

VŠB – Technická Univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Diagnostický systém hydraulického lisu APT

Diagnostic System of the APT Hydraulic Press

Student: Bc. Vilém Pippal

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Vilém Pippal**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma: **Diagnostický systém hydraulického lisu APT**
Diagnostic System of the APT Hydraulic Press

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Na základě požadavků a podkladů zadavatele proveďte posouzení současného stavu v oblasti diagnostiky hydraulického lisu APT a navrhněte nové řešení plnící všechny standardy k zajištění provozní spolehlivosti a životnosti stroje.

V rámci zadání zpracujte:

1. Literární rešerši k problematice diagnostiky lisovacích strojů výrobních linek z pohledu využití současných možností a standardů technické diagnostiky.
2. Zjištění aktuálního stavu diagnostiky hydraulického lisu APT v podmínkách provozu výrobní linky zadavatele.
3. Návrh aplikace vhodných metod technické diagnostiky s cílem sledování provozních stavů stroje na základě zjištěných provozních problémů.
4. Praktické ověření navrhovaných řešení formou měření se zaměřením na stanovení kvalitativních vlastností používaných provozních kapalin, včetně vyhodnocení dosažených výsledků.
5. Zpracování doporučení pro další provoz hydraulického lisu APT k zajištění vysoké provozní spolehlivosti a životnosti zařízení.

Další pokyny a konzultace poskytne konzultant diplomové práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. *Technická diagnostika a spolehlivost. IV., Provoz a údržba strojů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 127 s. ISBN 978-80-248-1690-6

BLATA, J. a J. JURASZEK. *Metody technické diagnostiky: teorie a praxe = Metody diagnostyki technicznej: teorie a praktyka*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013. 130, 135 s. ISBN 978-80-248-2997-5

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

SZCZEREK, M. a M. WISNIEWSKI. *Tribologie, Tribotechnika*. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji Radom, 2000. 727 s. ISBN 83-7204-199-7

ČECHURA, M. a J. STANĚK. *Tvářecí stroje: hydraulické lisy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 1999. 140 s. ISBN 80-7082-480-8

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

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



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

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou 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 diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou 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 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 výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....

.....
podpis

Bc. Vilém Pippal
Nad Zahradami 894, Bojkovice 68 771

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

PIPPAL V. *Diagnostický systém hydraulického lisu APT*: diplomová práce, Ostrava: VŠB – TUO, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2017, 72 stran, vedoucí práce: Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá zkoumáním aktuálního stavu hydraulického lisu APT v oblasti diagnostiky. K zjištění technického stavu bylo využito metod technické bezdemontážní diagnostiky, a to tribodiagnostiky, vibrodiagnostiky a termodiagnostiky. Na základě naměřených hodnot odebraného vzorku oleje, vibračního signálu a fotek z IR termokamery bylo stanovené vyhodnocení aktuálního technického stavu hydraulického lisu APT. Na závěr bylo provedeno doporučení pro další provoz, aby byla zaručena vysoká provozní spolehlivost a životnost zařízení.

Klíčová slova: hydraulický lis, tribodiagnostika, vibrodiagnostika, termodiagnostika, spolehlivost, životnost

ANNOTATION OF MASTER THESIS

PIPPAL V. *Diagnostic System of the APT Hydraulic Press*: the master thesis, Ostrava: VŠB – TUO, faculty of mechanical engineering, Department of production machines and design, 2017, 72 pages, Thesis head: Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

The master thesis deals with the examination of the current state of the APT hydraulic press in the field of diagnostics. To determine the technical condition, the methods of technical non-disassembly diagnostics were used, namely tribodiagnosics, vibrodiagnosics and thermodiagnosics. Based on the measured values of the oil sample, the vibration signal and the photos from the IR thermal camera, the evaluation of the current technical state of the APT hydraulic press was determined. In last part, recommendations were made for further operation to ensure high operational reliability and service life.

Keywords: Hydraulic press, tribodiagnosics, vibrodiagnosics, thermodiagnosics, reliability, service life

OBSAH

Úvod.....	9
1. Historie společnosti.....	10
2. Technická diagnostika lisovacích strojů	13
2.1 Tribodiagnostika	14
2.1.1 Sledování stavu opotřebení strojních zařízení	14
2.1.2 Sledování degradace samotného maziva.....	15
2.2 Vibrodiagnostika.....	15
2.2.2 Snímače vibrací.....	16
2.2.3 Umístování snímačů.....	17
2.3 Termodiagnostika.....	18
2.3.1 Bezdotykové měření teploty	18
2.3.2 Dotykové měření teploty.....	18
3. Hydraulický lis.....	20
3.1 Základní parametry hydraulického lisu APT	21
4. Aplikace metod technické diagnostiky	24
4.1 Tribodiagnostika – odběr a rozbor olejů.....	24
4.1.1 Odběr vzorků.....	24
4.1.2 Rozbor oleje v diagnostické laboratoři	26
4.2 Vibrodiagnostika.....	39
4.2.1 Hodnocení vibrací.....	39
4.2.2 Měření vibrací na motorech M1, M2 a M3.....	40

