Využití tribodiagnostických zkoušek a jejich přínos v praxi

Use of tribodiagnostic tests and their benefits in practice / Verwendung der tribodiagnostischen Prüfungen und deren Beitrag in Praxis

ING. JAN BLATA, PH.D.[1], ING. DAVID ŠEDĚNKA[1], ING. VLASTIMIL MONI, PH.D.[2],
DOC. ING. FRANTIŠEK HELEBRANT, CSC.[1], DOC. ING. LEOPOLD HRABOVSKÝ, PH.D.[1]
[1]VŠB – Technická univerzita Ostrava
[2]Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most

Přijato: 3. 5. 2022, recenzováno: 17. a 18. 5. 2022

ABSTRAKT
Článek seznamuje čtenáře s příklady měření in situ s využitím tribodiagnostických testů a zkoušek na strojních systémech, jejichž cílem je zjistit kvalitu maziva a technický stav provozovaných strojů a zařízení, z kterých byl vzorek maziva odebrán. Vlastní přínosy využití tribodiagnostických zkoušek následně nacházíme jak ve zvýšení zajištěnosti provozní spolehlivosti, provozuschopnosti a životnosti provozovaných strojů a zařízení, tak v bezpečnosti a ekonomice celého výrobního procesu. Článek dále obsahuje doporučení pro identifikaci vzniku měkkých kalů.

The article informs the reader about different examples of in situ measurements using tribodiagnostic tests and tests on machine systems, which aim to determine the quality of the lubricant and the technical condition of the operated machines and equipment from which the lubricant sample was taken. The actual benefits of the use of tribodiagnostic tests are subsequently found in increasing the assurance of operational reliability, operability and life span of the operated machines and equipment, as well as in the safety and economy of the entire production process. The article also contains recommendations for identifying the formation of soft sludge.

Der Artikel macht die Leser mit den Beispielen der Messungen in situ mit der Nutzung der tribodiagnostischen Teste und Prüfungen an den Maschinensystemen bekannt, deren Ziel ist es, die Schmiermittelqualität und den technischen Zustand der betriebenen Maschinen und Anlagen sicherzustellen, von denen die Probe des Schmiermittels abgenommen wurden. Die eigenen Beiträge der Verwendung von tribodiagnostischen Prüfungen finden wir anschließend sowohl in der Erhöhung der betrieblichen Zuverlässigkeit, in der Betriebsfähigkeit und der Lebensdauer der betriebenen Maschinen und Anlagen, als auch in der Betriebssicherheit sowie in der Wirtschaftlichkeit des ganzen Produktionsprozesses. Der Artikel enthält auch die Empfehlung für die Identifizierung der Entstehung von weichen Schlämmen.

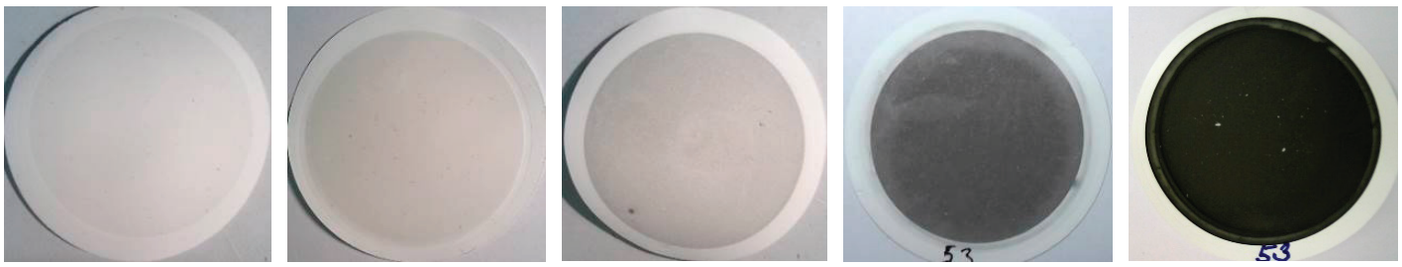
Klíčová slova: tribodiagnostika - tribologie - mazivo - životnost - olej - stroj - zařízení
Keywords: tribodiagnostics - tribology - lubricant - service life - oil - machine - equipment

