

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Technická diagnostika obráběcích strojů

Technical Diagnostic of Machine Tools

Student:

Bc. Michal Hemala

Vedoucí práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student:	Bc. Michal Hemala
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace:	72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma:	Technická diagnostika obráběcích strojů Technical Diagnostic of Machine Tools
Jazyk vypracování:	čeština

Zásady pro vypracování:

Aplikace multiparametrických metod umožňují eliminaci chybného určení diagnózy stroje, resp. vhodně zvolené metody technické diagnostiky umožňují vysokou spolehlivost při odhalení vznikajících poruch již v jejich zárodku. Zvolte proto vhodné nástroje multiparametrické diagnostiky a aplikujte je při určování technického stavu obráběcích strojů. V rámci diplomové práce se zabývejte problematikou týkající se diagnostiky obráběcích strojů a možností identifikace vznikajících závad. Zhodnoťte možnosti použití a výsledky jednotlivých metod při jejich aplikaci. Změřená data analyzujte a proveďte následná vyhodnocení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte potřebná měření.
5. Proveďte konkrétní provozní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej*,

teoria i praktika. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

Podkladové materiály firem - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 10 816 *Vibrace-Hodnocení vibrační strojů na základě měření na nerotujících částech*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6

ŠAFR, E. *Tribotechnika*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 300 s. 04-243-84

ŠAFR, E. *Technika mazání*. 2. dopl. vydání, SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970. 381 s. ISBN 04-010-70

HRADECKÝ, F., VLK, M. *Tribotechnika*. 1. vydání, Praha : SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1984. 297 s.

FS_SME_05_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2018

.....


podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠT-TUO.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše)
- Beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledky její obhajoby.

V Ostravě: 21.5.2018

Michal Hemala

Jaroslava Kučery 53

796 01 PROSTĚJOV



.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Janu Blatovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, cenné rady a odborný dohled.

Dále děkuji všem ochotným a nápomocným lidem z firmy John Crane a.s. za poskytnutí důležitých informací, rad a jejich názorů.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hemala M. *Technická diagnostika obráběcích strojů*. Ostrava VŠB

- Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 69 s. Vedoucí práce: Ing. Jan Blata, Ph.D.

Diplomová práce hodnotí obráběcí stroje společnosti John Crane a.s. pomocí technické diagnostiky. V úvodu práce je popsáno aktuální nastavení údržby ve společnosti, poté následuje představení čtyř vybraných obráběcích strojů podrobených diagnostickým testům. Experimentální měření je provedeno prostřednictvím vibrodiagnostiky, tribodiagnostiky a termodiagnostiky. Následně jsou uvedena kritéria jednotlivých testů, která obsahují limity pro vyhodnocení spolu s popisem jednotlivých metod využitých při technické diagnostice. K zakončení práce patří zhodnocení výsledků použitých testů, popisu nalezeného problému a jeho odstranění. Závěrem navrhuji nápravná a preventivní opatření pro zamezení opakovaného výskytu nalezených problémů.

Klíčová slova: Obráběcí stroje, termodiagnostika, tribodiagnostika, vibrodiagnostika

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

Hemala M. *Technical Diagnostic of Machine Tools*.

Ostrava: VŠB – Technical university Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2018, 69 p. Thesis head: Ing. Jan Blata, Ph.D.

The thesis evaluates machine tools of John Crane company by using Technical Diagnostic. The introduction of the thesis describes the maintenance set up the company and presents four machine tools which we tested by Technical Diagnostic. Experimental measuring is provided via Vibrodiagnostic, Tribodiagnostic and Thermodiagnostic. As a following issue there are the criteria of each test stated which contain limits for evaluating the methods with description used during Technical Diagnostic testing. The last part contains an evaluation results of the applied tests, a description of the problems that occurred solution if the problems. Finally, there are corrective and preventive actions proposed, to avoid a repeated occurrence of the problems found.

Keywords: Machine Tools, Thermodiagnosics, Tribodiagnosics, Vibrodiagnostic

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk.....	9
Úvod.....	10
1 John Crane a.s.	11
1.1 Historický vývoj společnosti	11
1.2 John Crane a jeho klíčové produkty	12
1.3 Společnost Smiths Group	15
2 Zabezpečení údržbářských činností společnosti	18
2.1 Interní údržba.....	18
2.2 Externí údržba.....	19
3 Technický popis	20
3.1 Hydraulický olej Divinol HLP ISO 32	20
3.2 Popis zkoumaných strojů.....	21
3.2.1 Mori Seiki NLX 2500/700	21
3.2.2 Mazak Integrex 35	22
3.2.3 Mazak Quick Turn 350	23
3.2.4 Mazak Integrex i-300.....	24
4 Zhodnocení diagnostiky.....	25
4.1 Postup při vyhodnocení diagnostických metod	25
4.1.1 Vibrodiagnostika.....	25
4.1.2 Tribodiagnostika	29
4.1.3 Termodiagnostika	38
4.2 Výsledky odebraných vzorků	41
4.2.1 Referenční vzorek hydraulického oleje	41
4.2.1 Mori Seiki NLX 2500/700	41
4.2.2 Mazak Integrex 35	47
4.2.3 Mazak Quick Turn 350	51
4.2.4 Mazak Integrex i-300.....	55
5 Závěr	60
5.1 Vyhodnocení.....	60
5.2 Návrh nápravných a preventivních opatření.....	63
Seznam použité literatury	65
Seznam obrázků.....	66
Seznam tabulek.....	68
Seznam příloh	69

Seznam použitých symbolů a zkratek

c	– konstanta viskozimetru
ČSN	– česká technická norma
f	– frekvence [Hz]
FT-IR	– infračervená spektrometrie
Hz	– hertz, jednotka frekvence
ISO	– International Standard Organization
KOH	– hydroxid draselný
mg	– miligram, jednotka hmotnosti
min ⁻¹	– otáčky za minutu
mm	– milimetr, jednotka délky
mm ² ·s ⁻¹	– jednotka kinematické viskozity
mol	– látkové množství
obr.	– obrázek
plc	– public limited company
ppm	– part per million
t	– teplota [°C]
TAN	– číslo celkové kyselosti
v _{RMS}	– efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm·s ⁻¹]
a _{RMS}	– efektivní hodnota zrychlení vibrací [g]
v	– kinematická viskozita [mm ² ·s ⁻¹]
μm	– mikrometr, jednotka délky

Úvod

Diplomová práce je zpracována ve spolupráci se společností John Crane a.s. a zabývá se technickou diagnostikou obráběcích strojů.

Úvodem popisuji historii společnosti, věnuji se současným klíčovým produktům a představuji ideologii nastavenou skrze společnost. Pokračuji k aktuálním činnostem spolu se zabezpečením údržby, popisuji dílčí procesy, které jsou realizovány jak vlastními zaměstnanci John Crane, tak externími zdroji. Předkládám informace z technického listu maziva, které je shodné ve všech zkoumaných zařízeních. Následuje charakteristika čtyř vybraných obráběcích strojů, které jsou podrobeny experimentálním měřením za pomoci speciálních zařízení technické diagnostiky. Konkrétně se jedná o vibrodiagnostické testy určující vibrace na stroji a opotřebení daných strojních součástí, tribodiagnostiku za účelem vyhodnocení stavu mazacího systému jako celku spolu se zhodnocením samotného maziva a termodiagnostiku jako aplikovanou metodu poukazující na případné problémy v hlavním rozvaděči obráběcího stroje. Dále definuji maximální meze pro vyhodnocení diagnostických testů, nastavených na míru použitým metodám a zkoumaným strojům. Popisuji jednotlivé diagnostické metody, kterých bylo využito při experimentálních měřeních k získání objektivních výsledků.

V praktické části diplomové práce je vylíčen samotný odběr vzorků hydraulických kapalin, měření vibrací spolu s uchycením snímačů a použití termokamery s následným pořízením snímků rozvaděčů. Prezentace výsledků diagnostických zkoušek je uspořádána v kapitolách obsahující názvy strojů, pod kterými je rozepsáno vyhodnocení vibrodiagnostiky, tribodiagnostiky a termodiagnostiky. Detailní vyhodnocení jednotlivých metod obsahuje detekovaný nález spolu s doporučenou akcí, která povede k vyšší životnosti a spolehlivosti zařízení.

Závěrem diplomové práce zhodnotím výsledky zkoumaných strojních zařízení, popíši případné problémy, navrhnou nápravné a preventivní opatření. Výsledkem těchto akcí bude prodloužení životnosti strojního zařízení a finanční úspora pro společnost John Crane.

1 John Crane a.s.

1.1 Historický vývoj společnosti

Pro vytvoření podkapitoly jsem využil literatury [2], [3], [4], [5].

Společnost byla založena roku 1917 v čele s Frankem Paynem jako prvním prezidentem a generálním ředitelem společnosti Crane Packing Company v Morton Grove v Illinois. Významným produktem společnosti byly šňůrové ucpávky, které zdokonalily technologii těsnících prvků.

Crane Packing zakládal další pobočky ve Philadelphii, New Yorku a Pittsburghu. Šňůry z Crane Packing využívaly ostatní značky ve svých produktech jako účinného těsnění. Staly se standartním prvkem mnoha zařízení.

John Crane se nezastavil, naopak dále sílil, budoval nové pobočky ve světě, vyvíjel nové produkty a zásadní průlom přišel v roce 1939, kdy patentoval první mechanickou ucpávku aplikovanou do vodní pumpy v automobilu. Téhož roku prodal pobočky na území Anglie skupině Tube Investment (TI). Produktivnost v letech 1941 až 1949 přinesla společnosti celkem 24 patentů, například aplikaci ucpávek za vysokého tlaku, antikorozi aplikace, kazetovou ucpávku (cartridge), přinášející snížení prostojů při instalaci a další. John Crane sídlící na území Anglie, jehož vlastníkem byla TI group, získal patent na hřídelové spojky.

Roku 1951 odkoupilo Crane Company 26 akrů půdy v Motron Grove, kde začala výstavba centrály zahrnující prostory výrobních hal i kanceláří. Do provozu byla uvedena následujícího roku a během dalších 15 let několikanásobně rozšířena.

Crane Company kladla již v minulosti velký důraz na kvalitu produktu, roku 1960 jako důvěryhodná společnost nainstalovala hřídelovou spojku pracující v nukleárním zařízení. Roku 1968 získala patent na další významný produkt, a to suché mechanické ucpávky. Téhož roku se Crane Company stěhuje na nové místo v Morton Grove, v Illinois o ploše 63 000 metrů čtverečných.

Společnost, doposud známá jako rodinný business, byla v roce 1981 koupena holdingovou skupinou Houdaille Industries a přejmenována na John Crane – Houdaille. Skupina TI, vlastníci anglické pobočky John Crane, učinila roku 1987 rozhodnutí odkoupit

všechny pobočky John Crane vlastněné skupinou Houdaille Industries v zájmu vytvoření John Crane International.

Produkty společnosti plní přísné bezpečnostní normy amerického ropného institutu API a EPA, týkající se látek ohrožující životní prostředí. Od roku 1990 se John Crane rozšířil o společnosti Lemco, Seaol, Safematic a Flexibox, které se specializovaly na spojky a mechanické ucpávky v jiných oblastech.

Česká pobočka byla založena v Lutíně roku 1993 jako společný podnik Sigma a John Crane s názvem John Crane Sigma a.s. Dva roky po založení získala první certifikaci ISO 9001, roku 1996 odkoupil John Crane podíl Sigmy a stal se jediným vlastníkem společnosti. V letech 1998 až 1999 se stala centrálou pro východní Evropu. Investovalo se do nárůstu výrobních kapacit, budov a nových strojů. Během následujících deseti let expandovala v největší výrobní pobočku John Crane na světě.

V roce 2000 vstoupila Tube Investments Group, vlastníci pobočky John Crane, do Smiths Group plc. Následovala koupě společnosti Indufil BV, která přidala do produktového portfolia filtrační systémy spolu s filtračními prvky. Začátkem roku 2018 se Smiths Group rozhodla prodat divizi s produktem hydrodynamických ložisek, k uvolnění kapitálu pro další investice do výzkumu a vývoje inovačních řešení jako jsou digitalizace, 3D tisk a materiály na bázi nanotechnologií.

1.2 John Crane a jeho klíčové produkty

Pro vytvoření podkapitoly jsem využil literatury [5], [6], [15].

Mechanické ucpávky

Jedná se o druh těsnění, který zabraňuje nechtěnému úniku čerpaných kapalin a plynů kolem os, hřídelí, tyčí, táhel a plunžrů, procházejících skrz oddělovací bariéru.

Hřídelové mechanické ucpávky slouží k zamezení úniku média z hydraulické části čerpadla. Jejich hlavní části rozdělujeme na rotační a pevné. Klíčové těsnící prvky jsou z rotačních komponentů čelo, které je přitlačováno pružinou na pevnou část ucpávky zvanou sedlo. Touto mechanickou silou je udržována ucpávka



Obr. 1 Mechanická ucpávka [5]

v jednom kompaktním celku. Styčné plochy sedla a čela jsou při provozu následně chlazeny a mazány minimálním průsakem čerpaného média.

Mají komplexnější využití, než si většina populace dokáže představit. Slouží nám například při stisku obyčejného elektrického vypínače, zapnutí plynového sporáku, tankování u benzínové pumpy atd.

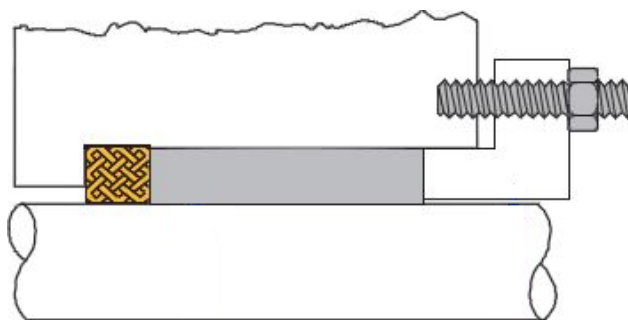
Typy mechanických ucpávek:

- Mokrý mechanické ucpávky – slouží k utěsnění zařízení za pomoci čerpané kapaliny. Primárně jsou rozděleny na jednoduché a dvojité. Volba typu záleží na provozních podmínkách, požadavcích a druhu čerpané kapaliny. Rozsah použití pokryje všechny typy čerpadel, a to od jednoduché ucpávky na přesných vodních kompresorech, až po vysoce náročná olejová čerpadla na mořských platformách.
- Suché mechanické ucpávky – slouží k utěsnění zařízení za pomoci plynové bariéry, která vzniká mezi rotační a stacionární částí, tedy mezi čelem a sedlem. Ucpávky fungují za pomoci spirálních drážek, které při rotaci pomoci hydrodynamické síly nadzvednou a oddělí těsnící plochy ucpávky. Hlavní využití nacházejí v kompresorech, turbínách a ventilátorech.

Ucpávkové šňůry

Ucpávkové šňůry mají stejný cíl jako mechanické ucpávky, a to zamezit úniku média z hydraulické části čerpadla. Slouží tedy k redukci průsaků plynů nebo kapalin u hřídelí, pístních tyčí, vřeten nebo jiných částí zařízení. Jsou to předchůdci mechanických ucpávek. Jejich těsnění se skládají z několika kroužků, vyrobených z relativně měkkých materiálů a jsou vsazeny do místa mezi hřídel a vnější pouzdro. Utažením víka ucpávky axiální silou proti nejbližšímu těsnícímu kroužku je vyvolán radiální tlak, který stlačuje vlastní ucpávku proti stěnám pouzdra i hřídele a tím dojde k utěsnění čerpaného média.

Důvody pro používání stlačovaných ucpávek jsou jednoduchá konstrukce, malá citlivost na opotřebení při vhodně zvolených materiálech, univerzální použitelnost, malé nároky na skladování, levný chod i výměna a cenově výhodnější řešení oproti mechanické ucpávce, v závislosti na podmínkách provozu.



Obr. 2 Šňůrová ucpávka [5]

Filtrační systémy

Filtrace je mechanická nebo fyzická operace, která je používána k oddělení pevných částic od kapalin nebo plynů při průchodu média skrze filtr.

Filtrační systémy rozdělujeme do dvou hlavních skupin. První skupinou jsou filtrační systémy kapalin, které filtrují pevné částice rozsahu 1–100 μm . Druhou skupinou jsou filtrační systémy plynů, používané pro filtrování pevných částic od 1-3 μm . Filtry mohou být uzpůsobeny také k odstraňování vody v médiu, která je nežádoucím prvkem. Filtrací oleje prodlužujeme životnost strojního zařízení a jeho částí např. mechanických ucpávek, kdy jejich třecí plochy nepřichází do styku s mechanickými nečistotami. Filtrujeme například maziva, paliva, hydraulický olej a další. Filtrační systémy využíváme v mnoha oblastech jako jsou rafinerie, petrochemický a chemický průmysl.



Obr. 3 Filtrační jednotka [5]

Hřídelové spojky

Spojky jsou používány pro spojení dvou hřídelů, k zajištění přenosu otáček a kroutícího momentu z hnací hřídele na hnanou. Určité druhy spojek umožňují spojení hřídelů i v případě jisté nesouososti. Každý typ spojky má předepsané maximální tolerance, jakých může nesouosost hřídelů dosahovat. Mezi spojovanými zařízeními může vzniknout rovnoběžná nebo úhlová nesouosost, kterou se snaží montážník minimalizovat již při ustavení dvou spojovaných zařízení.

Výhodou je snadné rozpojení a spojení hřídelí bez nutnosti demontovat hnanou nebo hnací část, další výhodou mají spojky konstruované jako pojistné, které slouží k přenosu krouticího momentu pouze do maximálního zatížení. V závislosti na typu spojky může dojít při překročení zatížení k prokluzu. Při opětovném poklesu na dovolené zatížení začne spojka opět nepoškozená plnit svoji funkci. Jiné typy jsou konstrukčně řešeny tak, že při vyšším, než dovoleném zatížení dojde k deformaci spojky, kdy je nutná výměna určité části nebo spojky jako celku.

1.3 Společnost Smiths Group

Pro vytvoření podkapitoly jsem využil literatury [2], [4], [5].

Smiths Group plc

Smiths Group je globální technologická společnost kótovaná na londýnské burze cenných papírů. Používá špičkovou technologii při projekci, výrobě a aplikaci prvotřídních řešení, která vyhovují měnícím se požadavkům zákazníků. Výrobky a služby se dotýkají života milionů lidí každý den. Nabízí nové možnosti průmyslu, zkvalitňují lékařskou péči, zvyšují bezpečnost, propojují a podporují nové bydlení.