4.2.3 Měření vibrací na čerpadlech Č1, Č2 a Č3	46
4.2.4 Měření vibrací na motorech M4 a M5	52
4.2.5 Měření vibrací na motoru M4 se zátěží a bez zátěže	56
4.3 Termodiagnostika.....	59
5. Zhodnocení výsledků měření	63
5.1 Zhodnocení tribodiagnostiky	63
5.2 Zhodnocení vibrodiagnostiky	64
5.3 Zhodnocené termodiagnostiky	64
6. Výsledná doporučení.....	65
7. Závěr	66
Použitá literatura	67
SEZNAM OBRAZKU A GRAFŮ	68
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	71

Úvod

Ve své diplomové práci, s názvem Diagnostický systém hydraulického lisu APT, budu zjišťovat aktuální technický stav hydraulického lisu APT s následným doporučením pro další provoz k zajištění vysoké provozní spolehlivosti a životnosti stroje ve společnosti ZEVETA Bojkovice a.s.

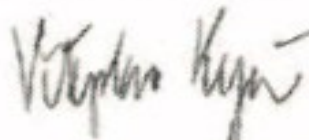
Nejdříve ve své práci řeknu něco o společnosti a přiblížím jejich výrobu. Následně se budu zabývat problematikou diagnostiky u lisovacích strojů ze zohledněním na využití současných možností, a standardů technické diagnostiky. Nejdůležitějším parametrem k zjištění technického stavu hydraulických zařízení je stanovení kvalitativních vlastností provozních kapalin. Vhodné vlastnosti provozních kapalin jsou velice důležité z hlediska tření a následného opotřebení strojních součástí. Tímto lze šetřit čas i náklady potřebné na zbytečné opravy.

Na základě aplikace metod technické diagnostiky na hydraulický lis APT zjistím aktuální provozní stav stroje. Závěrem práce bude zpracování doporučení pro další provoz hydraulického lisu APT z hlediska dosažení co nejvyšší spolehlivosti a životnosti strojního zařízení.

1. Historie společnosti

Pro tvorbu této kapitoly byla využita literatura [6].

Společnost vznikla v roce 1936 pod jménem Kyšer a spol. Hlavní myšlenkou podnikání byla chemická, zbrojní a pyrotechnická výroba. Následující roky docházelo k nárůstu výroby a ke zvyšování počtu zaměstnanců.



Obr. 1 Vítězslav Kyšer [6]

V roce 1940 došlo ke změně názvů na Chemické a zbrojní závody, kde byla výroba přeorientována především na zbrojní výrobu. Roku 1946, kdy byl podnik začleněn do zbrojovky Brno, ve výrobě začala převažovat pyrotechnická výroba pro Ministerstvo obrany. Závod se stává samostatným r. 1954 pod názvem Vlárské strojírny n.p. Bojkovice, rozšiřuje se výroba speciální signální munice, součástková kooperace a civilní pyrotechnika. Roku 1964 došlo k zavedení výroby Al druhovýrobků. Ze začátku Al krupice a Al prášku a následně i k výrobě Al plast. Díky tomuto byla zahájena výroba aerosolových nádobek a tím se stal závod monopolním výrobcem. K další změně názvu došlo roku 1969, kdy se podnik stává samostatným s názvem ZEVETA Bojkovice, začleněným do VHJ-ZVS Brno. Toto začlenění vydrželo až do roku 1990. Tohoto roku se ZEVETA Bojkovice osamostatňuje a stává se státním podnikem. Je zařazena do 1. vlny privatizace. V privatizaci roku 1991 došlo k odprodeji Al produktů německé firmě ALBO SCHLENK a výroba aerosolových nádobek se odpojuje a stává se samostatnou jako a.s. MORAVIA CANS.

V roce 1998 dochází ke vzniku nynější společnosti s názvem ZEVETA Bojkovice, a.s. Vznik společnosti ZEVETA AMMUNITION a.s. roku 2000, která se zaměřuje na speciální výrobu a ekologickou delaboraci munice. Akcionářem je ZEVETA Bojkovice, a.s.



Obr. 2 Areál společnosti ZEVETA Bojkovice a.s. [6]

Nyní se společnost dělí na ZEVETA MACHINERY a.s. a ZEVETA AMMUNITION a.s. pod akcionářem ZEVETA Bojkovice a.s..