1 | ÚVOD DO PROBLEMATIKY

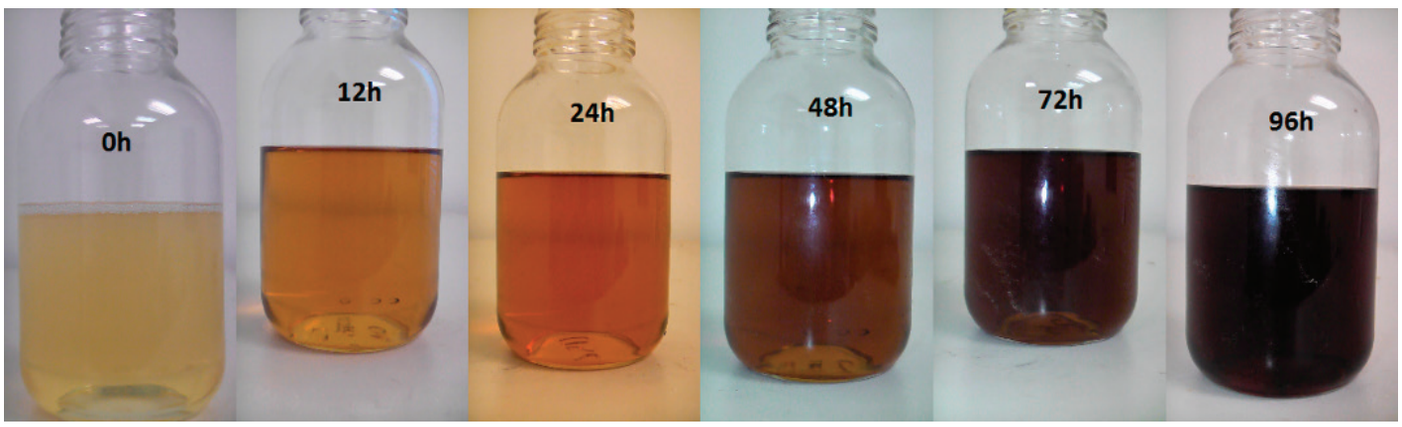
Na vybraných provozních příkladech je ukázáno, jaký vliv mají tribodiagnostické parametry na kvalitu vlastního maziva a vlastní chod strojního systému [1,6]. Poznáváme vliv znečištění oleje nejen na snížení kvality maziva, a tím i velikost opotřebení, ale také vliv na vibrační projevy strojních součástí, kdy nastává vzrůst teploty, a tím i výrazný vliv na velikost viskozity, která je již zmíněným nejzákladnějším tribologickým parametrem účinnosti maziva. Když k stručně nastíněnému přičteme další působící degradační faktory na mazivo-vodu, množství a morfologii (tvar) vzniklých produktů opotřebení, působení chemismu v podobě čísla kyselosti (TAN) a zásaditosti (TBN) apod., tak je jednoznačně zřejmé, čím vším je životnost sledovaného objektu ohrožována a snižována. I po tomto stručném úvodu by nemělo nikoho překvapit následující známé konstatování, tj. zlepšení kódu čistoty maziva jedenkrát nám přináší dvojnásobné zvýšení životnosti a dále odborníky z tribologie často citované, bohužel doposud ne vždy si plně uvědomované, „Mazivo je konstrukční prvek“ a „Mazivo je krev stroje a jako z krve z něj detekujeme řadu neduhů“.

2.1 | PROVOZNÍ PŘÍKLADY

Jak již bylo uvedeno, čistota maziva je jedním z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují další provozní parametry strojních zařízení, jako jsou vibrace [4], teplota [5], životnost zařízení apod. Mezi fenomény dnešní doby patří měkké kaly, které vznikají za specifických podmínek, např. vysokou teplotou, tlakem nebo degradací maziva. Tyto měkké kaly se v první fázi projevují jako lepivá hmota, ve které se zachytávají a usazují otěrové částice, které posléze neúměrně zvyšují opotřebení třecích částí strojních zařízení. Vznikající měkké kaly je možné v první fázi identifikovat na ultrafiltrech o pórovitosti 0,45 µm, v pokročilé fázi lze identifikovat znečištění na ultrafiltrech o pórovitosti 0,8 µm. Posléze dochází k výrazné polymerizaci, kdy se vytvářejí tvrdé částice o velikosti několika desítek µm. Vývoj lze pozorovat na obrázku č. 1, kde vlevo je začátek tvorby



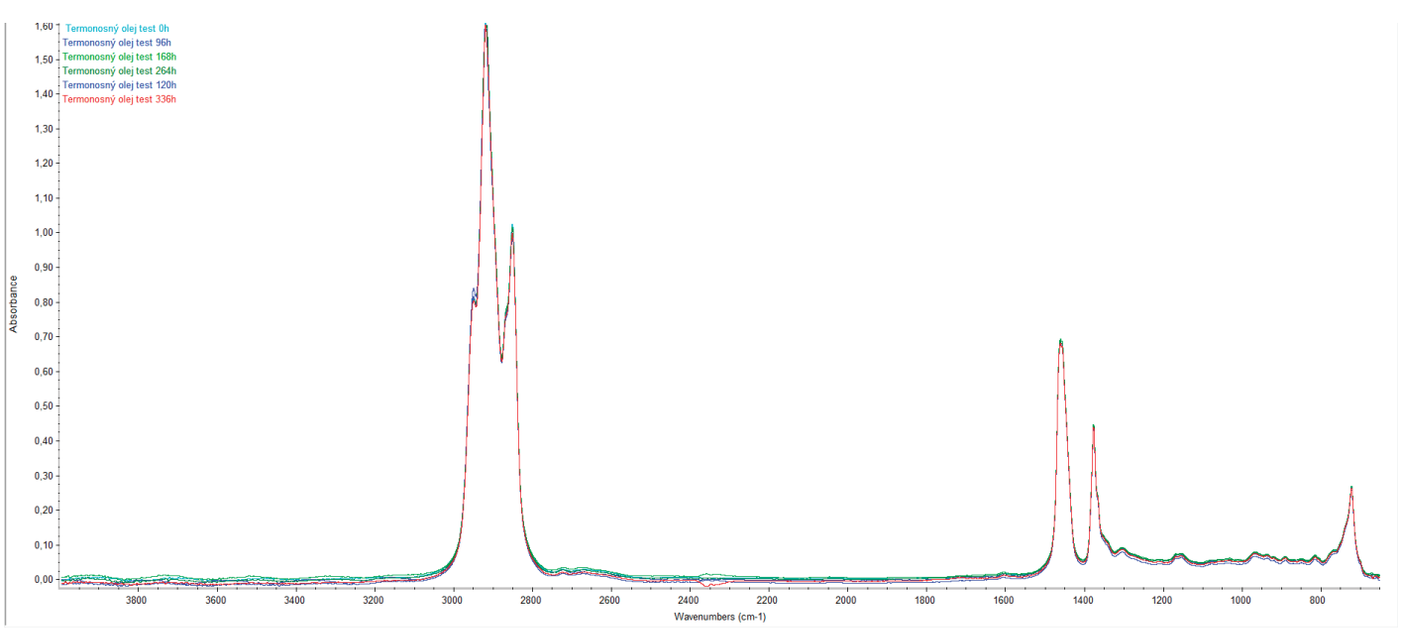
Obr. 1: Znázornění vývoje tvorby měkkých kalů na ultrafiltrech.