Nabízí služby na sedmi koncových trzích prostřednictvím divizí:

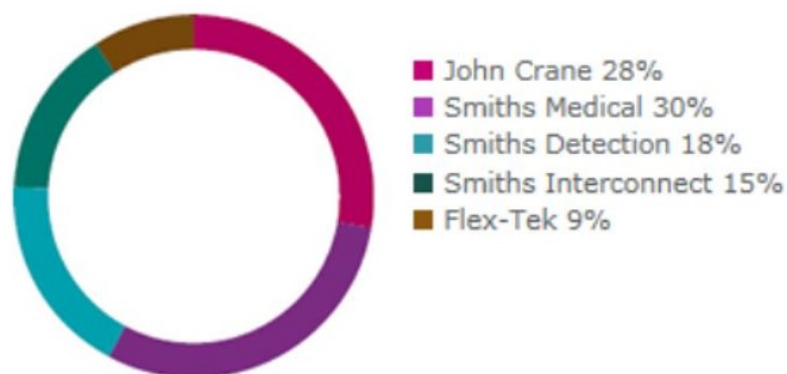
- John Crane
- Smiths Medical
- Smiths Detection
- Smiths Interconnect
- Flex-Tek

Své portfolio zaměřují na nejatraktivnější koncové trhy, kde dokáží udržet vyšší než tržní růst. Celkový příjem za rok 2017 je £3, 280 m s více než 22 000 zaměstnanci po celém světě.

Jednotlivé divize Smiths Group

Společnost Smiths Group má pět divizí, z nichž každá obsluhuje trhy se specializovanými technologiemi po celém světě. Jednotlivé divize jsou odborníky na svých trzích a úzce spolupracují se zákazníky na poskytování inovativních řešení, která uspokojí jejich vyvíjející se potřeby.

- John Crane – Poskytuje kritická řešení pro energetický a zpracovatelský průmysl. Je lídrem na trhu v oblasti mechanických ucpávek, používá špičkové technologie v praxi i v oblasti inženýrství, má širokou nabídku poprodejního servisu, kde v současné době probíhají asi dvě třetiny obchodů a je jednou z největších globálních servisních sítí v segmentu mechanických ucpávek mající cca 200 prodejních a servisních center.
- Smiths Medical – Dodává kvalitní, finančně výhodné zdravotní prostředky a spotřební materiál, který je nezbytný pro péči o pacienty. Je lídrem v kategorii na vybraných trzích, vysoce uznávaná respektovaná značka, která má široké portfolio produktů, silný kapitál s dobrou pověstí díky stále kvalitě a bezpečnosti v kombinaci s rozsáhlou globální prodejní sítí.
- Smiths Detection – Lídr na poli detekce a odhalování bezpečnostních hrozeb a kontrabandu. Technologie jsou využívány na mnoha různých trzích, pro které je třeba certifikace produktů. Dosahuje 39 % celkových výnosů z poprodejního servisu.
- Smiths Interconnect – Řešení vysokorychlostní konektivity v náročných aplikacích. Moderní a technicky různorodé nabídky podle požadavku zákazníka, vysoce spolehlivá řešení používaná v náročných aplikacích. Působí na globálním trhu, má široký rozsah činnosti a výkonnou podporu zákazníka.
- Flex-Tek – Kapaliny a plyny jsou ohřívány a přepravovány pomocí moderních komponentů společnosti. Špička na trhu v segmentu potrubí pro dodávku plynu do domácností, flexibilního potrubí pro vysoce náročné aplikace v leteckém průmyslu, prvotřídní schopnosti projekce a výroby řešení ohřevu pro zakázkové aplikace spolu s pevnými vztahy se zákazníky.



Obr. 4 Příjmy z jednotlivých divizí [5]

Smiths Way

Smiths Group má dané hodnoty, které jsou platné napříč všemi divizemi a provozy. Pracovat podle Smiths Way je kriticky důležité, má-li společnost naplnit svoji ambici přivést Smiths mezi nejlepší světové technologické firmy. V rámci Smiths Way existuje spolupráce na důležitých programech jako je podpora inovace nebo budování vzdělávací organizace, společným provozním modelem Smiths Excellence System.

Smiths Excellence System umožňuje v celé skupině aplikovat optimální praktické postupy, které udržitelným způsobem zvyšují rychlost a efektivitu v rámci naší činnosti, zajišťující soustavnost při provádění prací a kulturu kontinuálního zlepšování. Zaměstnanci po celém světě spojují právě tyto hodnoty Smiths Way.

2 Zabezpečení údržbářských činností společnosti

Pro vytvoření podkapitoly jsem využil literatury [5], [16].

2.1 Interní údržba

Činností, respektive službou, kterou vykonávají samotní zaměstnanci společnosti označujeme pojmem známým jako insourcing. Znamená zajištění služeb vlastními zdroji, jako jsou pracovníci, čas a prostředky organizace. Změna určitých služeb z externích na interní může přinést jisté výhody společnosti, jako jsou úspora transakčních nákladů, složitá kooperace s dodavatelem, bezpečnostní hledisko, kdy vzniká obava ohledně úniku důvěrných či existenčně důležitých informací společnosti nebo z jakýchkoliv jiných důvodů, které přinesou výhody insourcingu oproti externím společnostem. Při tomto rozhodnutí společnost převezme vykonávání těchto činností, resp. služeb do vlastních rukou.

John Crane má zavedeny pravidelné preventivní prohlídky v plánu údržby, zahrnující všech cca 90 strojů, které jsou v daném intervalu kontrolovány.

Prohlídky jsou rozděleny na:

- měsíční
- půlroční
- roční

Všechny stroje uvnitř firmy podléhají jeden krát do měsíce tomuto typu prohlídky. Měsíční preventivní prohlídka zahrnuje seznam daných úkonů, které se provedou, vyhodnotí a při negativním výsledku jsou zpracována nápravná opatření. Je zabezpečena interním údržbářem. Prohlídky půlroční a roční podléhají vždy certifikovaným pracovníkům ze shodné společnosti, jako je výrobce stroje.

Každý stroj má nastavenou autonomní údržbu, kterou vykonává obsluha daného stroje. Popisuje kontrolu stroje, pracoviště před zahájením a po dokončení pracovní činnosti. Je povinna plnit údržbu zařízení zahrnující vizuální prohlídky krytů stroje, ovládacích prvků, maznic, sklíčidla, systému chlazení, kapalin a další.

Pracovník údržby má za úkol každodenní sběr dat z údržbářského systému Profilax a RCA tabulí sloužících pro monitorování poruch a nedostatků na pracovišti. K tomu plní běžné opravy, ke kterým je oprávněn. Na závažné poruchy využívá společnost externích firem.

2.2 Externí údržba

Externí údržba, která je nazývána pojmem outsourcing, je jedním z trendů moderního podnikání a slouží jako nahrazení vlastních údržbářských činností, které se obvykle provádí i s využitím vlastních zdrojů. Není univerzálním řešením pro kterýkoliv podnik ani jakoukoliv situaci. Je to jedna z alternativ, která musí být seriózně zvážena. Z outsourcingovaných činností by měla plynout úspora nákladů, navýšení kvality prováděných činností, možnost využití licencovaných pracovníků se speciálními přístroji, snížení rizik a nezávislá expertíza.

Externí firmy pro John Crane zabezpečují údržbu týkající se vibrodiagnostiky, tribodiagnostiky, termodiagnostiky, kontroly geometrie stroje, závažnějších oprav při kolizích, olejového hospodářství, všeobecné čistoty na pracovišti a péči o obráběcí emulze.

Vibrodiagnostiku, tribodiagnostiku a termodiagnostiku mají na starost dohromady 3 společnosti. Každá z nich obhospodaruje třetinu strojů, které pravidelně monitoruje. Podle rozpisu projde každý stroj jeden krát za šest měsíců kompletní diagnostikou.

Seřizování stroje a opravy po kolizích zabezpečují dvě společnosti, které mají za úkol udržovat stroje v provozuschopném stavu nebo je co nejrychleji do provozuschopného stavu navrátit.

Olejové hospodářství, čištění strojů a kontrolu obráběcí emulze zajišťuje společnost několika pracovníky v různých intervalech. Konkrétně u emulze, které je průměrně 1 000 l v každém stroji se v týdenním intervalu měří její pH a koncentrace. Rozmezí pro optimální hodnotu pH je od 8,7 – 9,5. Zjistí-li se hodnota nižší, než 8,7, proběhne měření výskytu bakterií, plísní a kvasinek pomocí tzv. Dip-Slide testu. Negativní výsledek testu znamená navýšení pH a opětovné měření v pravidelném intervalu. Pozitivní výsledek značí nutnost použití koncentráту Baktericidu v předepsaném množství, který kapalinu regeneruje a zbavuje bakterií. V případě, že i po použití baktericidu naměříme pH nižší, než je hodnota 8,7, následuje výměna obráběcí emulze a vyčištění nádrže. V případě kontroly koncentrace, kde je optimální obsah oleje ve vodě 6-8 % mohou nastat dvě možnosti, a to ředění vodou nebo přidáním oleje až do dosažení požadované hodnoty.

3 Technický popis

3.1 Hydraulický olej Divinol HLP ISO 32

Hydraulický olej Divinol HLP ISO 32 [12] využívají všechna zařízení, která jsou v dané práci podrobena technické diagnostice. Jedná se o vysoce kvalitní hydraulický olej pro těžce zatěžovaná zařízení. Je určen především na vysoké tlaky, čemuž odpovídá i jeho složení, které je na minerální bázi s účinnými látkami zpomalující oxidaci a korozi. Obsahuje také látky snižující tření a opotřebení.

Ochrana očí a obličeje

Obruba brýlí s postranní ochranou.

Ochrana rukou

Používejte vhodné ochranné rukavice. Doporučené rukavicové výrobky: DIN EN 374. Vhodný materiál: NBR (Nitrilkaučuk). Čas průniku (maximální únosnost): > 480 min (Hustota materiálu rukavic: 0.4 mm). Časový průlom a pramenitost materiálu jsou k nahlédnutí. Je doporučeno konzultovat s výrobcem chemickou stálost výše uvedených ochranných rukavic pro speciální použití. Ochranné krémy mohou pomoci chránit exponované části kůže. Po kontaktu by však v žádném případě neměly být použity.

Ochrana kůže

Ochranný oděv.

Ochrana dýchacích orgánů

Při správném použití a v normálních podmínkách není dýchací přístroj nutný. Dochází-li ke stříkání nebo tvorbě aerosolu, musí být použit pro tyto účely vhodný a certifikovaný přístroj k ochraně dýchacího ústrojí. Vhodný respirátor: Filtrační polomaska (EN 149), např. FFA P / FFP3.

Omezování expozice životního prostředí

Nesmí se dostat do kanalizace nebo do vodních toků.

Skupenství:	kapalný
Barva:	hnědavý
Zápach:	charakteristický

	Metoda
pH:	nepoužitelný
Informace o změnách fyzikálního stavu	
Bod tání:	neurčitý
Počáteční bod varu a rozmezí bodu varu:	neurčitý
Bod tekutosti:	< -15 °C DIN ISO 3016
Bod vzplanutí:	> 200 °C EN ISO 2592
Meze výbušnosti - dolní:	0,6 objem. %
Meze výbušnosti - horní:	6,5 objem. %
Zápalná teplota:	neurčitý
Teplota rozkladu:	Žádné informace nejsou k dispozici.
Tlak par: (při 20 °C)	< 0,1 hPa
Hustota (při 15 °C):	0,86 g/cm ³ DIN EN ISO 12185
Rozpustnost ve vodě:	nerozpustný
Rozdělovací koeficient:	neurčitý
Dynamická viskozita:	neurčitý
Kinematická viskozita: (při 40 °C)	32 mm ² /s ASTM D 7042
Vytoková doba:	neurčitý
Relativní hustota par:	neurčitý
Relativní rychlost odpařování:	neurčitý

Obr. 5 Výpis z technického listu hydraulického oleje [12]

3.2 Popis zkoumaných strojů

Pro vytvoření podkapitol jsem využil literatury [7], [11], [17].

3.2.1 Mori Seiki NLX 2500/700

Stroj je konstruován jako revolverový soustruh. Vřeteno pro upínání obrobku je poháněno elektromotorem o výkonu 15 kW s maximálními otáčkami $4\,000\text{ min}^{-1}$, otočná revolverová hlava má výkon 7,5 kW s maximálními otáčkami $6\,000\text{ min}^{-1}$. Při procesu obrábění může být upnuto až 12 nástrojů (pozice 8 a 10 mají vlastní pohon). Pootočením revolverové hlavy jsme připraveni na další operace v závislosti na druhu upnutého nástroje. Výměna nástrojů probíhá manuálně, je při ni kladen maximální důraz na bezpečnost pracovníka, pohybujícího se v blízkosti ostrých předmětů, jako jsou upnuté vrtáky, frézy, soustružnické nože a další. Obrábí se zde především menší součásti rotačního tvaru s možností vrtání děr do průměru 16 mm z obvodu a čela. Používané obráběcí materiály jsou austenitické nerezové, feritické nerezové a zřídka kdy žarupevné oceli.

Hydraulická jednotka zabezpečuje upínání obrobků, nástrojů a aretaci revolverové hlavy. Nádrž o objemu 10 l s poslední výměnou oleje, která proběhla před 18 měsíci.



Obr. 6 Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]

3.2.2 Mazak Integrex 35

Zařízení je více profesní soustružnické centrum. Vřeteno (osa C), které je plně polohovatelné, slouží k upínání obrobku je poháněno elektromotorem o výkonu 26 kW s maximálními otáčkami 3 300 min⁻¹. Stroj dále disponuje naklápěcím frézovacím vřetenem o výkonu 22 kW. Do frézovacího vřetena upínáme soustružnické nože pro klasické frézování, vrtáky, frézy, závitníky a další. Vřeteno při obrábění pracuje pouze s jedním upnutým nástrojem. Disponuje rychlou výměnou nástrojů s výměníkem o kapacitě na 80 míst. Obrábí se zde především středně velké součásti rotačního tvaru s různými drážkami, kapsami, zápichy atd. Používané obráběcí materiály jsou austenitické nerezové a feritické nerezové oceli.

Hydraulická jednotka zabezpečuje upnutí obráběcího nástroje, aretaci naklápěcího frézovacího vřetene a hydraulickou brzdu. Nádrž o objemu 63 l s poslední výměnou oleje, která proběhla před 5 měsíci.

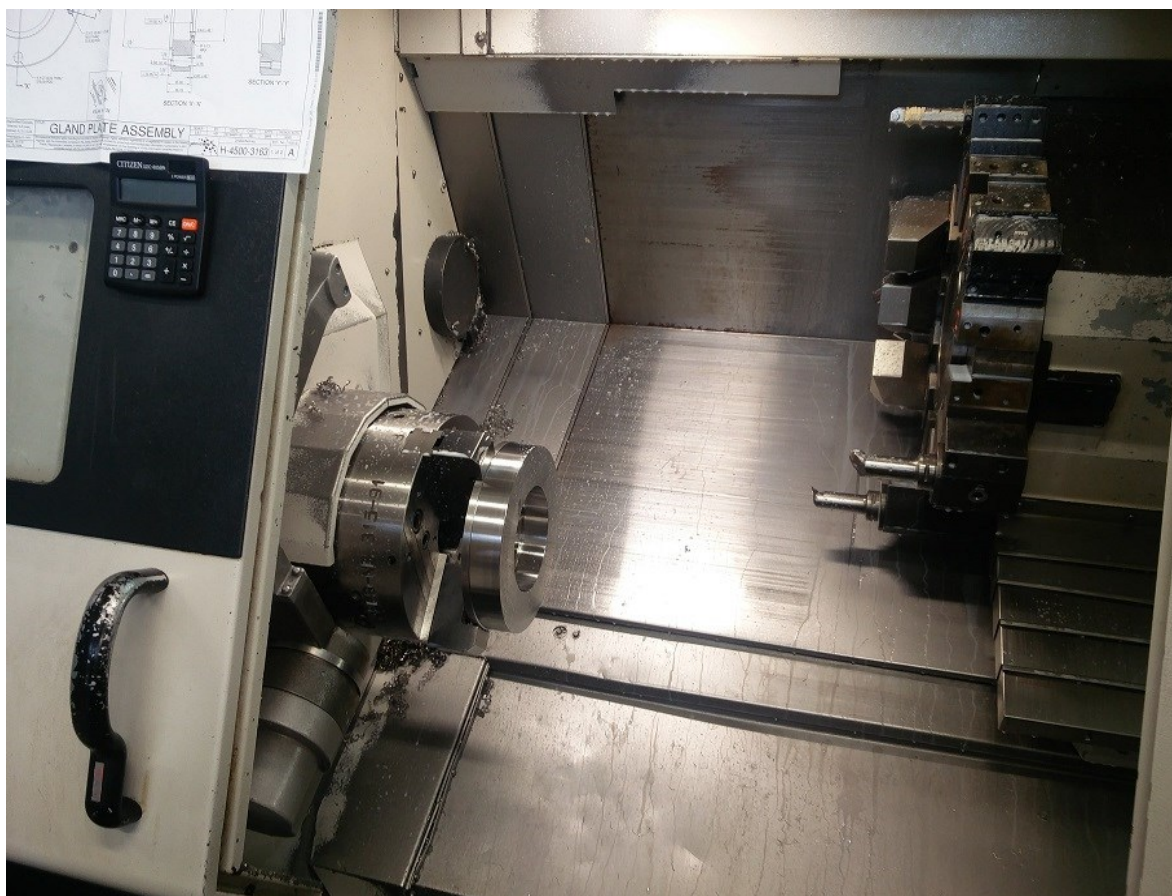


Obr. 7 Mazak Integrex 35 [autor]

3.2.3 Mazak Quick Turn 350

Zařízení je označeno jako revolverový soustruh. Vřeteno pro upínání obrobku je poháněno elektromotorem o výkonu 30 kW s maximálními otáčkami 3 300 min⁻¹. Revolverová hlava soustruhu dokáže pojmout až 12 nástrojů, které nejsou poháněny a stroj slouží výhradně pro klasické soustružení. Výměna nástrojů probíhá ručně z důvodu absence zásobníku nástrojů. Obrábí se zde především středně velké příruby pouze rotačního tvaru. Používané obráběcí materiály jsou austenitické nerezové, feritické nerezové a zřídka kdy žárupevné oceli. Ze čtveřice popisovaných strojů se jedná o nejvhodnější zařízení pro hrubování houževnatých dílců. V rámci servisu stroje se uskutečnila v tomto roce výměna sklíčidla, upínací tyče a nově lineární vedení.