ZEVETA MACHINERY a.s. Výrobní program společnosti se skládá z lisování dílů, obrábění dílů, povrchovou úpravou, vývojem a konstrukcí. Tato společnost se zabývá mimo jiné výrobou dílů pro automobilový průmysl. Vlastní konstrukce se zaměřuje na zpracovávání technické dokumentace jak nových výrobků, které jsou zpracovávány na základě požadavků zákazníků, vývoj nových nástrojů ale také pracuje pro vlastní potřebu v rámci inovací společnosti. Konstrukce je převážně zaměřena na lisovací nástroje nepřeberného množství druhů a také na konstrukci různých přípravků k výrobě i měřidel.



Obr. 3 Vyráběné díly [6]

ZEVETA AMMUNITION a.s. Výrobní program společnosti se skládá ze speciální výroby a civilní výroby. Zabývá se jak vývojem, tak výrobou munice. Výrobní program se dělí do oborů signální a osvětlovací munice, dýmová ochrana techniky a jednotlivce, imitační prostředky, zapalovače, rušící náboje, klamné cíle, ruční granáty, reaktivní protitankové granáty, zásahové prostředky, zkušebnictví, výroba pyrotechnických složí, výroba civilní pyrotechniky, delaborace a ekologická likvidace munice.

Výrobky pro speciální účel (pro ozbrojené složky) např. signální prostředky ráže 26,5 mm, klamné cíle na ochranu letecké techniky o 60 mm, ruční granáty s řízeným rozkladem střepin, zásahové výbušniny, imitační pyrotechnické prostředky atd. Výrobky pro civilní pyrotechniky např. generátory hasícího aerosolu, dělové rány třídy III., ruční nouzové rakety komunikační trubice, pyrotechnické zapalovače ohňostroje, detekční dýmovničky, atd.



Obr. 4 Vyráběná pyrotechnika [6]

2. Technická diagnostika lisovacích strojů

Pro tvorbu této kapitoly byla využita literatura [1], [3].

Technická diagnostika je vědní obor, který se zabývá prostředky a metodami k zjištění technického stavu stroje nebo strojního zařízení. Prostřednictvím technické diagnostiky můžeme včas rozhodnout o potřebě opravy a jejího rozsahu na strojním zařízení. Technická diagnostika je podstatným znakem autonomní údržby. Po zavedení technické diagnostiky do provozu docílíme převážně vyšší bezpečnosti provozu a to považujeme za lepší ochranu pracovníků před nečekanými vlivy způsobené poškozením strojního zařízení, ale zároveň dosáhneme snížení nákladů potřebných na údržbu. Mezi tyto náklady patří např. náhradní díly, výměna olejů, odstranění vadných výrobků, které vznikly nepřesností výroby, ale také eliminace prostojů ve výrobě vzniklé nečekanou havárií stroje apod.

Pro získání bezpečnostního a ekonomicko-ekologičtějšího provozu je využíváno mnoha metod technické diagnostiky. Ani jedna z těchto metod není univerzální a nedá se použít u každého zařízení a pomocí jedné metody v mnoha případech není schopné docílit stoprocentního úspěchu, proto v praxi často vzniká kombinace jednotlivých metod.

Technická diagnostika se rozděluje na dvě základní metody, a to na nedestruktivní diagnostiku a bezdemontážní diagnostiku.

Nedestruktivní diagnostika

Nedestruktivní zkoušení používá různé metody pro zjištění necelistvosti v materiálu, systému, předmětu nebo produktu. Toho musí být docíleno tak, aby nedošlo k jejich poškození a zároveň, aby nebyla narušena jejich následná použitelnost a současně nebyla ovlivněna následná předpokládaná funkce. K zjišťování necelistvosti materiálů nedestruktivní metody používají vhodnou formu energie, indikování výskytu materiálových diskontinuit jak vnitřních, plošných ale i skrytých, nebo je využíváno způsobů pro stanovení materiálových vlastností. Mezi tyto metody patří například kapilární metody, ultrazvukové testování, metody indikace rozptylových polí.

Bezdemontážní diagnostika

Technická bezdemontážní diagnostiku rozděluje na dvě části. Testová diagnostika a její hypotézy a na druhou část Prozní technická diagnostika.

Testová diagnostika a její hypotézy spočívá v testování vybraných a rozhodujících parametrů. Tuto část považujeme za funkční diagnostiku.

Provozní technická diagnostika se zabývá měřením fyzikálních diagnostických parametrů. Tato část zahrnuje tribodiagnostiku, vibrodiagnostiku, termodiagnostiku, akustickou diagnostiku, atd.

2.1 Tribodiagnostika

Pro tvorbu této podkapitoly byla využita literatura [3], [4].

