2019  
ISO27001: Certifikace získaná v roce 2020  
Systém řízení bezpečnosti informací (ISMS)  
Adaptivní zabezpečení informací, dat a systémů

RFID-Card



Barcode



PIN-Code



SUSTAINABLE  
MICROLOGISTICS

IVM Zrt. 8000 Székesfehérvár Hungary Tel. +421 904 496 759  
E-Mail: [info@ivm-micrologistics.com](mailto:info@ivm-micrologistics.com)



Včera za konkurencí. **Zítří leader**

Informační systémy pro řízení firmy



[helios.eu](https://helios.eu)



**HELIOS**

Rozšiřte své možnosti