Hydraulická jednotka zabezpečuje upínání obrobků, nástrojů a aretaci revolverové hlavy. Nádrž o objemu 20 l s poslední výměnou oleje, která proběhla před 5 měsíci.



Obr. 8 Mazak Quick Turn 350 [autor]

3.2.4 Mazak Integrex i-300

Jedná se o více profesní soustružnické centrum, určené k obrábění především rotačních dílců, které obsahují různé tvarové drážky, zápichy, díry, závity a další tvarové prvky. Plně polohovatelné vřeteno (osa C) pro upínání obrobku je poháněno elektromotorem o výkonu 30 kW s maximálními otáčkami 4 000 min⁻¹. Další motor pohání naklápěcí frézovací hlavu s výkonem 22 kW a maximálními otáčkami 12 000 min⁻¹. Naklápěcí vřeteno (na ose Y) upíná pouze jeden nástroj. V případě potřeby proběhne automatická výměna, kde je možnost volby z 37 nástrojů v zásobníku. Osa Y je ve svislém směru, umožňuje relativně vysoký zdvih přinášející více prostoru a variability při polohování a následném obrábění. Používané obráběné materiály jsou austenitické nerezové a feritické nerezové oceli.

Hydraulická jednotka zabezpečuje upínání obrobků, nástrojů a aretaci naklápěcí frézovací hlavy. Nádrž o objemu 20 l s poslední výměnou oleje, která proběhla před 5 měsíci.



Obr. 9 Mazak Integrex i-300 [autor]

4 Zhodnocení diagnostiky

4.1 Postup při vyhodnocení diagnostických metod

K vytvoření podkapitol jsem využil literatury [1], [8], [9], [10], [11], [18].

4.1.1 Vibrodiagnostika

Kritéria pro vyhodnocení vibrodiagnostiky

Vibrace byly vyhodnoceny za pomoci normy ČSN 20 0065 platné od roku 1992, obsahující pásma hodnot, podle kterých obecně určíme stav zařízení.

Tab. 1 Pásma pro vyhodnocení stavu stroje [autor]

Pásmo A (velmi dobrý stav)	Oblast hodnot nového stroje
Pásmo B (provozní stav)	Provoz bez poruch
Pásmo C (přechodně přístupný stav)	Zvýšené hodnoty vibrací
Pásmo D (nepřístupný stav)	Neschopnost provozu, riziko havárie

Na základě dané normy a zkušeností byly tabulky upraveny tak, aby vyhodnocení co nejlépe reprezentovalo stav daných strojních zařízení.

Tab. 2 Efektivní hodnota rychlosti vibrací [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$] limity inspirovány normou 20 0065

Rozhraní pásem	Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s] v pásmu 10 – 1 000 Hz pro otáčky do 4 000 min^{-1}
A/B	Do 1,12 mm/s
D	1,12 mm/s a více

Tab. 3 Efektivní hodnota rychlosti vibrací [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$] limity inspirovány normou 20 0065

Rozhraní pásem	Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s] v pásmu 10 – 1 000 Hz pro otáčky vyšší než 4 000 min^{-1}
A/B	Do 1,8 mm/s
D	1,8 mm/s a více

Tab. 4 Efektivní hodnota zrychlení vibrací [g] [14]

Rozhraní pásem	Efektivní hodnota zrychlení vibrací [g] pro otáčky do 4 000 min ⁻¹ v pásmu 500 – 25 000 Hz
A/B	0,5 g
B/C	2 g
C/D	4 g

Měření vibrací

Měření vibrací probíhalo během provozu strojů na ranní směně. Z důvodu nutnosti chodu otáček vřetene, které jsou podmíněné tím, že je v čelistech upnut obrobek, jsme vždy použili doporučenou rotační součást od obsluhy daného stroje. Z bezpečnostních důvodů nebylo možné provést měření s otevřenými dveřmi. Snímač se tedy umístil přímo do pracovního prostoru stroje, kde se kabely bezpečně zajistily, aby nedošlo ke kolizi po roztočení vřetene. Měření probíhalo v rozmezí otáček od 500 – 4 000 min⁻¹ v závislosti na typu stroje. Informace poskytnuté obsluhujícími pracovníky ohledně průměrných otáček při obrábění byly ve třech případech stejné a pohybovaly se v rozmezí od 1 000 – 1 500 min⁻¹. Ve čtvrtém případě dosahovaly až 4 000 min⁻¹.



Obr. 10 Analyzátor Adash A4400-VA4 Pro [autor]

Pro vibrodiagnostiku jsme chtěli měřit včetně při vyšších otáčkách, bohužel dané stroje nedovolily nebo měly nastaven velice nízký limit na maximální povolené otáčky. Měření vibrací obráběcích strojů bylo provedeno s využitím analyzátoru Adash A4400-VA4 Pro.

Analyzátor Adash A4400-VA4 Pro

Řadí se mezi jeden z nejvýkonnějších analyzátorů. Nabízí 4 kanály pro vibrodiagnostiku. Přístroj obsahuje moduly data kolektoru, analyzátoru měřených signálů a rekordéru. Proškolený pracovník je s přístrojem schopen vyvažovat, měřit vibrace, hodnoty při rozběhu a doběhu, provádět měření pomocí ultrazvuku, rázových testů, akustických měření a další. Obsahuje zjednodušení pro uživatele v podobě automatické detekce poruch, které jsme během měření nevyužili. Při vyhodnocení vibrací byl použit software přímo od výrobce Adash, který má shodné prostředí jako samotný analyzátor, je také volně dostupný ke stažení přímo na stránkách výrobce.

Tab. 5 Technické parametry analyzátoru Adash A4400-VA4 PRO [18]

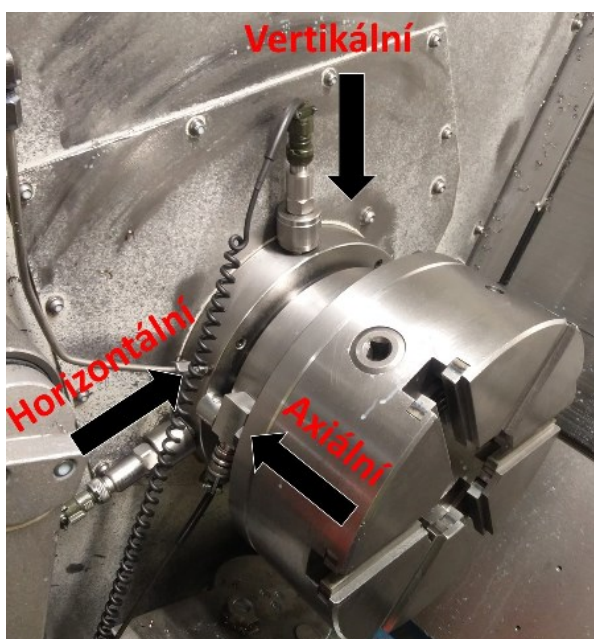
Režimy měření	Analyzátor, sběrač dat, vyvažování, rozběhy, rekordér, rozběhy/doběhy, rázový test, ultrazvuk a další
Vstupní kanály	4 AC, 4 DC, 1 TACHO
Rozlišení FFT	Min. 100 čar, Max. 3 276 800 čar
Procesor	Intel Atom 1,6 GHz
Paměť	120 GB
Rekordér signálu	Vzorkovací frekvence 64 kHz
Provozní teplota	-10 °C až +50 °C
Zpracování dat	FFT v reálném čase, ENVELOPE analýza, ACMT analýza, měření otáček, měření orbit



Obr. 11 Prostředí softwaru Adash A4410 [autor]

Druh a uchycení snímačů

Při samotném měření bylo nutností využít dva druhy snímačů vibrací. Na strojích Mori Seiki NLX 2500/700 a Mazak Integrex 35 byly použity akcelerometry AC102-1A z důvodu jejich konstrukčního uzpůsobení na přichycení snímačů ve třech měřících směrech. Snímače AC102-1A pracují jako tři jednotlivé snímače, kde se první umísťuje ve vertikálním směru, druhý horizontálně a třetí axiálně.



Obr. 12 Použití snímačů AC102-1A [autor]

Stroje Mazak Quick Turn 350 spolu s Mazakem Integrex i-300 byly měřeny jedním triaxiálním snímačem typu A115-1A, kdy výrobce zařízení ponechal měřící bod ložiska pouze v jednom místě. Triaxiální snímač umísťujeme vertikálně ve správné poloze, aby vykazoval přesné hodnoty ve všech třech směrech.



Obr. 13 Použití triaxiálního snímače A115-1A [autor]

Akcelerometry AC102-1A i triaxiální snímač se upevňují pomocí permanentního magnetu. Před připevněním snímačů na každý stroj byly očištěny měřící místa, čímž byl zajištěn objektivní přenos informací mezi snímačem a samotným strojem.

4.1.2 Tribodiagnostika

Technická tribodiagnostika je jednou z metod bezdemontážní diagnostiky, využívající maziva jako média pro určení informací o dějích a mechanických změnách v technických systémech, kde jsou maziva aplikována. Hlavním posláním je diagnostikovat stav opotřebení určitého zařízení a degradaci samotného maziva. Následné vyhodnocení výsledků testů umožní s předstihem upozornit na vznikající poruchu a v řadě případů lokalizuje i dané místo nebo dokáže zhodnotit problémy spojené se samotným mazivem, kterého je v systému využito.

Postup při odběru vzorku hydraulické kapaliny

Při odběru použitých a referenčních vzorků je snahou odebrat určitý objem maziva, které bude nejlépe reprezentovat stav celé náplně. Odebrané mazivo musí být plně homogenizované, odebrané přímo za chodu stroje nebo nejdéle 15 minut po vypnutí. Spolu s prvním odběrem by měl být vypracovaný odběrný postup. Existuje několik norem, podle kterých lze postupovat, z nichž nejpřesnější je odběr dle normy ČSN 65 6207, která je určena přímo pro hydraulické kapaliny. Popisuje, za jakých podmínek a jakým způsobem provést odběr. Při opakovaném odběru musí být postup dodržen, tak aby jednotlivé výsledky v rozdílném čase ukazovaly reálnou degradaci a následný trend vypovídal správné údaje o opotřebení stroje nebo o samotném mazivu. U hydraulického oleje musíme dbát zvýšené opatrnosti při odběru vzorku z důvodu možnosti vniknutí cizích částic do vzorku.

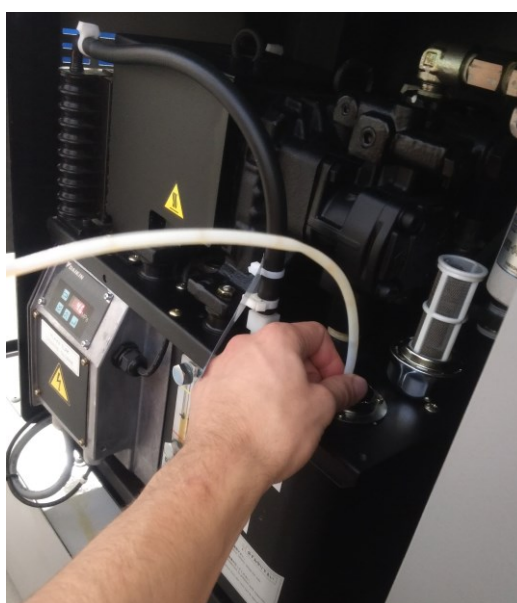
Při odběru platí určitá pravidla. V mém případě byl realizován za pomoci ruční podtlakové pumpy, kterou byl vzorek odebrán. Je-li v plánu doplnění maziva do nádrže, vzorek pro následný rozbor odebíráme ještě před doplněním. Odběr provádíme do čistých, skleněných a tmavých vzorkovnic o obsahu cca 500 ml. Každá vzorkovnice s odebraným vzorkem musí být řádně označena a obsahovat přesné a čitelné informace jako je číslo a název stroje, mazané místo, druh maziva, datum odběru, kdo odebral a označení požadovaných rozborů. Po odebrání vzorku musíme vzorkovnici ihned pečlivě uzavřít, dále je nutné provést záznam a všechny potřebné údaje napsat do knihy vzorků, kde bude přiřazeno pod příslušné číslo.

Odběr referenčního vzorku hydraulického oleje Divinol HLP ISO 32 byl proveden z nového barelu podtlakovou pumpou z výšky jedné třetiny barelu. Poté se obsah vrátil zpět. Se stejnou vzorkovnicí se odběr opakoval a bylo odebráno cca 300 ml vzorku, který byl použit k následnému testování v laboratoři.



Obr. 14 Skladovací místo pro oleje [autor]

Odběry z vybraných strojů byly provedeny z nádrží na hydraulické oleje za provozu, při kterém se odebralo podtlakovou pumpičkou menší množství oleje a následně se navrátilo zpět do nádrže. Poté se odběr opakoval a následujících 300 ml bylo použito k laboratornímu rozboru. Byl použit stejný postup jako u odběru referenčního vzorku.



Obr. 15 Odběr hydraulického oleje – Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]

Kritéria pro vyhodnocení tribodiagnostiky

Při tribodiagnostice bylo využito testů konkrétně spektrální analýzy, prvkové analýzy, kinematické viskozity, obsahu vody, čísla kyselosti, kódu čistoty a třídy čistoty. Testy proběhly v souladu s danými normami, kritické hodnoty jsou upraveny dle zkušeností tribodiagnostika, typu zařízení a v závislosti na zkoumaném druhu oleje. Hydraulický olej je jedním z nejnáročnějších na provoz, tudíž byly zvoleny poměrně nízké hodnoty, které by měly být splněny.

Tab. 6 Určující hodnoty při vyhodnocení tribodiagnostických testů [autor]

Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota		
			min.	výstr.	max.
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	28,8	-	35,2
TAN (Č. kyselosti)	MgKOH/g	ČSN ISO 6618	-	1	1,3
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937	-	0,03	0,05
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406	-	18/16/14	19/18/15
Třída čistoty	-	NAS 1638	-	8	9
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika	-	10	30
obsah Cu			-	15	25
obsah Cr			-	10	15
obsah Sn			-	10	30
obsah Si			-	-	30

Rozdělení použitých tribodiagnostických testů

Metody na sledování stavu zařízení:

- Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací (FT-IR)
- Rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF)

Metody na sledování stavu samotného maziva:

- Kinematická viskozita
- Obsah vody
- Číslo kyselosti
- Ferografie (Kód čistoty a třída čistoty)

Metody na sledování stavu zařízení

- Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací (FT-IR)

Metoda je založena na širokospektrálním infračerveném záření. V přístroji je krystal selenidu zinečnatého, který je pokryt tenkou vrstvou zkoumaného oleje. Zařízení vygeneruje paprsky, které pronikají cca 2 μm hluboko do vzorku a jsou dále odraženy. Počet odrazů od krystalu je 10–12, v závislosti na konstrukčním řešení daného zařízení. Následně je paprsek zachycen snímačem a vzorek vyhodnocen. Je nutné dodržet konstantní dráhu paprsku, což je zabezpečeno vhodným optickým uspořádáním uvnitř zařízení. Metoda je časově nenáročná, v řádu minut vyhodnotí výsledky, ze kterých lze určit například obsah nitracních, oxidačních a sulfatačních produktů, obsah vody, glykolů a pokles bazické rezervy. U spalovacích motorů dokáže odhalit obsah paliva i karbonu.



Obr. 16 Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací (FT-IR) [autor]

- Rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF)

Rentgenový spektrometr, který využívá energo dispersní rentgenovou fluorescenční technologii, umožňuje provést vyspělou víceprvkovou analýzu s přesným určením chemického složení vzorku. Do kavity je vložen vzorek zkoumaného oleje, který je následně ozářen. Vzorek pohltí rentgenové záření a opět jej vyzáří. Opětovně vyzářené záření je zachyceno na snímač. Poté proběhne rychlé vyhodnocení, kde umožní z periodické tabulky prvků detekovat prvky od sodíku (11), až po uran (92) v jednotkách ppm.



Obr. 17 Rentgenový fluorescenční spektrometr [autor]

Sledování stavu samotného maziva

- Kinematická viskozita

Kinematická viskozita udává míru vnitřního tření kapalin a je hlavním zkušebním údajem u olejů. Měří se například pomocí kapilárních, rotačních a tělískových viskozimetrů. Viskozita se může snižovat nebo zvyšovat.

Zvýšení viskozity může být způsobeno nečistotou, oxidačními produkty, vznikající emulzí atd. Může mít za následek vyšší koeficient tření a způsobovat energetické ztráty až po neschopnost dodání maziva do určeného místa, což může způsobit suché tření s následným zadřením zařízení. Mírné zvýšení viskozity ve většině případů signalizuje bezporuchovost mazacího systému.

Snížení viskozity bývá způsobeno tepelnou a mechanickou degradací aditiv nebo případnou záměnou olejů. U spalovacích motorů v případě vniknutí paliva do mazacího systému.

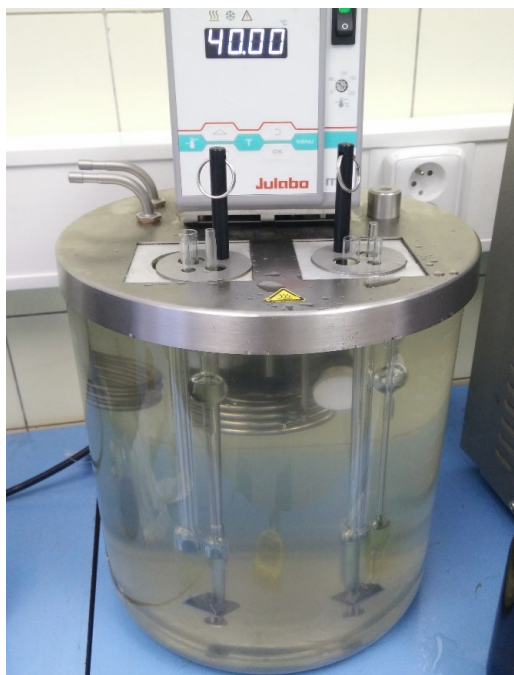
U průmyslových olejů znamená změna teploty o 1 °C změnu viskozity až o 5 %.