Tribodiagnostika je jednou z metod technické bezdemontážní diagnostiky. Mazivo je hlavním parametrem k zjištění technického stavu stroje nebo strojního zařízení a k zjištění kvality vlastního maziva. Tím pádem se tribodiagnostika dělí na dvě metody. Sledování stavu opotřebení strojního zařízení a sledování degradace samotného maziva.

2.1.1 Sledování stavu opotřebení strojních zařízení

Na základě obsahu otěrových kovů v mazivu sledujeme stav opotřebení strojního zařízení. V jednotlivých třecích uzlech dochází k postupnému opotřebování, po-té se uvolňují částice kovů nebo jejich sloučeniny do maziva a následně tyto částice putují společně s mazivem v mazací soustavě. Po provedení zkoušek dostaneme tvar, velikost a množství částic v mazivu a následným vyhodnocením dostaneme obraz o druhu opotřebení a stavu jednotlivých třecích uzlů. Pomocí vhodné interpretace výsledků nám tyto metody umožňují včas upozornit na příznaky vznikající poruchy.

Tuto metodu rozděluje ještě na dvě skupiny:

Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů

- atomová spektrofotometrie
- atomová emisní spektrofotometrie
- atomová absorpční spektrofotometrie
- polarografie a voltametrie
- metody RAMO

Metody pro hodnocení morfologie a distribučního rozdělení částic kovů

- částicová analýza neboli ferrografie s vyhodnocením
 - feroskopickým (morfologie a chemické složení)
 - ferodenzimetrickým (distribuce vzhledem k velikosti)

2.1.2 Sledování degradace samotného maziva

Životnost maziva lze získat pomocí sledování jeho degradace a zjištění jeho aktuálního stupně znehodnocení, díky tomu můžeme stanovit ideální intervaly výměny maziva a tím ušetřit nemalé náklady hlavně při velkém obsahu maziva ve strojním zařízení. Také po degradaci oleje může docházet k poruše funkčnosti mazací soustavy. Míru znehodnocení získáme měřením a následným vyhodnocením fyzikálně chemických parametrů maziva.

K měření fyzikálně chemických parametrů je dosaženo pomocí následujících testů:

- kinematičká viskozita
- bod vzplanutí
- obsah vody
- číslo celkové alkality a kyselosti
- Conradsonův karbonizační zbytek
- celkové znečištění
- mechanické nečistoty
- spektrální analýza olejů

2.2 Vibrodiagnostika

Pro tvorbu této podkapitoly byla využita literatura [2], [9].

Zařízení pracují na základě pohybu posuvného, rotačního nebo jiného a při tom zařízení v provozu produkuje vibrace. Projev a velikost vibrací souvisí s technickým stavem zařízení, proto při sledování vibrací je možné určit technický stav daného zařízení. Vznikající závadu na zařízení můžeme odhalit už v počátku vzniku a díky tomu dostáváme možnost naplánovat vhodnou odstávku zařízení. Vysoké vibrace mají veliký vliv na dynamické namáhání stroje a tyto vibrace nám snižují životnost zařízení. Vibrace zařízení jsou zapříčiněny například nesouosostí, nevyvážeností, uvolněním, málo tuhou konstrukcí rezonancí apod.

2.2.2 Snímače vibrací

Pro sledování vibrací neboli mechanického kmitání a následného převodu na elektrickou veličinu je využíváno snímačů vibrací. Tyto snímače dále elektrickou veličinu zesilují a zpracovávají. Existují různé druhy snímačů vibrací pro různé podmínky a jejich aplikaci. Snímače vibrací se liší např. dynamickým rozsahem, rozsahem frekvencí, rezonančními vlastnostmi, citlivostí, hmotností, cenou apod. Snímače rozdělujeme pomocí měřené veličiny na snímače zrychlení, rychlosti a výchylky.

Akcelerometry

Tyto snímače jsou nejpoužívanější, měřenou veličinou je zrychlení. Podle potřeby můžeme zrychlení dále početně převést na výchylku nebo rychlost. Akcelerometry se rozšířili díky nižší ceně a jednoduché konstrukci. Akcelerometr pracuje na principu piezoelektrického jevu, kdy při působení síly na stěnách piezoelektrického krystalu vytváří elektrický náboj. Tento náboj se následně měří a vyhodnocuje. Elektrický náboj je úměrný zrychlení, jelikož náboj je úměrný síle a hmota snímače je konstantní.

Charakteristika a frekvenční rozsah akcelerometru závisí na seismické hmotnosti použitého závaží, které působí na piezoelektrický krystal. Zvyšování seismické hmotnosti zmenšujeme frekvenční rozsah snímače, ale zároveň zvyšujeme citlivost. Akcelerometry dále rozdělujeme podle směru působení síly na smykové, ohybové a tlakové.