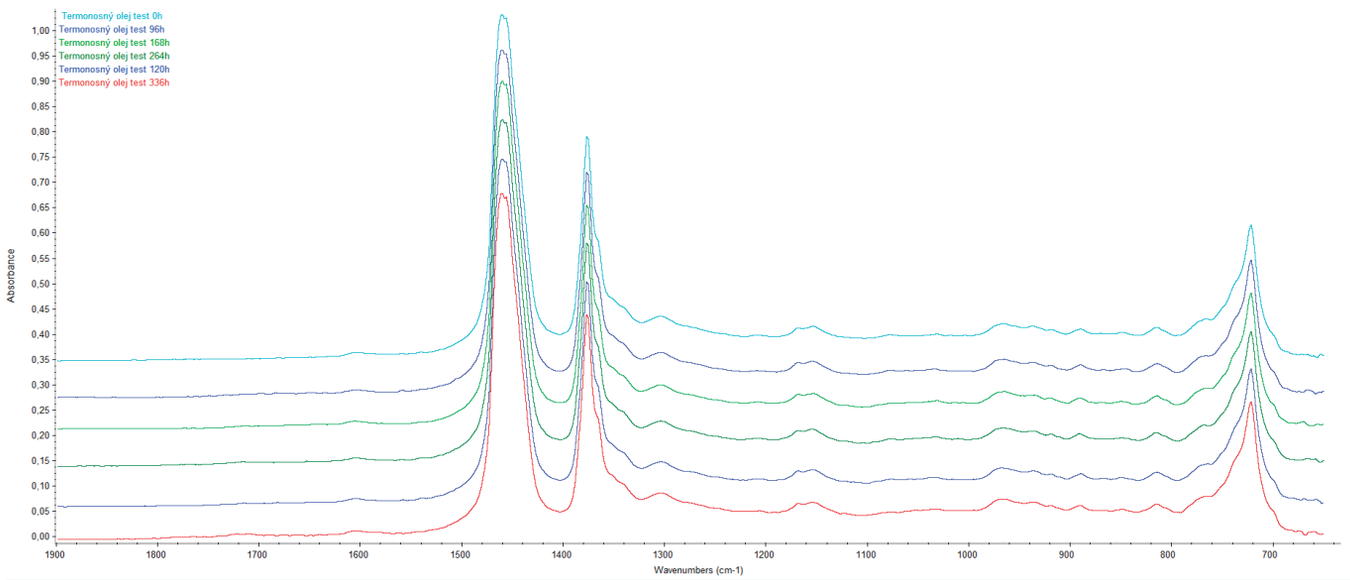
Obr. 2: Znázornění vývoje tvorby měkkých kalů ve vzorkovnicích s uvedením času vzorku při 150 °C.

měkkých kalů a vpravo je již ultrafiltr s výraznou degradací.

Proces tvorby měkkých kalů byl pozorován i v následujícím provozním případě. Zde byl použit teplonosný olej, který způsoboval v temperovaném okruhu výrazné znečištění až ucpání systému. V tomto okruhu je olej temperován na maximálně 150 °C. Dle výrobce je možné provozovat tento olej až do 320 °C, bohužel výrobce již neudává, zda musí být olej v uzavřeném okruhu odděleném od okolní atmosféry. Pro ověření skutečnosti byl proveden experiment, při kterém byl teplonosný olej temperován při teplotě 150 °C v otevřené vzorkovnici s přístupem vzduchu. Nejjednodušší projev postupné degradace můžeme pozorovat na obrázku č. 2, kde v závislosti na počtu hodin temperace můžeme pozorovat projev degradace vzorku podle zbarvení. Mimo změnu barvy vzorku a barvy ultrafiltru dochází také ke zvyšování kódu čistoty (dle ISO 4406/99), resp. dochází ke zhoršení kódu čistoty oleje. Na začátku experimentu je kód čistoty 14/13/12, po 96 hodinách



Obr. 3: FT-IR spektra termonosného oleje v závislosti na době temperace při 150 °C.