Kinematická viskozita se vypočítá podle vztahu:

$$\nu = c \cdot \tau \quad [\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$$

c – konstanta viskozimetru

τ – čas průtoku kapaliny mezi ryskami viskozimetru



Obr. 18 Temperovací lázeň pro měření kinematické viskozity [autor]

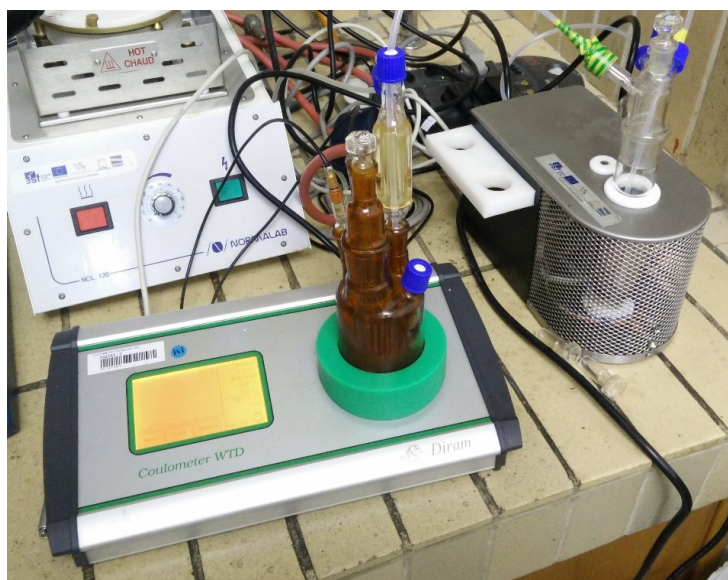
- Obsah vody

Obsah vody v mazivu je příčinou koroze součástí. Má za následek vypadávání aditiv, pění oleje, tvorbu emulze, zvyšování viskozity, snižování oxidační stability a tvorbu kalů. Všeobecně je dán maximální obsah vody 0,2 % v hmotnostním obsahu vzorku. Pro určení koncentrace vody v oleji můžeme použít několik metod. Nejdříve se provádí levné, rychlé metody, z kterých získáme představu o obsahu vody v mazivu, poté se přechází k laboratorním zkouškám.

Rychlá vizuální zkouška spočívá ve změně barvy homogenizovaného vzorku oproti odstátému. Pokud dojde k zakalení oleje, vzorek obsahuje minimální koncentraci a to alespoň 0,025 % vody.

Přesnější prskací zkouška se provádí pomocí zahřáté zkušební plochy o teplotě 180 °C, na kterou jsou nanесeny dvě až tři kapky oleje. Poté dojde k rozptýlení oleje v podobě tvorby bublinek, které vypovídají o přítomném obsahu vody.

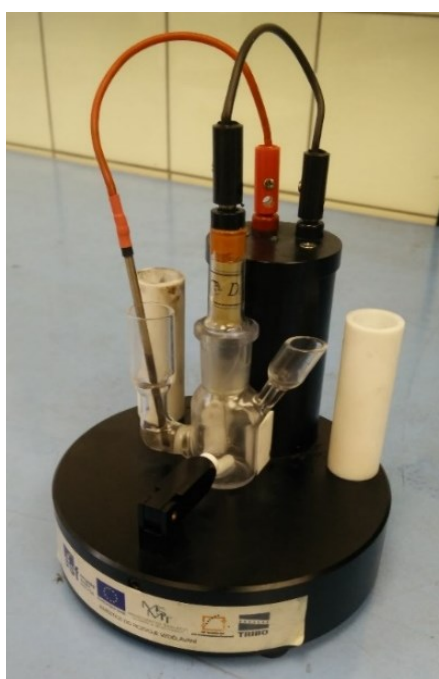
Coulometrická metoda nám umožňuje určit velice přesnou koncentraci vody ve vzorku. Jedná se o metodu využívající jód, uvolňující se v titrační nádobce. Reaguje s vodou v poměru 1:1, kdy je na uvolnění jednoho molu jódu zapotřebí náboj 10,71 A·s. Po zareagování veškeré vody ve vzorku se zjistí spotřebovaný proud a následně dopočítá přesný obsah vody ve vzorku.



Obr. 19 Coulometrická metoda pro měření obsahu vody [autor]

- Číslo kyselosti

Velice přesná metoda pro určení čísla kyselosti u olejů, které je následně vyjádřeno v poměru mg KOH/g. Princip metody spočívá na titraci kyselých sloučenin obsažených ve zkušebním vzorku za pomoci hydroxidu draselného. Číslo celkové kyselosti TAN – Total Acid Number určuje látky kyselého charakteru v mazivu. Číslo kyselosti je jediný ukazatel, který vypovídá o samotné degradaci maziva.



Obr. 20 Měření hodnoty kyselosti [autor]

- Ferografie (Kód čistoty a třída čistoty)

Vyjádření celkového znečištění závisí na použité metodě. Každá metoda vyhodnocuje celkové znečištění oleje, které proniklo z okolí, okruhu, vzniklo z kapaliny nebo se jedná o primární znečištění z otřepů z montáže, nádrží, okujů a dalších.

Kód čistoty je určen pomocí mikroskopu připojeného k počítači. Zkoumá se vzorek oleje, z kterého se následně určí kód čistoty a třída čistoty v závislosti na velikosti jednotlivých částic.

Dvě určující normy:

- ČSN ISO 4406 – norma pro kód čistoty vyhodnocuje částice, které jsou rovny nebo větší než 4 μm , 6 μm a 14 μm .
- NAS 1638 – norma třídy čistoty hodnotí částice, v různých rozmezích velikosti, pro vyhodnocení vybere výslednou hodnotu, která je nejvíce znečištěna



Obr. 21 Zachycení mechanických nečistot – ultrafiltr 0,8 μm [autor]

4.1.3 Termodiagnostika

Kritéria pro vyhodnocení tribodiagnostiky

Tab. 7 Hodnoty pro vyhodnocení termodiagnostiky dle normy ČSN ISO 18 434-1

Klasifikace	Stav zařízení	Termín nápravy	Stupeň oteplení (interval v °C)
I. stupeň	Výborný	Bez opatření	0 °C <math><\Delta t<< 10\text{ °C}</math>
II. stupeň	Vyhovující	Oprava při plánované revizi	10 °C <math><\Delta t<< 30\text{ °C}</math>
III. stupeň	Uspokojivý	Oprava do jednoho měsíce	30 °C <math><\Delta t<< 50\text{ °C}</math>
IV. stupeň	Neuspokojivý	Do jednoho týdne	50 °C <math><\Delta t<< 80\text{ °C}</math>
V. stupeň	Nepřípustný	Oprava ihned	80 °C <math><\Delta t</math>

Tab. 8 Popis pro vyhodnocení termodiagnostiky dle normy ČSN ISO 18 434-1

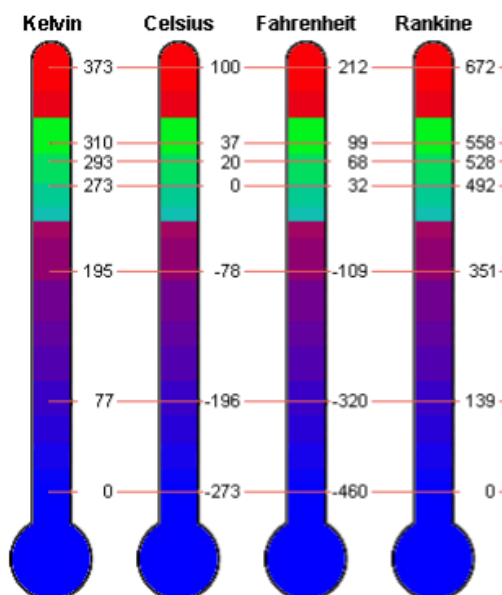
	Definice stavu zařízení	Opatření do provozu
I. stupeň	Bez závad, drobná závada nebo odchylka nevyžadující další opatření. Zařízení se adekvátně opotřebovává. Nová a provozovaná zařízení s přípustnou odchylkou sledovaných indikátorů.	Dlouhodobý provoz bez omezení
II. stupeň	Závada nebo odchylka vyžadující zásah s možným dlouhodobým odkladem, menší poškození / degradace, zaznamenána změna sledovaných indikátorů stavu zařízení.	Provoz zařízení do odstranění závady je bez dalších omezení.
III. stupeň	Závada nebo odchylka vyžadující zásah s možným krátkodobým odkladem, vážná poškození vyžadující podrobnou / rozšířenou diagnostiku, příp. provedení rozboru trendu sledovaných vlastností zařízení.	Provoz "časově" omezen do plánované odstávky (PO)
IV. stupeň	Velmi vážná poškození vyžadující vynucená opatření pro provoz, potřebná doplňková diagnostika / přepočítání zbytkové životnosti s aktuálními parametry, nutnost oprav / výměn, příp. neprodlený rozbor vývoje trendu sledovaných vlastností zařízení	Do uvedení do provozu odstranit závady nebo přijmout vynucená opatření, eventuálně omezení pro provoz po stanovenou dobu. V tomto případě je pak nutné pravidelně vyhodnocovat trend nárůstu sledovaného indikátoru degradace v určených periodách.
V. stupeň	Stav blížící se havarijnímu eventuálně porucha bránící dalšímu provozu.	Nutné okamžité odstranění závady, vyměnění poškozené komponenty.

Jedná se o nedestruktivní metodu, která dokáže odhalit možnou závadu na elektroinstalaci. V rozvodových zařízeních se může závada projevit vyšší teplotou v místě, kde se nachází vyšší přechodový odpor. Stejně prvky v rozvaděči by měly mít podobnou teplotu v rozmezí 10 °C. Jestliže prvek elektroinstalace vykazuje vyšší teplotu než jiný shodný nebo podobný prvek, lze usuzovat na závadu a následně provést podrobnější analýzu měřeného bodu. Tato metoda má velmi dobré využití při preventivních kontrolách elektrotechnických zařízení a na základě výsledku měření provádění cílené údržby. To má za následek ekonomický efekt v podobě snížení počtu poruch elektrického zařízení a snížení poškození izolace z důvodu vysokých teplot vodičů. Hlavním důvodem, proč provádět kontroly těchto elektrotechnických zařízení, je riziko vzniku požáru v důsledku nadměrného přehřátí vadných prvků.

Termodiagnostika je nepostradatelným ukazatelem, zkoumáme-li dané zařízení tzv. multiparametrickou diagnostikou. Měření teploty hraje důležitou roli v oboru technické diagnostiky. Je to diagnostický signál, který je schopný poukázat na možné poškození nebo závadu stroje, jestliže dochází k nadměrnému přehřívání v kontrolovaném místě. Sledujeme a porovnáváme teploty různých součástí stroje a ty následně vyhodnocujeme. Technický stav monitorujeme za provozu.

Teplota je jednou z nejdůležitějších stavových veličin, která určuje stav termodynamické rovnováhy. Nemůže být měřena přímo, využívá se dalších fyzikálních veličin, jedná se tedy o měření nepřímé. Termodynamickou teplotní stupnici definuje vratný Carnotův cyklus, kde je absolutní nula brána jako počátek stupnice. Stupnice má základní jednotku Kelvin (K). Ten má počátek v absolutní nule. Kelvin byl definován zvolením termodynamické teploty trojného bodu vody jako referenční bod termodynamické stupnice. Referenční bod (absolutní nula) má pevně určenou teplotu $T = 273,16\text{K}$. Existuje více teplotních stupnic jako je Rankin, Fahrenheit a nejčastěji užívána v běžném životě odvozená jednotka stupeň Celsia (°C). Ta je rovna rozdílu termodynamické teploty T a teploty $273,15\text{K}$, platí tedy:

$$t(^{\circ}\text{C}) = T - T_0 = T - 273,15\text{K}$$



Obr. 22 Základní typy teplotních stupnic [13]

Termografie – je zobrazovací metoda, použita při termografické diagnostice. Na barevné obrazovce zobrazuje v reálném čase povrchovou teplotu předmětu. Pro měření teploty daného objektu využívá infračervené záření, které je pro oko neviditelné. Elektromagnetické spektrum bývá rozděleno do několika vlnových pásem. Vlnová délka λ (lambda), je základní charakteristikou elektromagnetického vlnění. Elektromagnetické spektrum obsahuje všechny druhy elektromagnetického záření, jako jsou: mikrovlny, UV záření, gama záření, infračervené záření, radiové vlny, rentgenové záření a viditelná část spektra.

Emisivita

Poměr intenzity energie, která je vyzařována z povrchu reálného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa o stejné teplotě. Je jedním z nejdůležitějších parametrů při měření termokamerou. Před samotným měřením je nutno vždy vhodně nastavit tuto hodnotu dle prostředí a materiálu měřeného objektu.

4.2 Výsledky odebraných vzorků

4.2.1 Referenční vzorek hydraulického oleje

- Tribodiagnostika

Tab. 9 Kritéria pro vyhodnocení tribodiagnostiky [autor]

Referenční vzorek			Požadovaná hodnota			Stanovená hodnota
Hydraulický olej	rozměr	metoda	min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	28,8	-	35,2	31
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618	-	1	1,3	0,751
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937	-	0,3	0,05	0,0039
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406	-	18/16/14	19/18/15	15/15/12
Třída čistoty	-	NAS 1638	-	8	9	9
Prvková analýza ED-XRF			min.	výstr.	max.	hodnota
Obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika	-	10	30	<1
Obsah Cu			-	15	25	3,4
Obsah Cr			-	10	15	0
Obsah Sn			-	10	30	<3
Obsah Si			-	-	30	<1
Aditiva, degradace			min.	nový		hodnota
Obsah S	ppm (mg/kg)	metodika	-	-		3594
Obsah P			-	-		773
Obsah Mg			-	-		<101
Obsah Mo			-	-		<1
Obsah Zn			-	-		652
Obsah Ca			-	-		<10

Nález: Detekována zvýšená třída čistoty již v novém oleji a malá odchylka ve viskozitě od hodnoty, kterou uvádí výrobce.

Doporučení: Přefiltrovat nový olej před jeho použitím ve stroji.

4.2.1 Mori Seiki NLX 2500/700

- Vibrodiagnostika

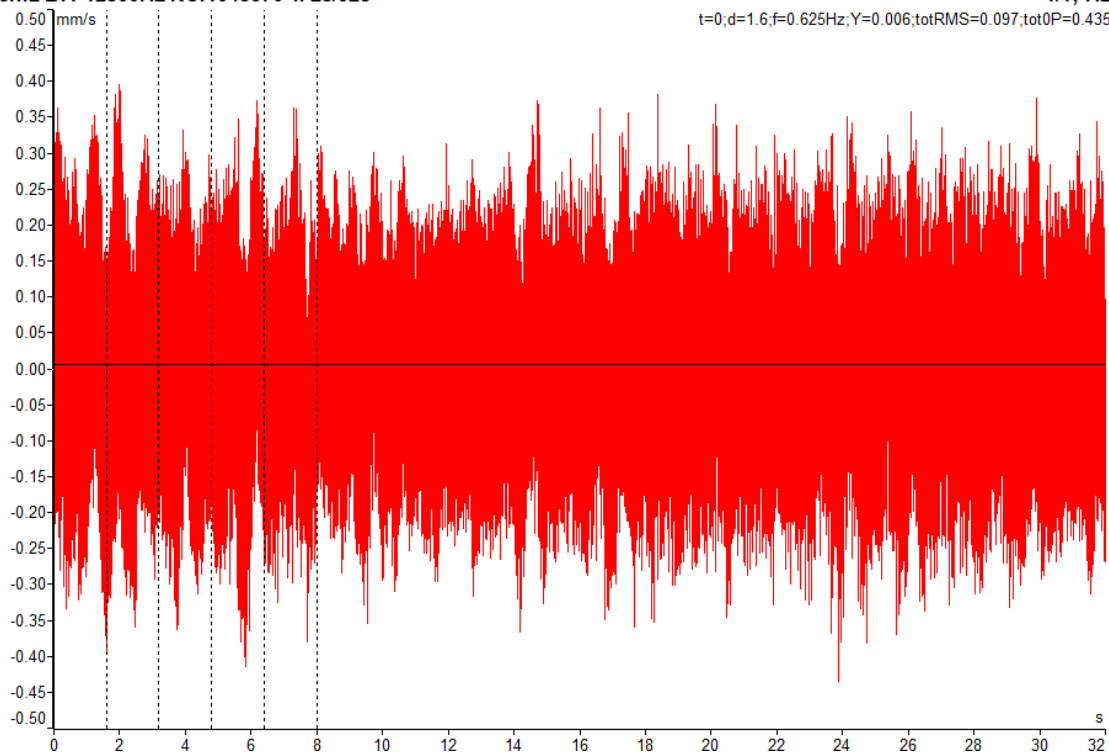
Tab. 10 Naměřené hodnoty vibrodiagnostika Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]

Popis		vřeteno		vřeteno					
Měřicí místo		L1	L1	L1	L2	-	-	-	-
Veličina	Směr								
Max. ot/min		500	1 000	1 500		-		-	
V _{RMS} [mm/s]	H	0,05	0,08	0,10	0,03	-	-	-	-
	V	0,06	0,06	0,10	0,07	-	-	-	-
	A	0,10	0,09	0,09	0,06	-	-	-	-
a _{RMS} [g] 500 – 25600 Hz	H	0,04	0,06	0,09	0,12	-	-	-	-
	V	0,03	0,06	0,19	0,10	-	-	-	-
	A	0,05	0,07	0,06	0,08	-	-	-	-
Pozn.		-	-	-	-	-	-	-	-