Snímače rychlosti

Princip snímačů je založen na indukci napětí při změně magnetického pole. Rychlost změny magnetického pole je závislá na indukovaném napětí. Snímač rychlosti je seismické zařízení jako akcelerometr, toto zařízení generuje napěťový signál, který je úměrný mechanické vibrační rychlosti tělesa. Snímač se skládá z cívky, ve které se pohybuje magnet, který indukuje elektrické napětí. Nevýhodou je vyšší cena, hmotnost a omezení horního kmitočtu.

Snímače výchylky

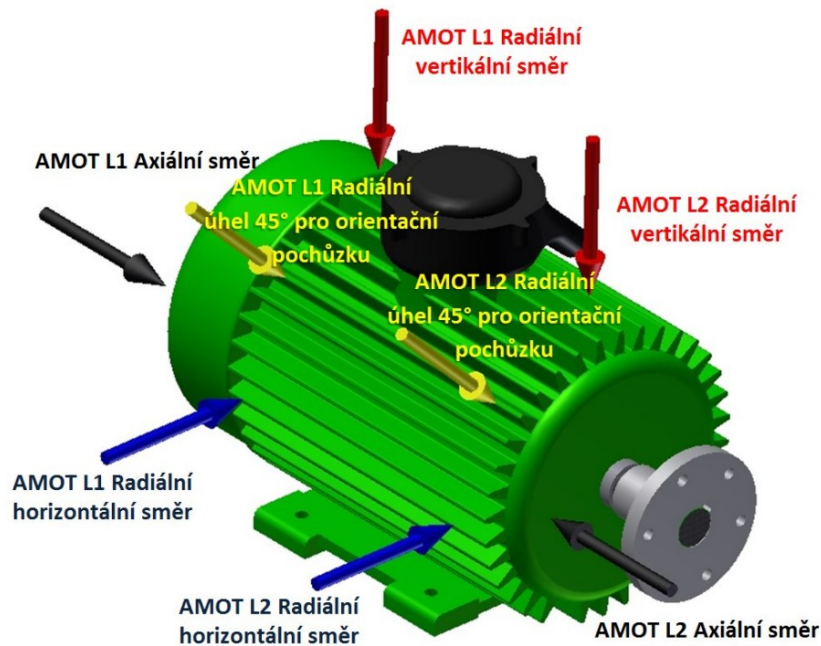
Tyto snímače měří změnu polohy nebo vzdálenosti vůči referenční poloze. Snímače výchylky se praxi současně nevyužívají, ale měření výchylky je využíváno za pomoci bezdotykové sondy. Sondy využívají principu vířivých proudů, kdy cívkou prochází generovaný vysokofrekvenční střídavý proud a ten generuje vysokofrekvenční magnetické

pole. Snímačů je využíváno především u velikých turbosoustrojí, u kterých je využíváno orbitální analýzy.

2.2.3 Umíst'ování snímačů

U umístění snímačů je potřeba dodržovat základní provozní zásady, aby nedošlo při měření ke zkreslení hodnot. Zkreslené hodnoty mají veliký vliv při následném vyhodnocování, kdy následně dochází ke špatné analýze technického stavu strojního zařízení.

Ve většině případů umís'tujeme snímače v každém měřicím bodě, a to v horizontálním, vertikálním a axiálním směru. Toto umístění je důležité pro následnou identifikaci a vyhodnocení jednotlivých poruch. Směru pod úhlem 45° je využíváno při orientačním pochůzkovém měření, při takovém měření nedosáhneme stejné kvality jako u měření ve třech směrech.



Obr. 5 Umís'tování snímačů [2]

Hlavní zásadou pro umístění snímačů je znalost konstrukce celého zařízení, použití vhodných snímačů, volba vhodného měřicího místa a způsob umístění snímače. Snímač umís'tujeme co nejbližší měřenému místu, aby nedocházelo k útlumu signálu. Měříme přímo na konstrukční části zařízení, tak aby byla tato část v přímém kontaktu s ložiskem. Snímače nesmíme umís'tovat na přechodech mezi materiály.

Do měřicího bodu snímač umístíme nejprve pod úhlem na hranu a následně pokládáme na celou plochu, tak aby nedocházelo ke klepnutí a poškození snímače. Při umístování musíme dbát na bezpečnost, umístíme snímače v dostatečně bezpečné vzdálenosti od rotujících součástí.

2.3 Termodiagnostika

Pro tvorbu této kapitoly byla využita literatura [2], [10].

Hlavním parametrem u termodiagnostiky je sledování teploty eventuálně rozboru teplotních obrazů, tohoto parametru je využíváno u termovizních snímků. Tyto parametry slouží k zjištění technického stavu stroje nebo strojního zařízení. Teplota je stavová veličina, která určuje stav termodynamické rovnováhy. Teplota je fyzikální veličina, která se nedá měřit přímo, proto k zjištění teploty je využíváno jiných fyzikálních veličin. Samostatné měření teploty rozdělujeme na bezdotykové a dotykové měření teploty.