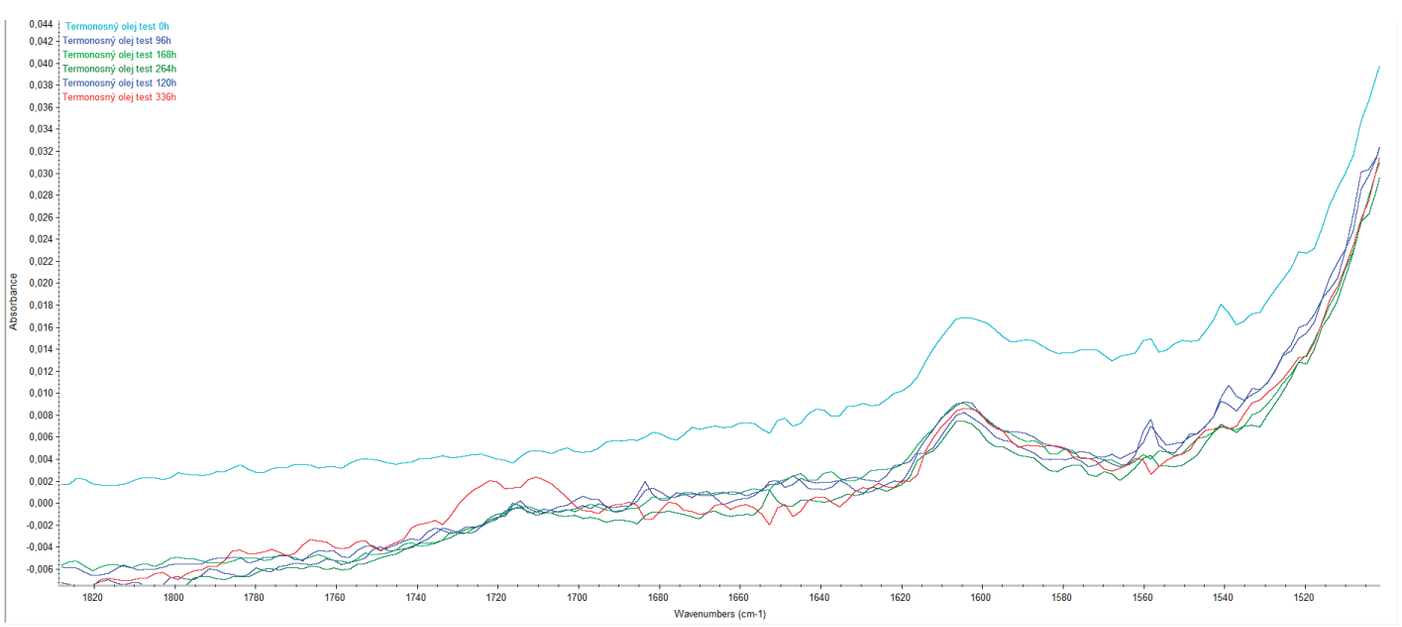
Obr. 4: Detail FT-IR spektra termonosného oleje v závislosti na době temperace při 150 °C.

temperování se kód čistoty zvýšil na 16/15/13. Po 168 hodinách kód čistoty dosahuje hodnoty 17/16/14 a na konci experimentu po 336 hodinách dosahoval kód čistoty extrémní hodnoty 27/27/25.