1 time ch:2 B:1-12800Hz NS:1048576 T: 2s/32s

1/1;-Hz

t=0;d=1.6;f=0.625Hz;Y=0.006;totRMS=0.097;totOP=0.435

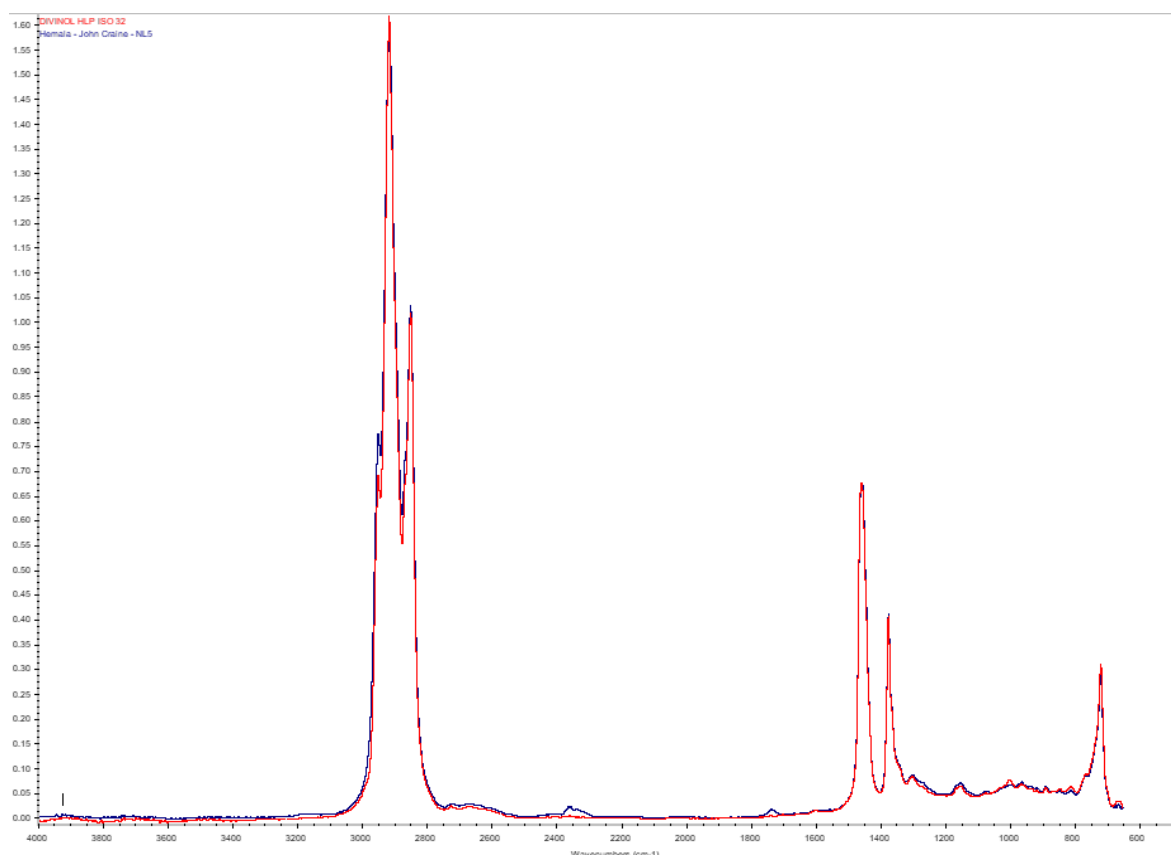


Obr. 23 L2 – Časový záznam rychlosti vibrací v horizontálním směru při 1 500 min⁻¹ v rozmezí od 1 – 12 800 Hz [autor]

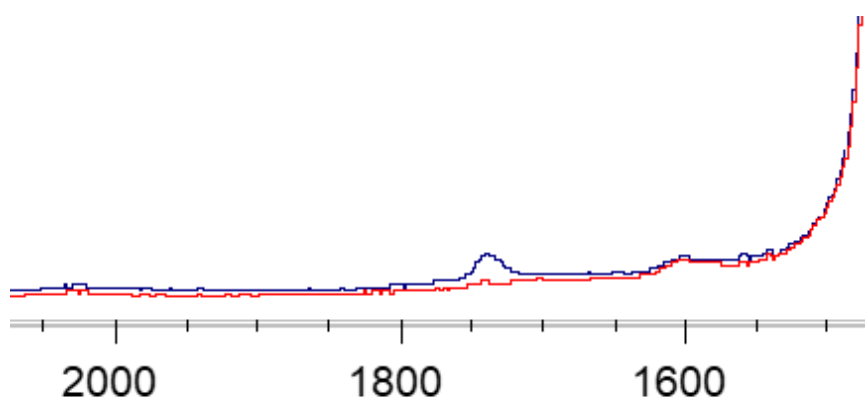
Nález: Měření vibrací bylo provedeno na vřetení stroje, kde byla postupně měřena obě ložiska. Vibrace nevykazují žádnou závadu, všechny hodnoty jsou hluboce pod limitem, z čehož lze vyvodit, že zařízení bez problému splňuje hodnoty uvedené v normě. V signálu se nevyskytují děje, které by poukazovaly na problém technického rázu. Dané zařízení má střední hodnotu otáček při obrábění kolem 1 000 min⁻¹.

Doporučení: Bez doporučení.

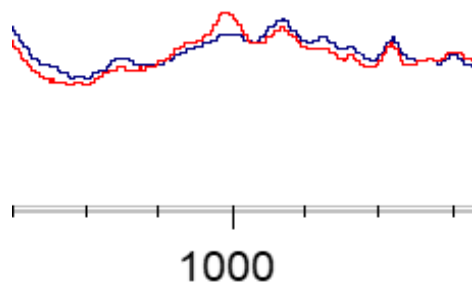
- Tribodiagnostika



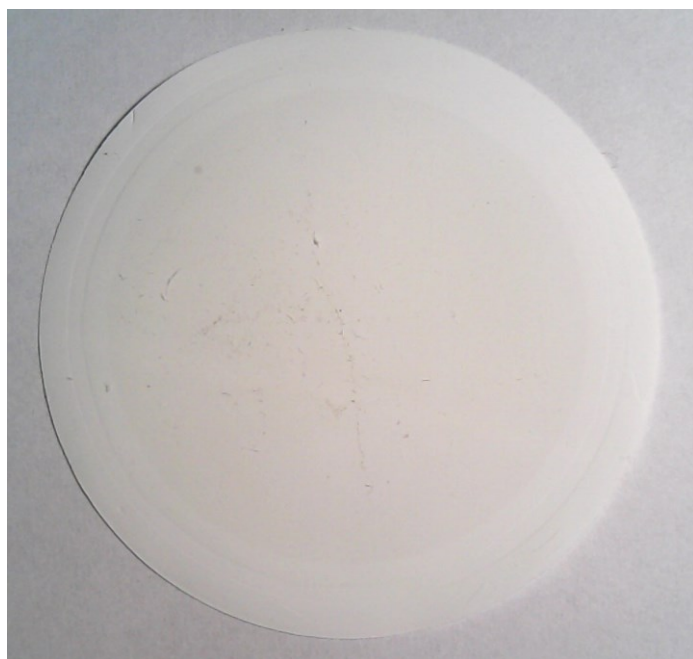
Obr. 24 FT-IR Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]



Obr. 25 FT-IR detail 1 Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]



Obr. 26 FT-IR detail 2 Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]



Obr. 27 Snímek filtru Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]

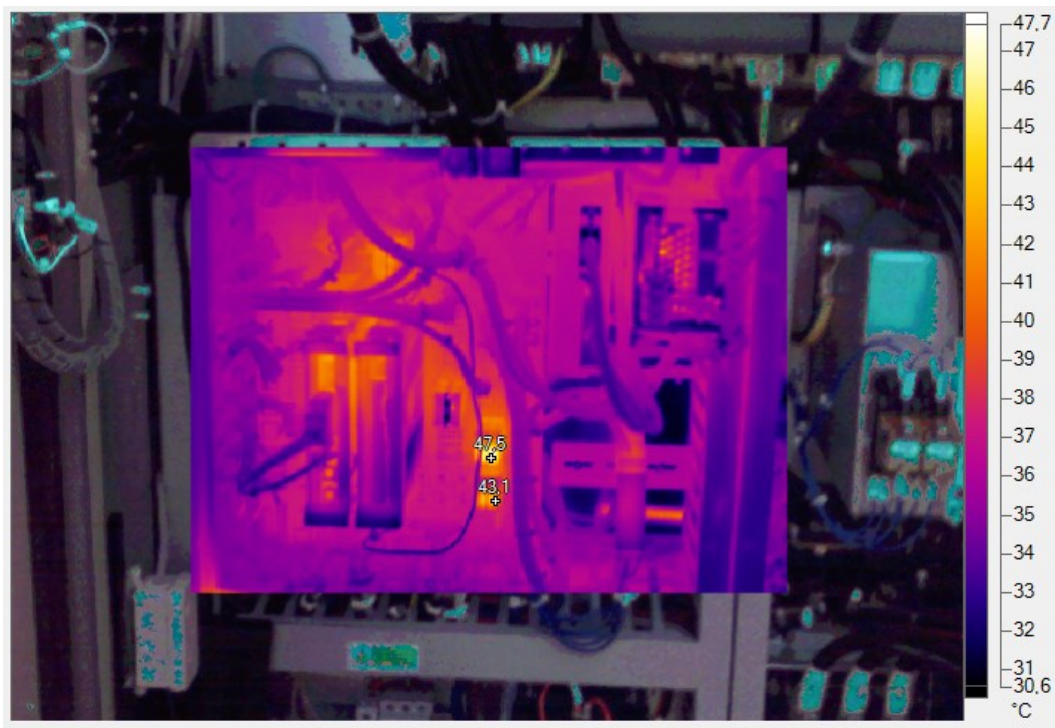
Tab. 11 Naměřené hodnoty tribodiagnostika Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]

Strojní zařízení: NLX 2500 (NL5)			Požadovaná hodnota			Stanovená hodnota
Hydraulický olej	rozměr	metoda	min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	28,8	-	35,2	29,6
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618	-	1	1,3	0,445
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937	-	0,3	0,05	0,0026
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406	-	18/16/14	19/18/15	16/15/14
Třída čistoty	-	NAS 1638	-	8	9	9
Prvková analýza ED-XRF	rozměr		min.	výstr.	max.	hodnota
Obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika	-	10	30	<1
Obsah Cu			-	15	25	22,3
Obsah Cr			-	10	15	0,3
Obsah Sn			-	10	30	<3
Obsah Si			-	-	30	<1
Aditiva, degradace	rozměr		min.	nový		hodnota
Obsah S	ppm (mg/kg)	metodika	-	3594		2467
Obsah P			-	773		621,2
Obsah Mg			-	<101		<101
Obsah Mo			-	<1		<1
Obsah Zn			-	652		347,2
Obsah Ca			-	<10		<10

Nález: Z vizuálního pohledu na filtr nedetekují žádné závady. Vyhodnocení spektrální analýzy poukazuje na oxidaci oleje v pásmu 1 600 – 1 800 cm⁻¹ a na úbytek aditiv v pásmu na hodnotě 1 000 cm⁻¹. Zhodnocení kódu čistoty a třídy čistoty je na výstražných hodnotách. Zvýšená přítomnost mědi v oleji. Zřejmě se jedná pouze o běžné opotřebení, které v tomto případě s největší pravděpodobností vzniká v zubovém čerpadle, které pracuje spolu s hydraulickým obvodem. Dále je zde znatelný úbytek aditiva zinku a lehký úbytek fosforu (protioděrových přísad), které jsou ve srovnání s referenčním vzorkem na poloviční hodnotě.

Doporučení: Provést výměnu oleje, zabrání se tak předčasnému opotřebení a následně poškození strojního zařízení. Dále se zaměřit na samotné čerpadlo, které je pravděpodobným zdrojem mědi v mazacím systému.

- Termodiagnostika



Obr. 28 Snímek z termokamery Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]

Tab. 12 Podmínky při snímání termokamerou Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]

Odražená zdánlivá teplota	24,4°C
Emisivita	0,95
Přenos	0,99
Teplota ovzduší	28°C
Relativní vlhkost	45%
Rychlost proudění vzduchu	do 0,5 m.s ⁻¹
Vzdálenost IR termokamery od objektu	do 2m
Nález	Bez nálezu
Stav	I. stupeň
Oteplení soustavy	
Zatížení soustavy	100%
Přepočet oteplení na 100% zátěže	
Doporučení	Bez doporučení

Nález: Bez nálezu.

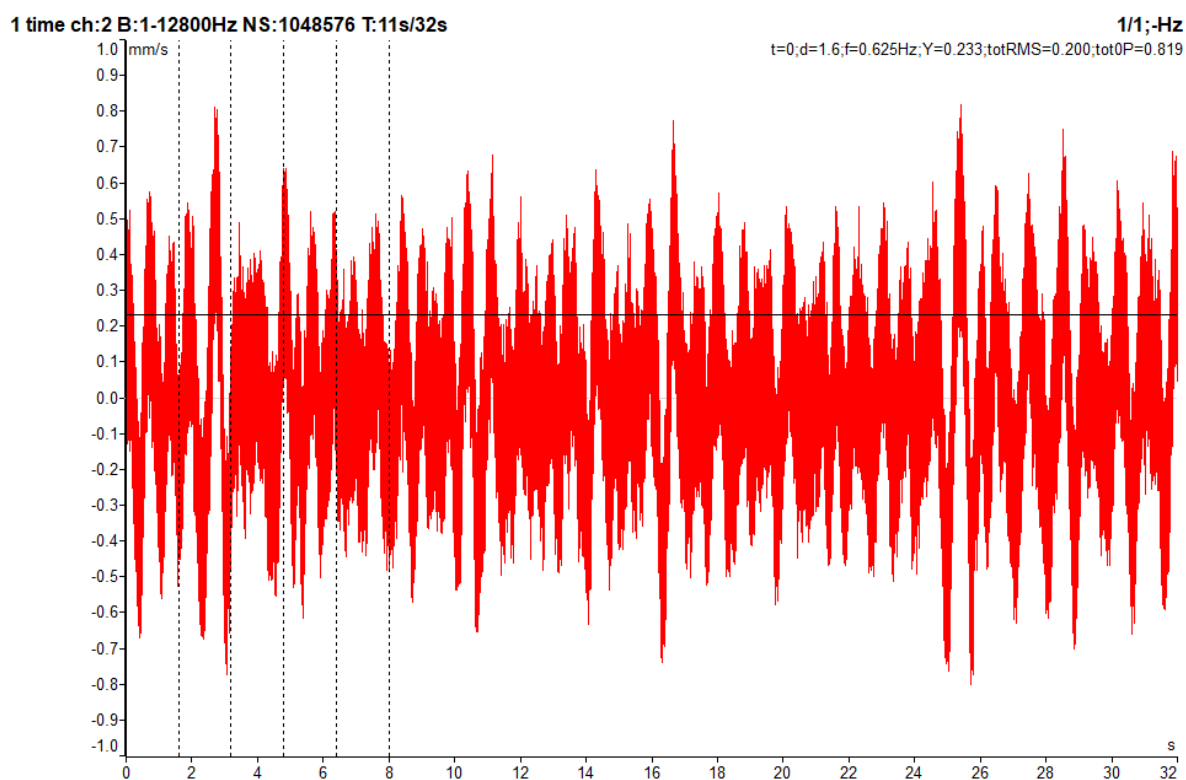
Doporučení: Bez doporučení.

4.2.2 Mazak Integrex 35

- **Vibrodiagnostika**

Tab. 13 Naměřené hodnoty vibrodiagnostika Mazak Integrex 35 [autor]

Popis		vřeteno							
Měřicí místo									
Veličina	Směr	L1	-	-	-	-	-	-	-
Max. ot/min		1 200	-	-	-	-	-	-	-
v _{RMS} [mm/s]	H	0.05	-	-	-	-	-	-	-
	V	0.06	-	-	-	-	-	-	-
	A	0.06	-	-	-	-	-	-	-
a _{RMS} [g] 500 – 25600 Hz	H	0.12	-	-	-	-	-	-	-
	V	0.10	-	-	-	-	-	-	-
	A	0.08	-	-	-	-	-	-	-
Pozn.		-	-	-	-	-	-	-	-

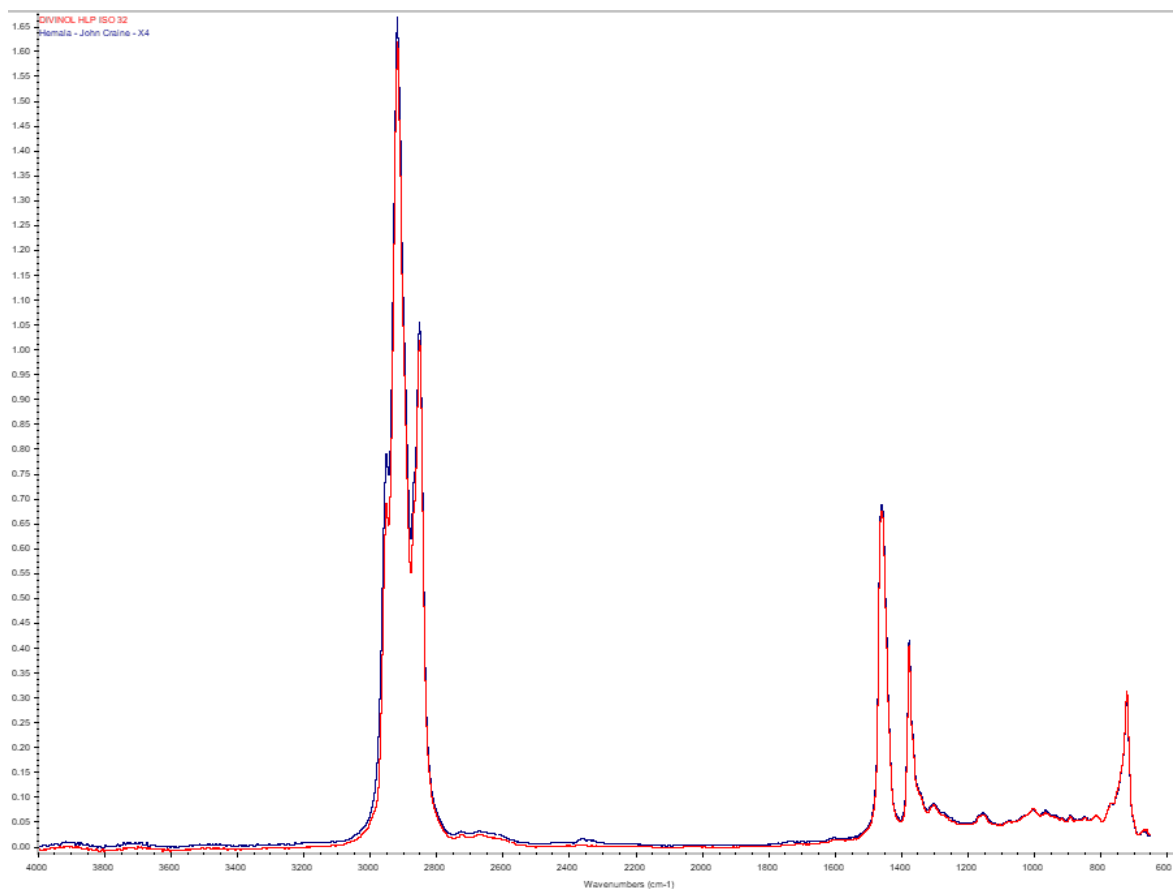


Obr. 29 Časový záznam rychlosti vibrací v horizontálním směru při 1 200 min⁻¹ v rozmezí od 1 – 12 800 Hz [autor]

Nález: Měření vibrací bylo provedeno na vřetení stroje. Bylo měřeno bližší ložisko vřetene, jehož vibrace nevykazují žádnou závadu. Všechny hodnoty jsou hluboce pod limitem, z čehož lze určit, že zařízení splňuje hodnoty uvedené v normě. V signálu se nevyskytují děje, které by poukazovaly na problém technického rázu. Pro zařízení jsou otáčky kolem 1000 min^{-1} střední hodnotou při obrábění.