2.3.1 Bezdotykové měření teploty

Bezdotykové měření teploty se stále rozšiřuje díky vyšší dostupnosti infračervených termokamer. Toto měření se rozšiřuje do mnoha oblastí průmyslu. Mimo strojařský průmysl je využívání bezdotykového měření v potravinářském, zdravotnickém, stavebním a mnoha dalších. Samotné bezdotykové měření má jak své výhody, tak i nevýhody.

Mezi výhody patří možnost měření a vyhodnocení teploty celých těles. Měřicí technika má zanedbatelný vliv na měřený objekt, můžeme také měřit velmi rychlé změny teploty objektu. Dokážeme měřit rotující a pohybující se objekty, měření bychom měli provádět z bezpečné vzdálenosti.

Nevýhodou bezdotykového měření je značné ovlivňování změřené teploty při špatném zadání emisivity nebo při špatném zadání a znalosti všech okolních vlivů.

2.3.2 Dotykové měření teploty

U dotykového měření teploty dochází k přímému kontaktu teploměru s měřeným objektem. Dotykové teploměry se rozdělují podle fyzikálního principu a funkce.

Dilatační – u tohoto principu je využíváno roztažnosti tuhých, kapalných a plyných látek. Mezi tyto teploměry patří kapalinový teploměr, bimetalový teploměr a plynový teploměr.

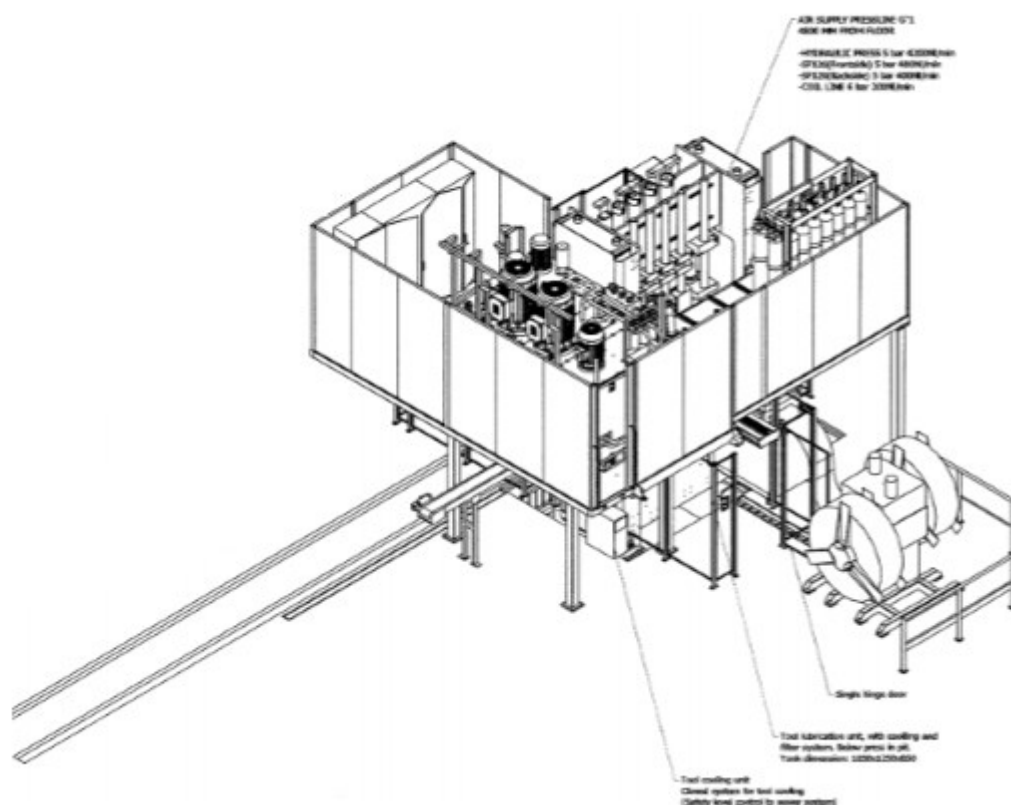
Indikátory teploty - použití indikátorů je pro stanovení přibližné hodnoty teploty. Hodnota teploty je stanovena pomocí limitní hodnoty indikátoru. Indikátor je navrhnut na určitou hodnotu teploty, při které dochází u indikátoru ke změně tvaru, barvy nebo skupenství.

Dále máme teploměry odporové, polovodičové a termoelektrické.