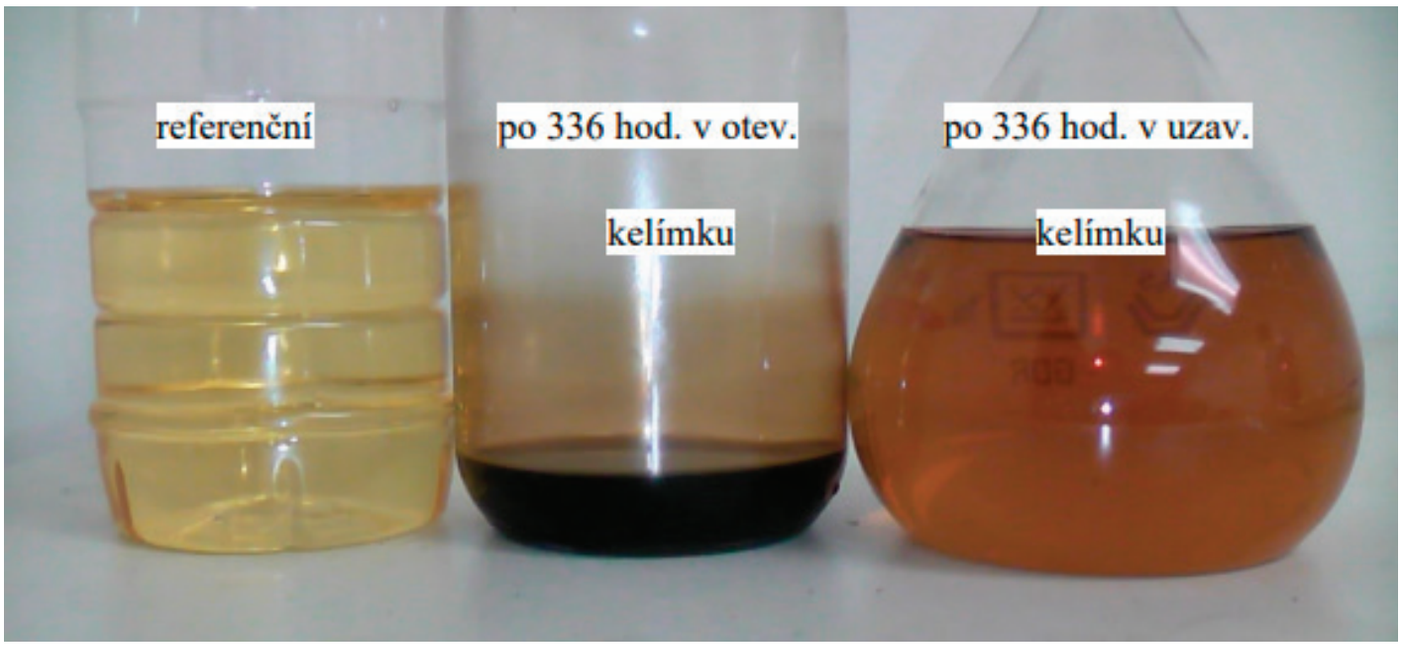
Na obrázku č. 3 (a v detailech na obrázcích č. 4 a 5) je možné sledovat jednotlivá spektra FT-IR v závislosti na době temperace. Bohužel, standardní projevy v pásmech oxidace (1 700 až 1 750 cm^{-1}), nitratace (1 600 až 1 650 cm^{-1}) nebo sulfatace jsou prakticky nezřetelné. Pouze na konci testu je v pásu oxidace již zřetelnější nárůst.

Daný případ je ve své jednoznačnosti patrný z obrázku č. 6, kde pro doslova laické vizuální porovnání je zobrazen v nádobách referenční (nový) olej a jeho vzhled po temperaci v otevřeném a uzavřeném kelímku. Pro další zvýšení povědomosti jsou na obrázcích č. 7 a 8 ukázky dalšího využití metod technické diagnostiky.

Jak se projevuje znečištění maziva na hodnotě celkových vibrací zařízení je patrno z obrázku č. 9, kde je znázorněno FFT spektrum rychlosti vibrací kuličkového ložiska, přičemž mazivo je znečištěno měkkými kaly, resp. již jeho tvrdou fází. Toto spektrum lze srovnat s frekvenčním spektrem uvedeným na obrázku č. 10, kde je spektrum čistého maziva. Na první pohled je při srovnání těchto spekter zpozorovatelný nárůst vibrací v celém FFT spektru. V případě znečištění maziva zvláště pak výrazné zvý-

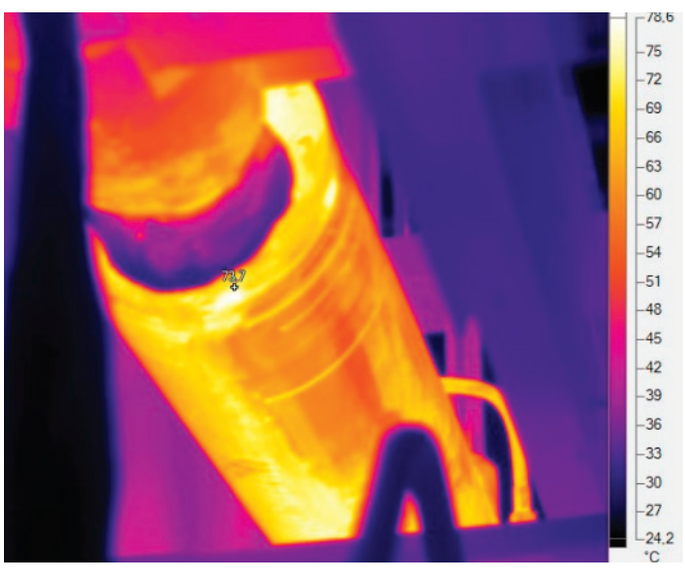


Obr. 5: Detail FT-IR spektra v pásmech oxidace (1 700 až 1 750 cm^{-1}), nitratace (1 600 až 1 650 cm^{-1}) termonosného oleje v závislosti na době temperace při 150 °C.



Obr. 6: Pohled na olej v jeho různých podobách.

Obr. 7: Příklad morfologie nečistot.