Doporučení: Bez doporučení.

- **Tribodiagnostika**



Obr. 30 FT-IR Mazak Integrex 35 [autor]



Obr. 31 Snímek filtru Mazak Integrex 35 [autor]

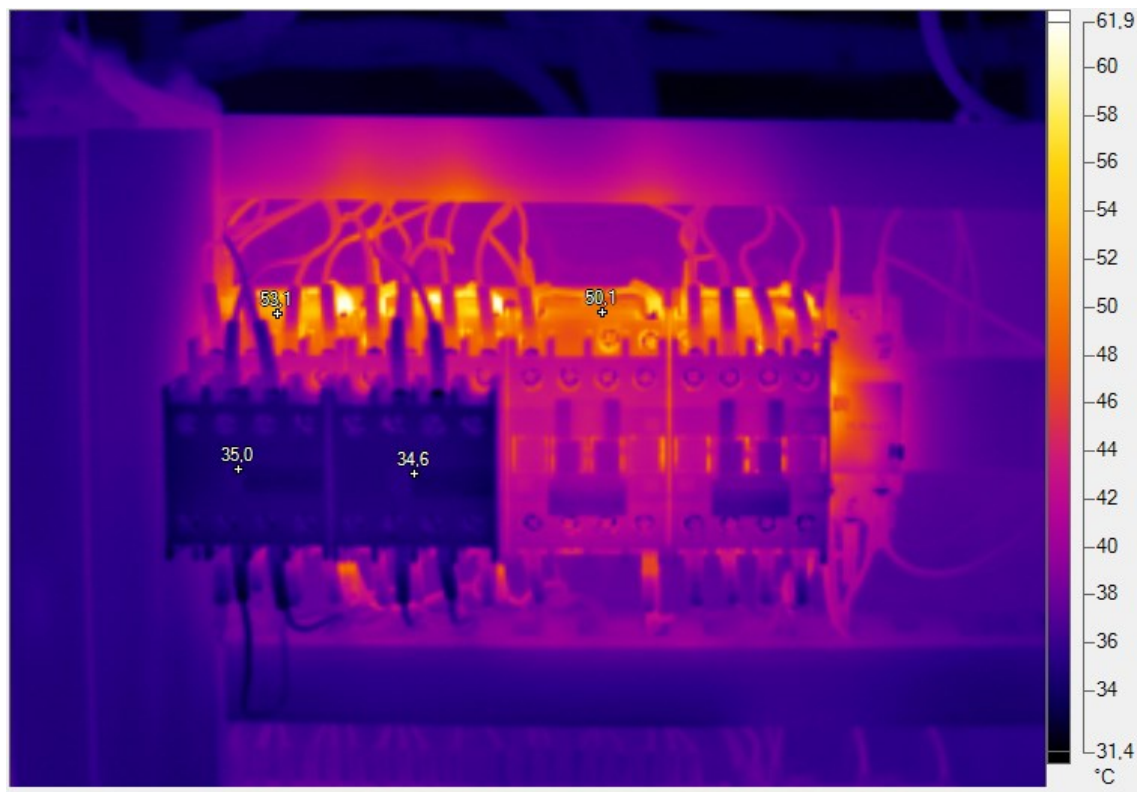
Tab. 14 Naměřené hodnoty tribodiagnostika Mazak Integrex 35 [autor]

Strojní zařízení: IGX 35 (X4)			Požadovaná hodnota			Stanovená hodnota
Hydraulický olej	rozměr	metoda	min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	28,8	-	35,2	31
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618	-	1	1,3	0,683
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937	-	0,3	0,05	0,0024
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406	-	18/16/14	19/18/15	16/15/12
Třída čistoty	-	NAS 1638	-	8	9	8
Prvková analýza ED-XRF	rozměr		min.	výstr.	max.	hodnota
Obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika	-	10	30	<1
Obsah Cu			-	15	25	14
Obsah Cr			-	10	15	0
Obsah Sn			-	10	30	<3
Obsah Si			-	-	30	<1
Aditiva, degradace	rozměr		min.	nový		hodnota
Obsah S	ppm (mg/kg)	metodika	-	3594		3014
Obsah P			-	773		707,8
Obsah Mg			-	<101		<101
Obsah Mo			-	<1		<1
Obsah Zn			-	652		628,6
Obsah Ca			-	<10		<10

Nález: Z vizuálního pohledu na filtr nedetekují žádné závady. Vyhodnocení spektrální analýzy taktéž s negativním výsledkem. Lehce navýšena přítomnost mědi v oleji. Jedná se zřejmě o běžné opotřebení, které v tomto případě s největší pravděpodobností vzniká v zubovém čerpadle, které pracuje spolu s hydraulickým obvodem. Hodnota je těsně před výstrahou. Žádné další problémy nebyly tribologickým rozbořem prokázány.

Doporučení: Provést filtraci a během následujících 2 měsíců provést další tribologický rozbor. Zaměřit se na hodnoty chromu, popřípadě na samotné čerpadlo.

- **Termodiagnostika**



Obr. 32 Snímek z termokamery Mazak Integrex 35 [autor]

Tab. 15 Podmínky při snímání termokamerou Mazak Integrex 35 [autor]

Odražená zdánlivá teplota	24,4°C
Emisivita	0,95
Přenos	0,99
Teplota ovzduší	28°C
Relativní vlhkost	45%
Rychlost proudění vzduchu	do 0,5 m.s ⁻¹
Vzdálenost IR termokamery od objektu	do 2m
Nález	Bez nálezu
Stav	I. stupeň
Oteplení soustavy	
Zatížení soustavy	100%
Přepočet oteplení na 100% zátěže	
Doporučení	Bez doporučení

Nález: Bez nálezu.

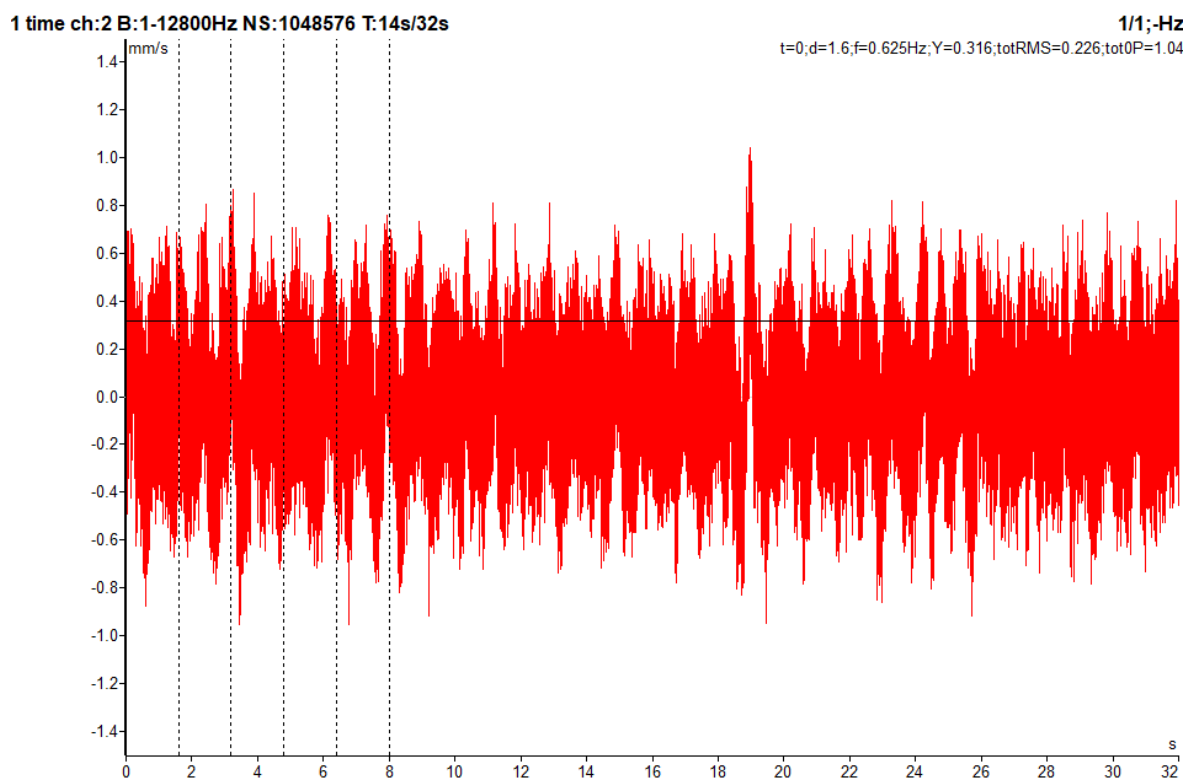
Doporučení: Bez doporučení.

4.2.3 Mazak Quick Turn 350

- **Vibrodiagnostika**

Tab. 16 Naměřené hodnoty vibrodiagnostika Mazak Quick Turn 350 [autor]

Popis		vřeteno							
Měřící místo									
Veličina	Směr	L1	-	-	-	-	-	-	-
Max. ot/min		2 000	-	-	-	-	-	-	-
v_{RMS} [mm/s]	H	0,26	-	-	-	-	-	-	-
	V	0,15	-	-	-	-	-	-	-
	A	0,87	-	-	-	-	-	-	-
a_{RMS} [g] 500 – 25600 Hz	H	0,05	-	-	-	-	-	-	-
	V	0,11	-	-	-	-	-	-	-
	A	0,22	-	-	-	-	-	-	-
Pozn.		-	-	-	-	-	-	-	-



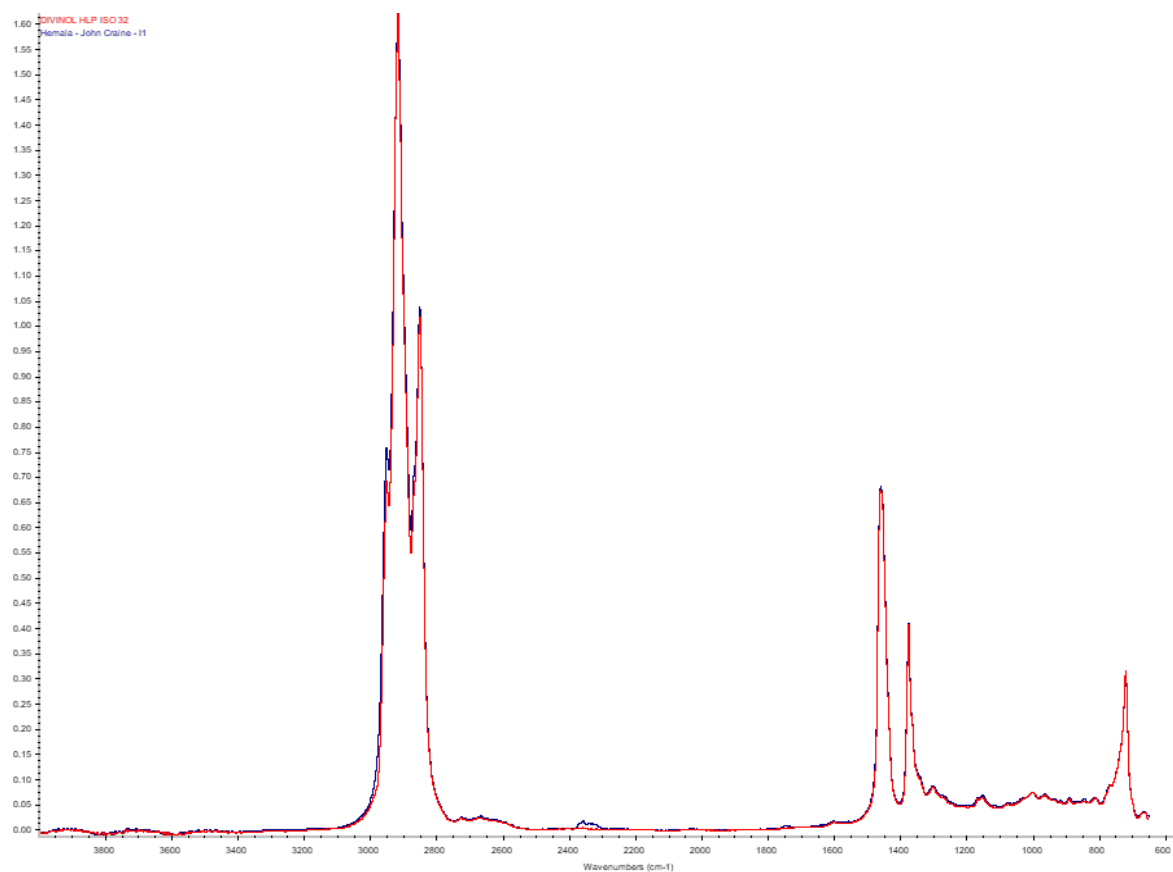
Obr. 33 Časový záznam rychlosti vibrací v horizontálním směru při 2 000 min⁻¹ v rozmezí od 1 – 12 800 Hz [autor]

Nález: Měření vibrací bylo provedeno na vřeteni stroje. Měřeno bylo bližší ložisko vřetene. Vibrace nevykazují žádnou závadu, všechny hodnoty jsou hluboce pod limitem,

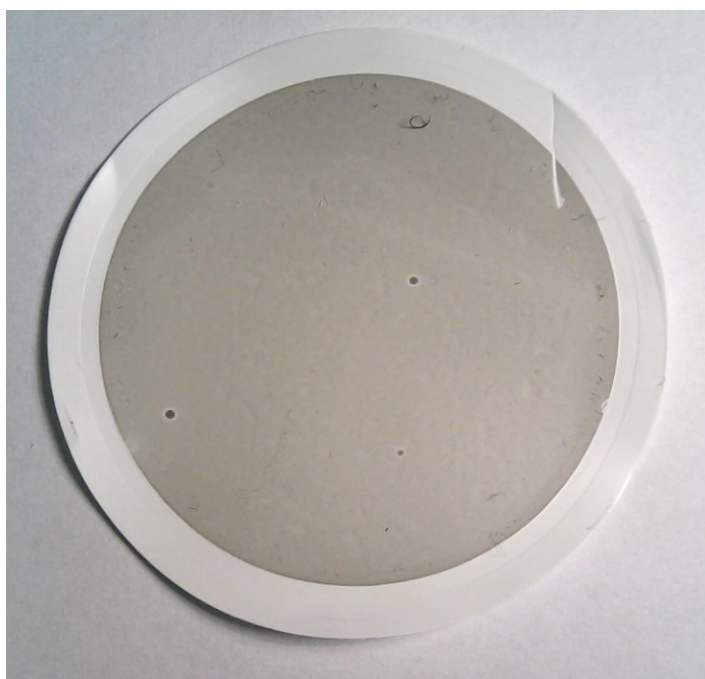
z čehož lze odvodit, že zařízení splňuje hodnoty uvedené v normě. V signálu se nevyskytují děje, které by poukazovaly na problém technického rázu. Pro zařízení jsou otáčky kolem 1000 min^{-1} střední hodnotou při obrábění.

Doporučení: Bez doporučení.

- **Tribodiagnostika**



Obr. 34 FT-IR Mazak Quick Turn 350 [autor]



Obr. 35 Snímek filtru Mazak Quick Turn 350 [autor]

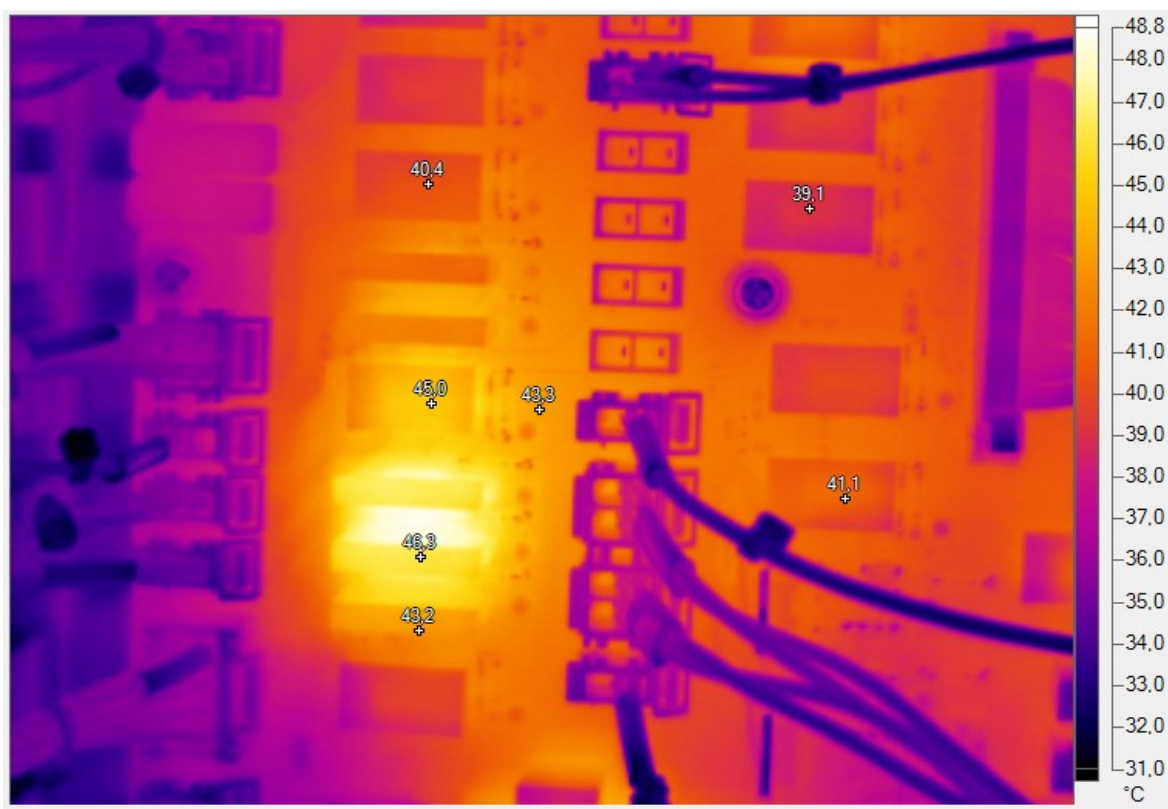
Tab. 17 Naměřené hodnoty tribodiagnostika Mazak Quick Turn 350 [autor]

Strojní zařízení: QTN 350 (I1)			Požadovaná hodnota			Stanovená hodnota
Hydraulický olej	rozměr	metoda	min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	28,8	-	35,2	31,8
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618	-	1	1,3	0,724
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937	-	0,3	0,05	0,002
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406	-	18/16/14	19/18/15	17/16/14
Třída čistoty	-	NAS 1638	-	8	9	8
Prvková analýza ED-XRF	rozměr		min.	výstr.	max.	hodnota
Obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika	-	10	30	<1
Obsah Cu			-	15	25	7
Obsah Cr			-	10	15	3,1
Obsah Sn			-	10	30	<3
Obsah Si			-	-	30	<1
Aditiva, degradace	rozměr		min.	nový		hodnota
Obsah S	ppm (mg/kg)	metodika	-	3594		4245
Obsah P			-	773		825,4
Obsah Mg			-	<101		<101
Obsah Mo			-	<1		<1
Obsah Zn			-	652		694,3
Obsah Ca			-	<10		<10

Nález: Z vizuálního pohledu na filtr jsou patrné nečistoty spolu s měkkými kaly. Vyhodnocení spektrální analýzy nedetekovalo žádné závady. Hodnoty kódu čistoty a třídy čistoty jsou na výstražných hodnotách. Tribologický rozbor dále neprokázal žádné problémy, až na snímek z filtru, který poukazuje na přítomnost měkkých kalů. Měkké kaly způsobují znečištění oleje a jsou důvodem, zvýšené viskozity oproti referenčnímu mazivu.