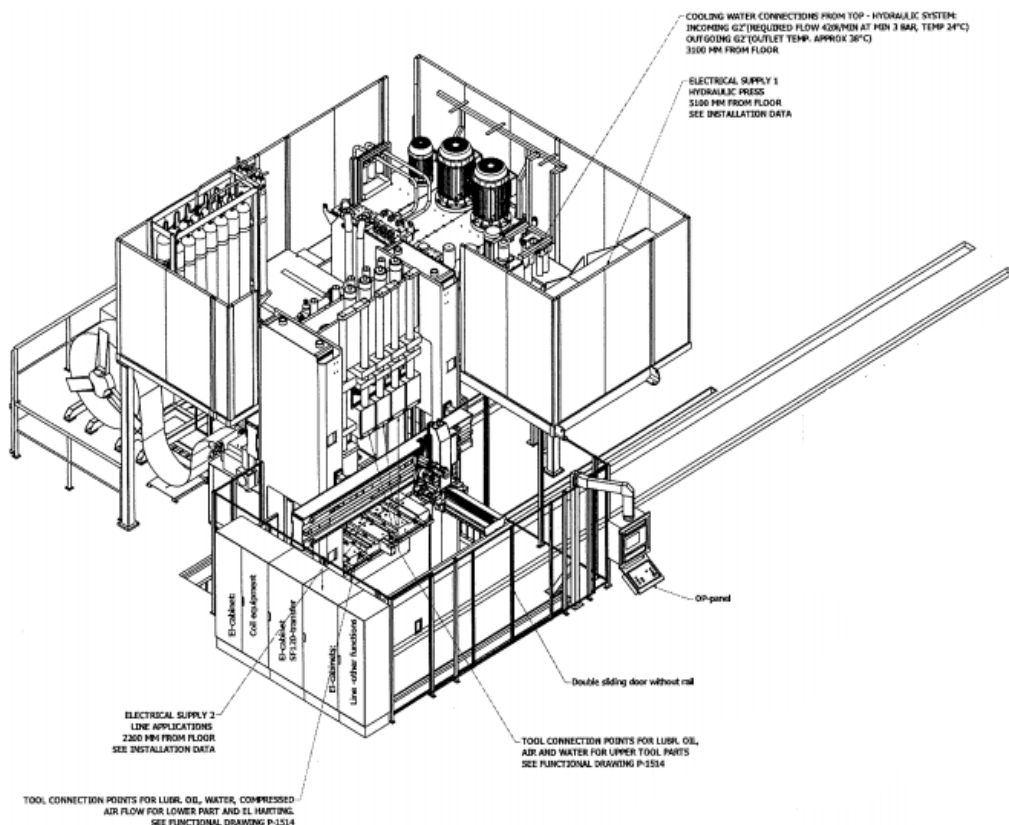
3. Hydraulický lis

Pro tvorbu této kapitoly byla využita literatura [5].

Hydraulické lisy spadají do kategorie tvářecích strojů. Tvářecí stroj je uměle vytvořená dynamická soustava, která má za úkol realizovat tvářecí proces. Tento proces vede k trvalému přetvoření výchozího materiálu. Hydraulické lisy jsou vyhovující pro protlačování rozměrných a hlavně dlouhých vylisků. Lisy snadno dosahují velkých tvářecích sil po dlouhé pracovní dráze. Výhodou je zkrácení neproduktivních časů pomocí dosažení značné přibližovací a zpětné rychlosti. Další výhodou jsou malé došedací rychlosti na vstupní materiál a to má za následek vyšší životnost nástrojů.



Obr. 6 Hydraulický lis APT



Obr. 7 Hydraulický lis APT

3.1 Základní parametry hydraulického lisu APT

Tab. 1 Základní parametry

Stroj	
Výrobní číslo	P11010-1
Typ stroje	MSP-5-1700-22/10
Hmotnost stroje	
Statická hmotnost (kg)	42000
Dynamická hmotnost (kg)	15400
Celková hmotnost (kg)	57400
Voda pro chladič systém	
Průtok (l/min)	420
Tlak vody, minimální (kPa)	300
Teplota, maximální (°C)	24
Hydraulický olej	
Množství (l)	4000
Viskozita (cSt)	46
Filtrovatelný faktor min.	104,2

Stlačený vzduch					
	Lisování	Přední převod	Zadní převod	Cívka zařízení	Mazaní nástrojů
Minimální průtok (Nl/min)	4200	400	400	200	200
Tlak (kPa)	500	500	500	600	500
Elektrická dodávka					
	Lisování	Aplikace linky			
Napětí (V)	400	400			
Frekvence (Hz)	50	50			
Jmenovitý výkon (kW)	386	53			
Maximální kapacita zkratu (kA)	25	25			

Měřený hydraulický lis APT se skládá z pěti sériově zapojených nástrojů. V tabulce 1 jsou vidět základní parametry hydraulického lisu APT, jako je hmotnost stroje, průtok, tlak a teplota pro chladicí systém lisu. Množství, viskozita a filtrovatelný faktor hydraulického oleje. Nastavení stlačeného vzduchu a elektrická dodávka lisu.