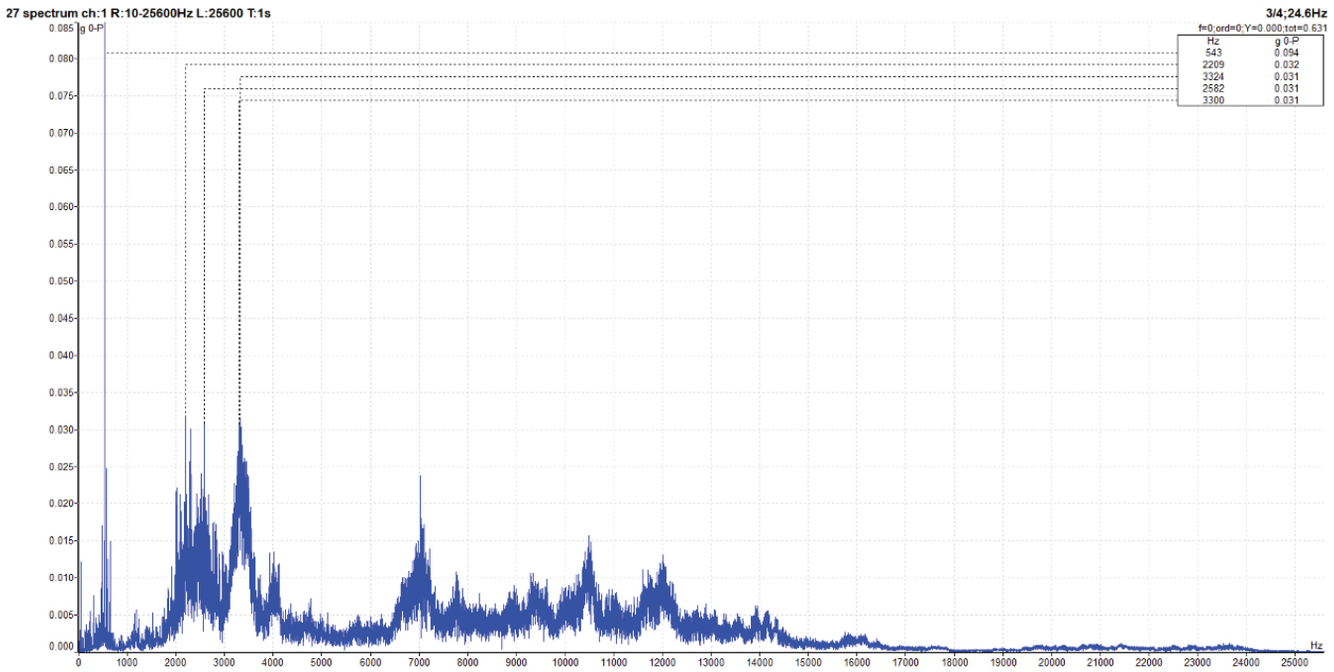
Obr. 8: Termosnímek hnětacího válce.

šení vibrací nad 5 000 Hz, kde se projevují vysokofrekvenční děje, např. problémy s mazáním. Nad tímto pásmem je vhodné nastavit alarmové limity pro upozornění. Celkové zvýšení vibrací je závislé od technického stavu ložiska. Poškození se projevuje zpravidla pod 5 000 Hz, znečištění převážně nad tímto pásmem. Zvýšení vibrací na dvojnásobek může snížit životnost ložiska o 4 až 8 násobek, proto je vždy vhodné využití metod technické diagnostiky pro včasnou detekci vznikající závady.

Na obrázku č. 11 nacházíme pohled na širokopásmové spektrum zrychlení vibrací u portálové frézky, u které bylo na základě dlouholetých praktických zkušeností podezření na problém s mazáním. Nerespektování doporučení výrobce o správném provozu portálové frézky přineslo cca po osmi měsících nesprávného provozu degradaci ozubeného převodu, které je vidět na obrázku č. 12. Z tohoto obrázku je jednoznačně patrný stav opotřebení ozubeného převodu, který představuje i ekonomické ztráty.

3 | ZÁVĚR

Z předložených provozních případů je zřejmé, že využití tribodiagnostických testů a zkoušek má své plné opodstatnění pro zvýšení provozní spolehlivosti, provozuschopnosti a životnosti strojního celku. Pro výrobní organizace a výrobní procesy doporučujeme pojímat údržbu jako procesně technickou činnost. Údržba je tím základním nástrojem k naplnění citovaného a ve svém systémovém chápání patří k základním nástrojům údržby právě tribologie a tribotechnika, a samozřejmě technická diagnostika v celé své komplexnosti [2,3]. Jedině prediktivní údržbou (určujeme nejen technický stav, ale preventivně predikujeme zbytkovou životnost a odhadujeme čas do poruchy) s proaktivním pří-