Doporučení: Celková výměna náplně spolu s vyčištěním nádrže od měkkých kalů.

- Termodiagnostika



Obr. 36 Snímek z termokamery Mazak Quick Turn 350 [autor]

Tab. 18 Podmínky při snímání termokamerou Mazak Quick Turn 350 [autor]

Odražená zdánlivá teplota	24,4°C
Emisivita	0,95
Přenos	0,99
Teplota ovzduší	28°C
Relativní vlhkost	45%
Rychlost proudění vzduchu	do 0,5 m.s ⁻¹
Vzdálenost IR termokamery od objektu	do 2m
Nález	
Stav	I. stupeň
Oteplení soustavy	
Zatížení soustavy	100%
Přepočet oteplení na 100% zátěže	
Doporučení	Bez doporučení

Nález: Bez nálezu.

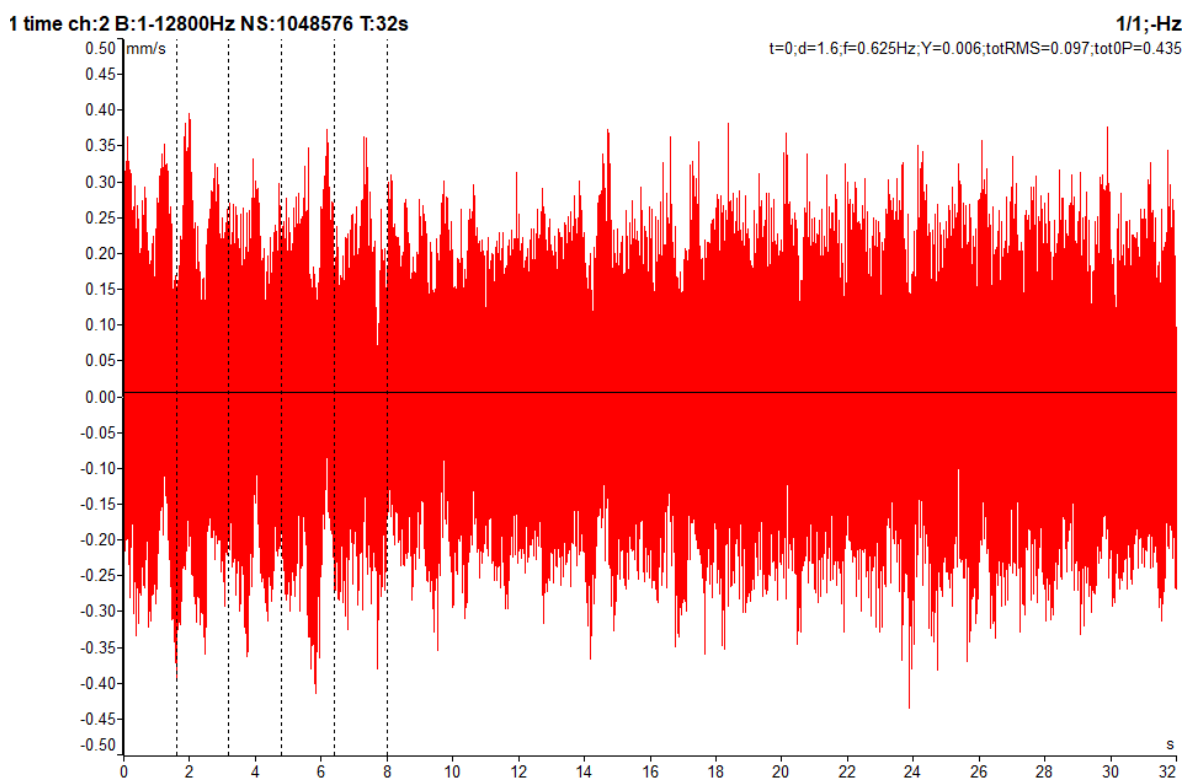
Doporučení: Bez doporučení.

4.2.4 Mazak Integrex i-300

- **Vibrodiagnostika**

Tab. 19 Naměřené hodnoty vibrodiagnostika Mazak Integrex i-300 [autor]

Popis		vřeteno		vřeteno		vřeteno		vřeteno	
Měřící místo		L1	L1	L1	L1	L1	L1	L1	L1
Veličina	Směr								
Max. ot/min		500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000
v_{RMS} [mm/s]	H	0,05	0,07	0,11	0,37	0,37	0,31	1,04	2,02
	V	0,05	0,07	0,11	0,35	0,41	0,58	1,14	1,50
	A	0,03	0,05	0,07	0,23	0,26	0,29	0,30	0,49
a_{RMS} [g] 500 – 25600 Hz	H	0,03	0,04	0,06	0,18	0,17	0,12	0,06	0,14
	V	0,02	0,04	0,05	0,17	0,16	0,10	0,05	0,13
	A	0,08	0,10	0,13	0,34	0,64	0,15	0,17	0,18
Pozn.		-	-	-	-	-	-	-	-

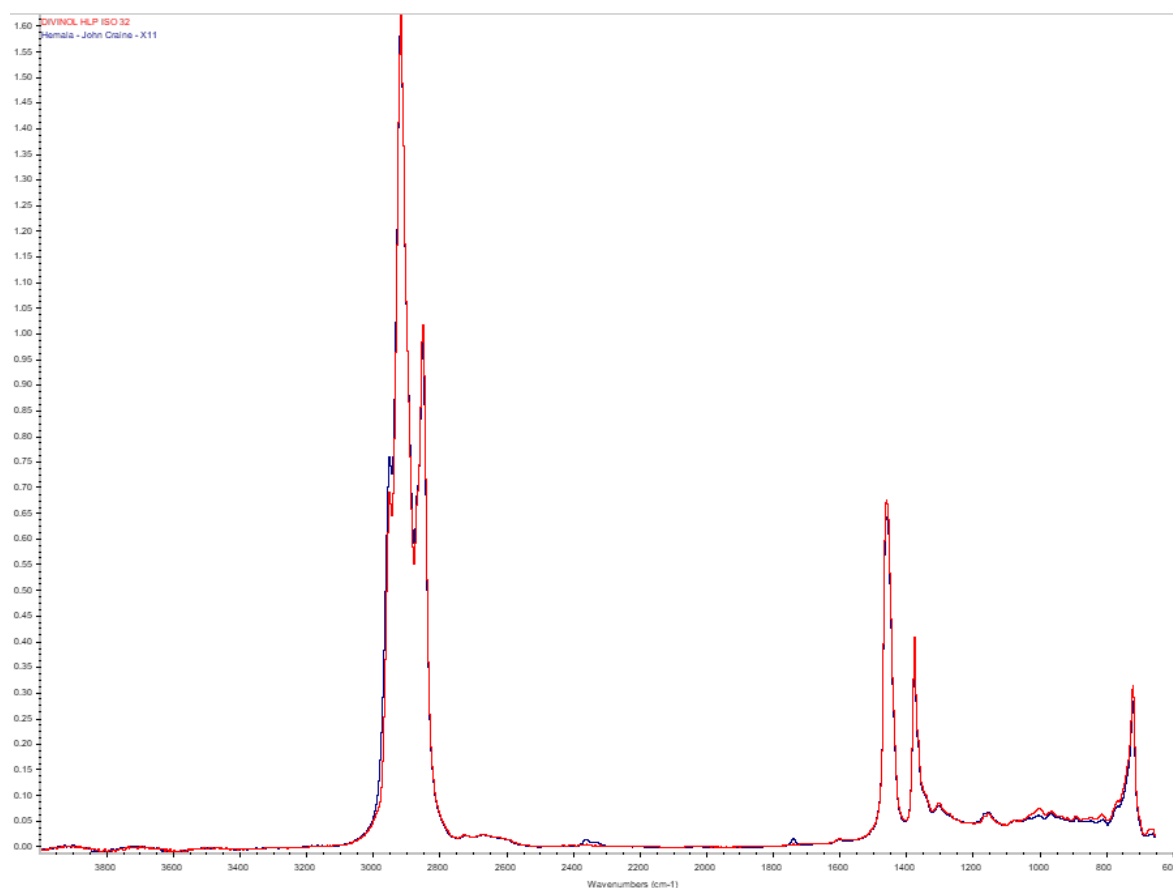


Obr. 37 Časový záznam rychlosti vibrací v horizontálním směru při 2 000 min⁻¹ v rozmezí od 1 – 12 800 Hz [autor]

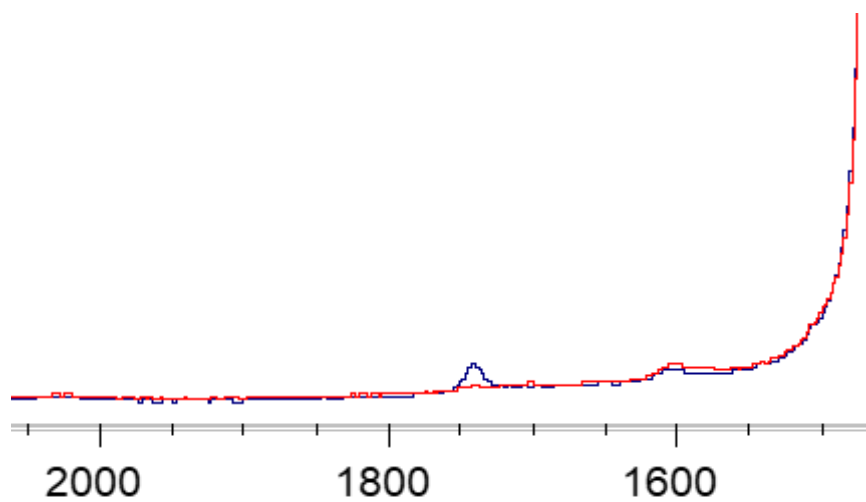
Nález: Měření vibrací bylo provedeno na vřetení stroje. Měřeno bylo bližší ložisko vřetene. Vibrace nevykazují žádnou závadu, pouze při přechodu otáček z 3 000 min⁻¹ na 3 500 min⁻¹ a dále z 3 500 min⁻¹ na 4 000 min⁻¹ bylo zaznamenáno navýšení vibrací, které bylo s velkou pravděpodobností způsobeno nepřesně vyváženým kusem, který byl upnut v čelistech jako nutnost pro roztočení otáček vřetene. Při tomto navýšení jsou vibrace kvadraticky násobeny, což odpovídá naměřeným hodnotám. Obrábění probíhá ve většině operací v rozsahu otáček od 1 000 – 2 000 min⁻¹, kde se ve spektru signálu nevyskytují děje, které by poukazovaly na problém technického rázu.

Doporučení: Bez doporučení.

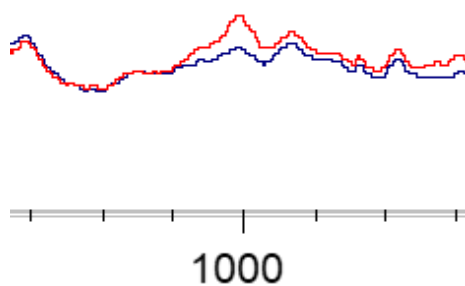
- **Tribodiagnostika**



Obr. 38 FT-IR Mazak Integrex i-300 [autor]



Obr. 39 FT-IR detail 1 Mazak Integrex i-300 [autor]



Obr. 40 FT-IR detail 2 Mazak Integrex i-300 [autor]



Obr. 41 Snímek filtru Mazak Integrex i-300 [autor]

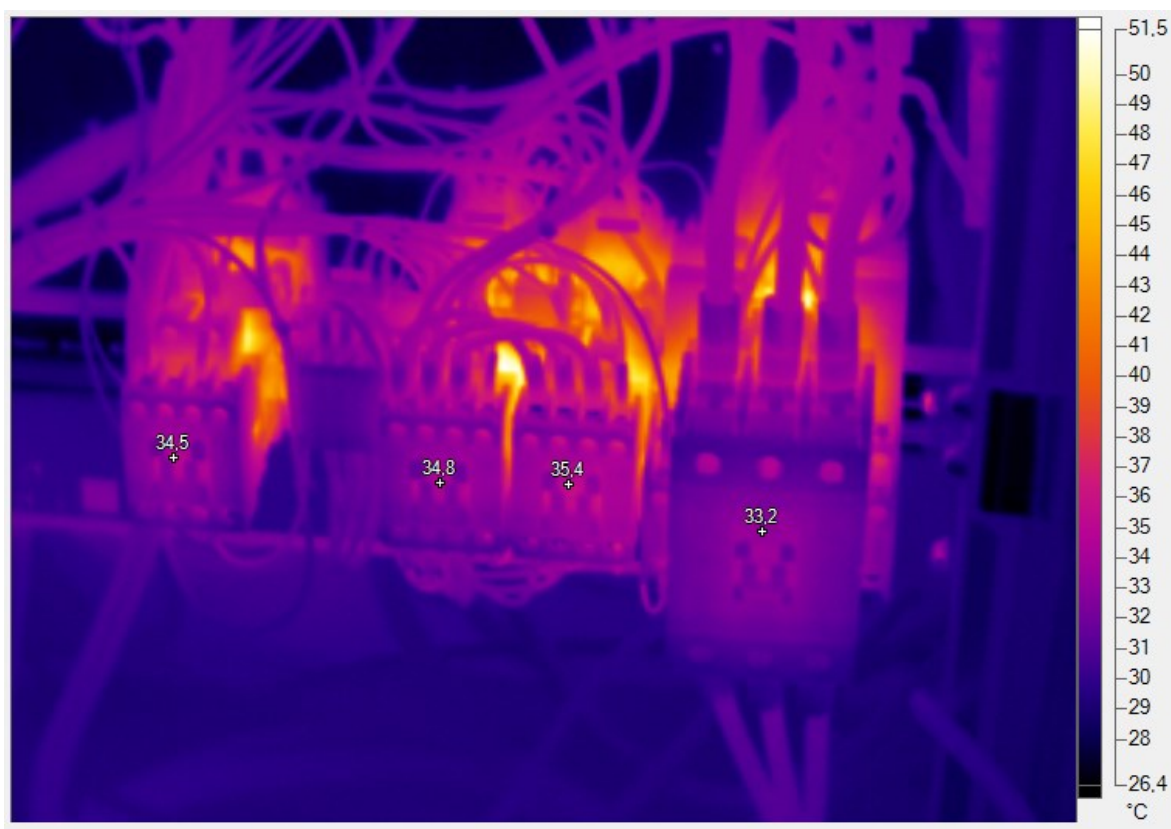
Tab. 20 Naměřené hodnoty tribodiagnostika Mazak Integrex i-300 [autor]

Strojní zařízení: IGX 300i (X11)			Požadovaná hodnota			Stanovená hodnota
Hydraulický olej	rozměr	metoda	min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	28,8	-	35,2	30,9
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618	-	1	1,3	0,698
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937	-	0,3	0,05	0,003
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406	-	18/16/14	19/18/15	16/16/14
Třída čistoty	-	NAS 1638	-	8	9	9
Prvková analýza ED-XRF	rozměr		min.	výstr.	max.	hodnota
Obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika	-	10	30	<1
Obsah Cu			-	15	25	14
Obsah Cr			-	10	15	7,1
Obsah Sn			-	10	30	14,6
Obsah Si			-	-	30	<1
Aditiva, degradace	rozměr		min.	nový		hodnota
Obsah S	ppm (mg/kg)	metodika	-	3594		2299
Obsah P			-	773		609,7
Obsah Mg			-	<101		<101
Obsah Mo			-	<1		<1
Obsah Zn			-	652		443
Obsah Ca			-	<10		<10

Nález: Z vizuálního pohledu na filtr nedetekují žádné závady. Vyhodnocení spektrální analýzy poukazuje na oxidaci oleje v pásmu 1 600 – 1 800 cm⁻¹ a na úbytek aditiv v pásmu na hodnotě 1 000 cm⁻¹. Zhodnocení kódu čistoty a třídy čistoty je na výstražných hodnotách. Zvýšená přítomnost cínu a mědi v oleji. Zřejmě se jedná pouze o běžné opotřebení, které v tomto případě s největší pravděpodobností vzniká v zubovém čerpadle. Konkrétně v ložisku, které pracuje spolu s hydraulickým obvodem. Dále je zde znatelný úbytek aditiva zinku a lehký úbytek fosforu (protioděrové přísady), které jsou ve srovnání s referenčním vzorkem o třetinu nižší.