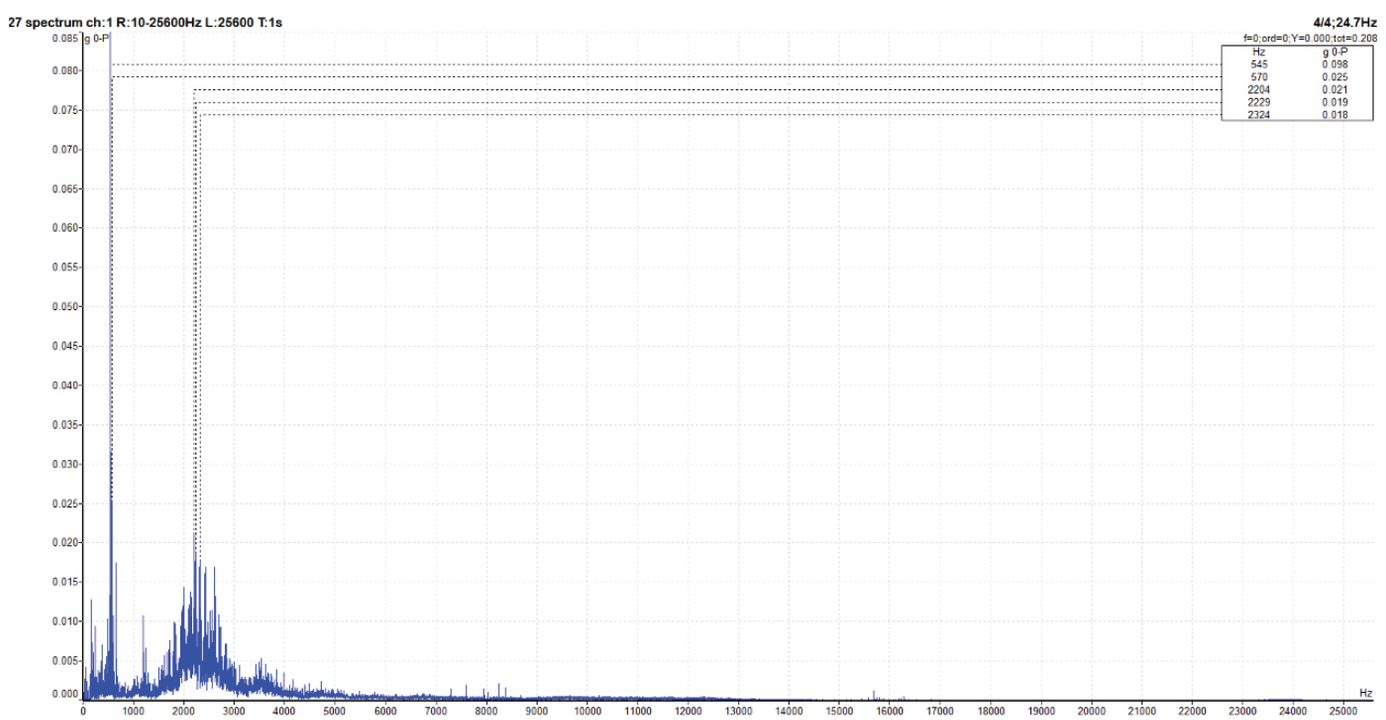
Obr. 9: FFT spektrum rychlosti vibrací ložiska se znečištěným mazivem.

stupem (hledání skutečné příčiny závady) dosáhneme potřebného, což je plně v souladu s dnešním přístupem definovaným v „Průmysl 4.0“ [7] .

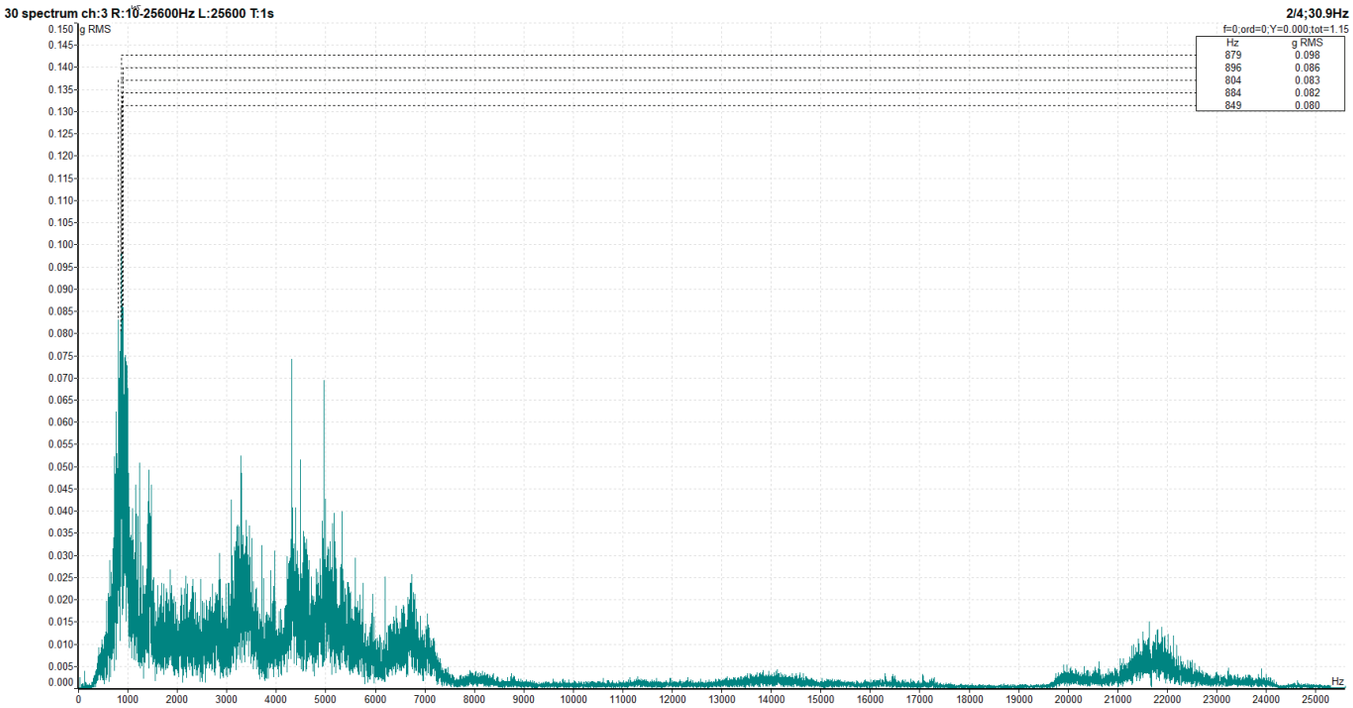
Z předloženého článku je zřejmé, že multiparametrický přístup k detekování závad je pro zvýšení jistoty rozhodnutí o stavu věcí nenahraditelný, přesto z pohledu uvedeného je možno vytvořit následující závěry. Pro identifikaci vzniku měkkých kalů se jeví jako nejvhodnější:

- sledování na ultrafiltrech o velikosti 0,45 µm a v pokročilých fázích i na 0,8 µm. Je třeba ovšem dodržovat okrajové podmínky, jako je teplotní a časová stabilizace vzorku. Zvýšená teplota zmenšuje velikost částic a zase se zvětšujícím časem pro stabilizaci se zvětšuje velikost částic.

- nepřekračování provozní teploty 60 °C a cca 48 hodin pro správné vyhodnocení vzorku. Znečištění maziva je nesmírně důležitým faktorem

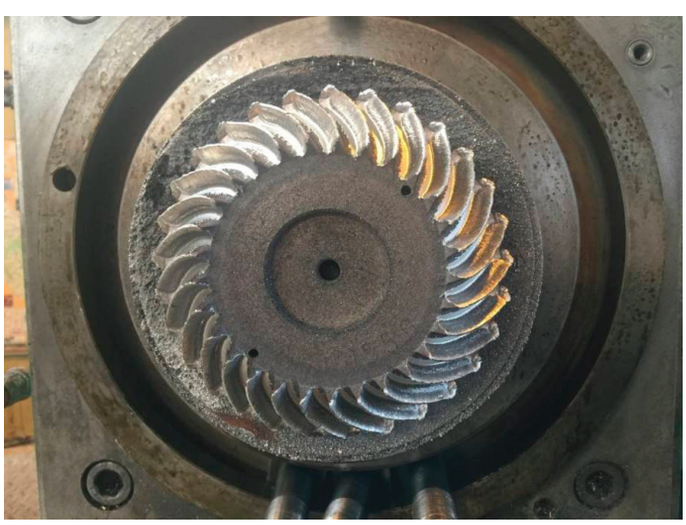


Obr. 10: FFT spektrum rychlosti vibrací ložiska s čistým mazivem..



Obr. 11: Širokopásmové spektrum zrychlení vibrací portálové frézky..

ovlivňujícím vibrace zařízení a tím jeho životnost. Včasná identifikace znečištění maziva nebo identifikace ze spekter vibrací dokáže zabránit výraznému poškození zařízení, a tím vede k zajištění spolehlivosti zařízení v obecném pojetí.



Obr. 12: Stav opotřebení ozubeného převodu po dalším provozování.

LITERATURA

[1] HELEBRANT, F., FRIES, J.: Machines maintenance from point of view of present procedural understandig maintenance. In.: 13 th International symposium on mine planning and equipment selection – MPES 2004, Wroclaw 2004, A. A. Balkema Publisher London 2004, p. 377 – 381, ISBN 04-1535-937-6.

[2] NEUBERT, M.: Měření teploty obložení poháněcího bubnu zakladače. Zpráva VVV MOST spol. s r.o., 2008, č.s. SD TR 25/08, 17 s. + 42 s. příloh.

[3] HELEBRANT, F., DEDRLE, J.: Profesní certifikace v ATD ČR, o.s.In Ekonomics and Organization of Enterprise 5/2009, Institute of Organization and Management in Industry „ORGMASZ", s. 73, CD s. 237 – 239, ISSN 0860 – 6846.

[4] VOŠTOVÁ, V., HELEBRANT, F., JEŘÁBEK, K.: Provoz a údržba strojů. II. část, Údržba strojů. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02531-4.

[5] HELEBRANT, F., MONI. V., HUDECZEK, M., URBAN, P.: Technická diagnostika a spolehlivost – V. Termografie. VŠB – TU Ostrava 2008, 1. vydání, 72 s., ISBN 978-80-248-1942-6.

[6] HELEBRANT, F. et al.: Harmonizace optimalizace diagnostických metod a modulů. II. část, Dílčí zpráva, VŠB – TU Ostrava 2011, Grant MPO FT-TI1/537, Komplexní diagnostický systém pro pásovou dopravu, etapa E3, 97 s.

[7] Průmysl 4.0 – Wikipedie (wikipedia.org).