Doporučení: Provést výměnu oleje, zabrání se tak předčasnému opotřebení a následně poškození strojního zařízení. Zaměřit se na samotné čerpadlo a jeho ložiska, které jsou pravděpodobným zdrojem cínu a mědi v mazacím systému.

- Termodiagnostika



Obr. 42 Snímek z termokamery Mazak Integrex i-300 [autor]

Tab. 21 Podmínky při snímání termokamerou Mazak Integrex i-300 [autor]

Odražená zdánlivá teplota	24,4°C
Emisivita	0,95
Přenos	0,99
Teplota ovzduší	28°C
Relativní vlhkost	45%
Rychlost proudění vzduchu	do 0,5 m.s ⁻¹
Vzdálenost IR termokamery od objektu	do 2m
Nález	Bez nálezu
Stav	I. stupeň
Oteplení soustavy	
Zatížení soustavy	100%
Přepočet oteplení na 100% zátěže	
Doporučení	Bez doporučení

Nález: Bez nálezu.

Doporučení: Bez doporučení.

5 Závěr

5.1 Vyhodnocení

Celkové zhodnocení experimentálních metod k získání objektivních informací odhalilo možné opotřebení a zhoršení kvality maziva u dále rozepsaných zařízení.

Tab. 22 Vyhodnocení diagnostických metod s návrhem intervalu měření [autor]

		Mori Seiki NLX 2500/700	Mazak Integrex 35	Mazak Quick Turn 350	Mazak Integrex i-300
Vibrodiagnostika	Závěrečný výrok	Technický stav dobrý	Technický stav dobrý	Technický stav dobrý	Technický stav dobrý
	Doporučený interval měření	2 měsíce	2 měsíce	2 měsíce	2 měsíce
Tribodiagnostika	Závěrečný výrok	Výměna oleje	Filtrace	Výměna / Filtrace	Výměna oleje
	Doporučený interval měření	3 měsíce	3 měsíce	3 měsíce	3 měsíce
Termodiagnostika	Závěrečný výrok	Technický stav dobrý	Technický stav dobrý	Technický stav dobrý	Technický stav dobrý
	Doporučený interval měření	6 měsíců	6 měsíců	6 měsíců	6 měsíců

Mori Seiki NLX 2500/700

Vibrodiagnostika byla měřena z důvodu dobrého přístupu na obou ložiscích vřetene. Výsledky zhodnocení jsou kladné. Na stroji nebylo detekováno navýšení hodnot, které by zaznamenalo jakoukoliv poruchu, tudíž je zařízení vyhodnoceno jako provozuschopné.

U tribodiagnostiky nedetekoval vizuální pohled na filtr žádné nálezy, avšak další metody vyhodnotily kvalitu kódu čistoty spolu s třídou čistoty ve výstražných hodnotách. Spektrální analýza prokázala mírnou oxidaci oleje a úbytek aditiv. Výsledek koresponduje s hodnotami prvkové analýzy, kde aditiva zinku opravdu poklesla. a to z původní hodnoty na svoji polovinu, spolu s menším poklesem fosforu, kterých je v oleji využito jako protioděrových přísad. Obsah mědi ve vzorku je na výstražné hodnotě, přisuzují jej běžnému opotřebení ze zubového čerpadla, které je součástí hydraulického obvodu.

Při termodiagnostice nebyly prokázány žádné problémy, které by poukazovaly na přehřívající se součástky nebo jiné vznikající poruchy.

Doporučení:

Vibrodiagnostické doporučení zní dále provozovat zařízení, změnit pravidelné měření na dvouměsíční interval, až do detekce prvních vznikajících problémů. Poté upravit interval dle potřeby.

Doporučení po tribodiagnostické stránce zní vyměnit současně používaný olej za nový. Zvýšený kód čistoty by řešila případná filtrace oleje, ovšem v tomhle případě je nutností výměna za olej nový, a to právě z důvodu poklesu protioděrových přísad, které filtrace není schopna doplnit. Vhodný časový interval pro tribodiagnostiku je provádět odběr každé tři měsíce a sledovat jeho vývoj v časovém trendu.

Termodiagnostické měření provádět pravidelně v půlročních intervalech.

Mazak Integrex 35

Vibrodiagnostické měření proběhlo na bližším ložisku k vřetení. Naměřené hodnoty nedetekují žádné závady, stroj je vyhodnocen jako provozuschopný.

Tribodiagnostika a vizuální posouzení filtru nevykazují žádný zřetelný problém. Podrobnější testy vyhodnotily třídu čistoty ve výstražných hodnotách. Prvková analýza detekovala mírně zvýšenou hodnotu mědi, která je přisouzena běžnému opotřebení zubového čerpadla pracujícího v hydraulickém obvodu, kde počet částic dosahuje téměř výstražné hodnoty.

Při termodiagnostice nebyly prokázány žádné problémy, které by poukazovaly na přehřívající se součástky nebo jiné vznikající poruchy.

Doporučení:

Z pohledu vibrodiagnostiky je zařízení bezpečné pro výkon funkce, tudíž lze pokračovat v provozu a měření provádět v pravidelném intervalu každé dva měsíce, až do detekce prvních poruch. Poté upravit interval kontrol dle potřeby.

U tribodiagnostiky navrhuji provést v první řadě filtraci oleje a poté do dvou měsíců další tribologický rozbor. Dále sledovat obsah mědi v oleji a nastavit interval měření jednou za tři měsíce.

Termodiagnostické měření provádět pravidelně v půlročních intervalech.

Mazak QuickTurn 350

Vibrodiagnostické měření se týkalo ložiska bližšího k vřetení. Nebyly detekované žádné hodnoty, které by vypovídaly o poškození. Stroj je vyhodnocen z pohledu vibrací jako provozuschopný.

U tribodiagnostiky a vizuálního posouzení filtru bylo na první pohled patrné znečištění měkkými kaly. Další měření poukázala na zvýšený kód čistoty s třídou čistoty, které jsou ve výstražných hodnotách.

Při termodiagnostice nebyly prokázány žádné problémy, které by poukazovaly na přehřívající se součástky nebo jiné vznikající poruchy.

Doporučení:

Z pohledu vibrodiagnostiky je zařízení bezpečné pro výkon funkce, tudíž pokračovat v provozu. Každé dva měsíce provádět měření, až do detekce prvních poruch. Poté upravit interval kontrol dle potřeby.

U tribodiagnostiky doporučuji vyměnit nebo přefiltrovat olej přes filtr, který odstraní kaly, dále vyčistit hydraulické nádrže od usazenin a měkkých kalů. Poté pokračovat s tribodiagnostikou v tří měsíčních intervalech.

Termodiagnostické měření provádět pravidelně v půlročních intervalech.

Mazak Integrex i-300

Vibrodiagnostické měření bylo provedeno na bližším ložisku k vřetení. Nebyly detekované žádné hodnoty, které by naznačovaly poruchu. Zařízení hodnotím jako provozuschopné.

U tribodiagnostiky jsem vizuálním pohledem neshledal žádné nedostatky. Spektrální analýza prokázala mírnou oxidaci spolu s úbytkem aditiv. Prvková analýza potvrdila úbytek protioděrových aditiv, a to zinku a fosforu. Dále zvýšenou hodnotu cínu a lehce navýšenou u mědi. Jako poslední zvýšený kód čistoty a třída čistoty.

Při termodiagnostice nebyly prokázány žádné problémy, které by poukazovaly na přehřívající se součástky nebo jiné vznikající poruchy.

Doporučení:

Z pohledu vibrodiagnostiky je zařízení bezpečné pro výkon funkce, tudíž se může pokračovat v provozu a v intervalu každé dva měsíce provést opětovné měření do detekce prvních poruch. Poté upravit interval kontrol dle potřeby.

Doporučení po tribodiagnostické stránce zní vyměnit současně používaný olej za nový, právě z důvodu poklesu protioděrových přísad, které filtrace není schopna doplnit. Vhodným intervalem pro tribodiagnostiku je provádět odběr každé tři měsíce a sledovat jeho vývoj v časovém trendu.

Termodiagnostické měření provádět pravidelně v půlročních intervalech.

5.2 Návrh nápravných a preventivních opatření

Ze tří diagnostických metod vykazuje záporné hodnocení tribodiagnostika, z toho důvodu jsem se zaměřil na nápravné opatření právě v této oblasti.

Vzhledem k tomu, že při vyhodnocení referenčního maziva, které bylo odebráno z barelu před použitím ve stroji, byl vyhodnocen obsah nečistot za pomoci třídy čistoty jako výstražná hodnota, vzniká zde problém hned v prvopočátku. Znamená to vyšší než povolený obsah mechanických nečistot, se kterým se dále potýkají všechny vyhodnocené vzorky maziva.

Společnost má ve výrobních halách více než 90 strojů, u nichž je po tribologických rozborech, které provádí externí firmy jedenkrát za šest měsíců, doporučena převážně výměna nebo možnost filtrace. Externí firmy bohužel neprovádí prvkovou analýzu, která odhalí další podstatné věci, jako je například úbytek protioděrových aditiv, které filtrace není schopná do oleje navrátit. Momentálně může dojít k problému, kdy bude olej obsahovat více mechanických nečistot a doporučena bude filtrace. Výsledkem však může být olej vyčištěný od mechanických nečistot, ale stále s nedostatkem aditiv, což může mít neblahý vliv na provozuschopnost stroje.

Navrhovaným řešením je přidat prvkovou nebo spektrální analýzu do výsledných protokolů a zohlednit jejich výsledky při závěrečném doporučení. Při vyhodnocení vzorků olejů ze společnosti John Crane jsem doporučil u dvou výměnu a u dvou filtraci. Budu předpokládat, že by se dané doporučení mohlo aplikovat na všechny stroje společnosti, z čehož plyne jistá finanční úspora, která by vznikla při pouhé filtraci, a ne výměně celého objemu oleje v hydraulické nádrži.

Společnost John Crane, jak je již v kapitole 1.2 uvedeno, má svoji pobočku filtračních systémů, která se v roce 2018 přestěhovala z Holandska do České republiky. Při této příležitosti se naskýtá možnost nechat si vyrobit mobilní filtr na hydraulický olej přímo na míru. Jednorázová investice na pořízení filtračního systému s následným udržováním zařízení v chodu by ve výsledku uspořila náklady a prodloužila životnost za jinak zbytečně měněné oleje, které nebyly u konce své životnosti.

Seznam použité literatury

- [1] HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*, vydala VŠB – Technická univerzita Ostrava 2004, 178 s., ISBN 80-248-0650-9
- [2] John Crane a.s. [online]. [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: <https://www.johncrane.com/>
- [3] NYE, James. *A Long Time in Making: the history of Smiths*. Oxford: Oxford University Press (Verlag), 2014. 408 p. ISBN 978-0-19-871725-6
- [4] Smiths Group plc [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <https://www.smiths.com/>
- [5] Firemní podklady společnosti John Crane, spol. a.s. Jana Sigmunda 78, 783 49 Lutín
- [6] *Ucpávkové šňůry* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: https://www.hennlich.cz/uploads/cz_Technicke_udaje.pdf
- [7] KOCMAN, Karel. *Aktuální příručka pro technický úsek: Svazek 7. Obrábění*. Praha: Dashöfer, 2001. ISBN 80-902247-2-5.
- [8] ŠAFR, E. *Technika mazání. 2. Dopln. Vydání*, SNTL Praha – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970.
- [9] ŠAFR, E. *Tribotechnika*. SNTL Praha – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1984. 300 s. 04-243-84.
- [10] BLATA, J – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe*. Metody diagnostiky technické, teorie i praktika. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5
- [11] MAREK, J. a O. UČEŇ. *CNC obráběcí stroje*. 1. Vydání, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010. 103 s. ISBN 978-80-248-2329-4
- [12] APM Automotive s.r.o. *Hydraulický olej DIVINOL HLP ISO 32* [online]. [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: <http://www.apm.cz/>
- [13] *Převod fyzikálních jednotek* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.prevod.cz/teplomer.gif>
- [14] BLATA Jan. Osobní sdělení vedoucího práce, (VŠB 17. listopadu 2172/15, Ostrava)
- [15] *Hřídelové ucpávky* [online]. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: http://marcomplet.cz/docs/Grundfos/hridelove_ucpavky.pdf
- [16] *Outsourcing v údržbě* [online]. [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://www.management-consulting.cz/userFiles/outsourc.pdf>
- [17] JOHN HART. *Parametry obráběcích strojů* [online]. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://www.johnhart.com.au/cnc-machines/>
- [18] Podkladové materiály firmy – ADASH s.r.o.

Seznam obrázků

Obr. 1 Mechanická ucpávka [5].....	12
Obr. 2 Šňůrová ucpávka [5].....	14
Obr. 3 Filtrační jednotka [5]	14
Obr. 4 Příjmy z jednotlivých divizí [5].....	17
Obr. 5 Výpis z technického listu hydraulického oleje [12]	20
Obr. 6 Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]	21
Obr. 7 Mazak Integrex 35 [autor]	22
Obr. 8 Mazak Quick Turn 350 [autor]	23
Obr. 9 Mazak Integrex i-300 [autor].....	24
Obr. 10 Analyzátor Adash A4400-VA4 Pro [autor].....	26
Obr. 11 Prostředí softwaru Adash A4410 [autor].....	28
Obr. 12 Použití snímačů AC102-1A [autor].....	28
Obr. 13 Použití triaxiálního snímače A115-1A [autor]	29
Obr. 14 Skladovací místo pro oleje [autor].....	31
Obr. 15 Odběr hydraulického oleje – Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]	31
Obr. 16 Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací (FT-IR) [autor].....	33
Obr. 17 Rentgenový fluorescenční spektrometr [autor]	34
Obr. 18 Temperovací lázeň pro měření kinematické viskozity [autor]	35
Obr. 19 Coulometrická metoda pro měření obsahu vody [autor]	36
Obr. 20 Měření hodnoty kyselosti [autor]	36
Obr. 21 Zachycení mechanických nečistot – ultrafiltr 0,8 μm [autor]	37
Obr. 22 Základní typy teplotních stupnic [13].....	40
Obr. 23 L2 – Časový záznam rychlosti vibrací v horizontálním směru při 1 500 min^{-1} v rozmezí od 1 – 12 800 Hz [autor]	42
Obr. 24 FT-IR Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]	43
Obr. 25 FT-IR detail 1 Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]	43
Obr. 26 FT-IR detail 2 Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]	44
Obr. 27 Snímek filtru Mori Seiki NLX 2500/700 [autor].....	44
Obr. 28 Snímek z termokamery Mori Seiki NLX 2500/700 [autor].....	46

Obr. 29 Časový záznam rychlosti vibrací v horizontálním směru při 1 200 min ⁻¹ v rozmezí od 1 – 12 800 Hz [autor].....	47
Obr. 30 FT-IR Mazak Integrex 35 [autor]	48
Obr. 31 Snímek filtru Mazak Integrex 35 [autor].....	49
Obr. 32 Snímek z termokamery Mazak Integrex 35 [autor].....	50
Obr. 33 Časový záznam rychlosti vibrací v horizontálním směru při 2 000 min ⁻¹ v rozmezí od 1 – 12 800 Hz [autor].....	51
Obr. 34 FT-IR Mazak Quick Turn 350 [autor].....	52
Obr. 35 Snímek filtru Mazak Quick Turn 350 [autor].....	53
Obr. 36 Snímek z termokamery Mazak Quick Turn 350 [autor].....	54
Obr. 37 Časový záznam rychlosti vibrací v horizontálním směru při 2 000 min ⁻¹ v rozmezí od 1 – 12 800 Hz [autor].....	55
Obr. 38 FT-IR Mazak Integrex i-300 [autor].....	56
Obr. 39 FT-IR detail 1 Mazak Integrex i-300 [autor].....	57
Obr. 40 FT-IR detail 2 Mazak Integrex i-300 [autor].....	57
Obr. 41 Snímek filtru Mazak Integrex i-300 [autor]	57
Obr. 42 Snímek z termokamery Mazak Integrex i-300 [autor]	59

Seznam tabulek

Tab. 1 Pásma pro vyhodnocení stavu stroje [autor].....	25
Tab. 2 Efektivní hodnota rychlosti vibrací [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$] limity inspirovány normou 20 0065	25
Tab. 3 Efektivní hodnota rychlosti vibrací [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$] limity inspirovány normou 20 0065	25
Tab. 4 Efektivní hodnota zrychlení vibrací [g] [14]	26
Tab. 5 Technické parametry analyzátoru Adash A4400-VA4 PRO [18]	27
Tab. 6 Určující hodnoty při vyhodnocení tribodiagnostických testů [autor].....	32
Tab. 7 Hodnoty pro vyhodnocení termodiagnostiky dle normy ČSN ISO 18 434-1	38
Tab. 8 Popis pro vyhodnocení termodiagnostiky dle normy ČSN ISO 18 434-1	38
Tab. 9 Kritéria pro vyhodnocení tribodiagnostiky [autor].....	41
Tab. 10 Naměřené hodnoty vibrodiagnostika Mori Seiki NLX 2500/700 [autor].....	41
Tab. 11 Naměřené hodnoty tribodiagnostika Mori Seiki NLX 2500/700 [autor].....	45
Tab. 12 Podmínky při snímání termokamerou Mori Seiki NLX 2500/700 [autor]	46
Tab. 13 Naměřené hodnoty vibrodiagnostika Mazak Integrex 35 [autor].....	47
Tab. 14 Naměřené hodnoty tribodiagnostika Mazak Integrex 35 [autor].....	49
Tab. 15 Podmínky při snímání termokamerou Mazak Integrex 35 [autor]	50
Tab. 16 Naměřené hodnoty vibrodiagnostika Mazak Quick Turn 350 [autor]	51
Tab. 17 Naměřené hodnoty tribodiagnostika Mazak Quick Turn 350 [autor]	53
Tab. 18 Podmínky při snímání termokamerou Mazak Quick Turn 350 [autor].....	54
Tab. 19 Naměřené hodnoty vibrodiagnostika Mazak Integrex i-300 [autor]	55
Tab. 20 Naměřené hodnoty tribodiagnostika Mazak Integrex i-300 [autor]	58
Tab. 21 Podmínky při snímání termokamerou Mazak Integrex i-300 [autor].....	59
Tab. 22 Vyhodnocení diagnostických metod s návrhem intervalu měření [autor].....	60

Seznam příloh

Příloha A	Vibrodiagnostická zpráva
Příloha B	Tribodiagnostická zpráva
Příloha C	Termodiagnostická zpráva
Příloha D	Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací (FT-IR)