Tab. 2 Technické data

Technické data	Protahování		
	1	2	3, 4 a 5
Max. síla (kN)	800	310	210
Max. vratná síla (kN)	160	100	60
Zdvih (mm)	500	1000	1000
Rychlost zavírání (mm/s)	300	600	600
Max. lisovací rychlost (mm/s)	(na 800 kN) 200	(na 310 kN) 350	(na 210 kN) 350
Max. rychlost návratu (mm/s)	300	600	600

V tabulce 2 jsou technické data všech pěti protahování. Jako maximální síla, max. vratná síla, zdvih, rychlost zavírání, lisovací rychlost při max. síle a rychlost návratu. V tabulce 3 je vidět maximální síla a zdvih pro tlumení 1 až 5. Dále max. síla a zdvih pro třetí válec 1 až 5.

Tab. 3 Nastavení lisu

(dvojčinné)				
	Tlumení 1	Tlumení 2	Tlumení 3-4	Tlumení 5
Max. síla (kN)	500	200	130	12
Zdvih (mm)	250	320	450	450
(dvojčinné) Pneumatický				
	Třetí válec 1	Třetí válec 2-3	Třetí válec 4-5	
Max. síla (kN)	1	1	3,9	
Zdvih (mm)	200	500	500	

Tab. 4 Hlavní motory s čerpadly

Čerpadlo - Motor	
Hlavní výkon elektromotoru (kW)	2x160 + 1x30
Hlavní elektromotor (rpm)	1450
Hlavní výkon čerpadla (l/min)	2x362,5 + 1x180
Max. systémový tlak (bar)	300

V tabulce 4 vidíme tři hlavní motory. Všechny tyto motory pracují při 1450 rpm. Dva motory mají 160 kW a pod nimi jsou dvě hlavní lamelové čerpadla o výkonu 362,5 l/min. K tomu je na lisu ještě jeden motor o výkonu 30 kW, na který je zapojené čerpadlo o výkonu 180 l/min.

4. Aplikace metod technické diagnostiky

Na základě zjištění aktuálního stavu hydraulického lisu APT, kde v průběhu provozu došlo k vniknutí vody do mazací náplně z důvodu prasknutí chladícího zařízení. Doporučuji provést kontrolu olejové náplně pomocí tribodiagnostických zásad, a to hlavně z důvodu důležitosti dobré kvality maziva u hydraulických lisů. Dále doporučuji použít termodiagnostiku z důvodu přehřívání hydraulického lisu. V průběhu jednoho týdne došlo ke spálení dvou motorů. Jako další metodu bych doporučil provést vibrodiagnostiku na všech pěti motorech a třech čerpadlech ke zjištění jejich aktuálního stavu.

4.1 Tribodiagnostika – odběr a rozbor olejů

Pro tvorbu této podkapitoly byla využita literatura [2], [3], [7], [8].

4.1.1 Odběr vzorků

Zásady při odběru vzorků

Při odebírání vzorků ze strojního zařízení musí být dodrženy hlavní zásady. Kdyby tato zásady nebyly dodrženy, dostaneme nekompletní výsledky měřeného vzorku. Proto by měl být vzorek odebíráný jednou osobou. Pokud by tomu tak nebylo, musí být vypracovaný přesný pracovní postup a metodika.

Před odběrem vzorku musí strojní zařízení být alespoň 20 minut v provozu, aby došlo k ohřátí oleje na provozní teplotu a dokonalému promíchání oleje. Jakmile splňujeme tuto podmínku, odпустíme cca 500 ml oleje do čisté nádoby a následně vlijeme zpět do zařízení. Toto provádíme z důvodu propláchnutí odběrových míst. Následně odebereme 200-250 ml oleje do vzorkovnic, která bývá převážně o obsahu 300 ml. Tato vzorkovnice musí být čistá, suchá a hned po dokončení odběru musíme vzorkovnici uzavřít.

Takto odebraný vzorek před předání do laboratoře musí být řádně označen:

- číslo a název stroje
- mazané místo
- druh maziva
- datum odběru
- kdo odebral

Odběr ze strojního zařízení

Při odběru ze strojního zařízení jsem dodržel všechny předchozí zásady a metodiku odběru. Odebral jsem olej pomocí pumpy z hydraulického lisu APT. Jedná se o hydraulický olej RANDO HD 46 od firmy Texaco.



Obr. 8 Odběr vzorků oleje [Autor]

Následně jsem odebral referenční vzorek pomocí pumpy z barelů umístěné ve výrobní hale.



Obr. 9 Referenční vzorek [Autor]

4.1.2 Rozbor oleje v diagnostické laboratoři

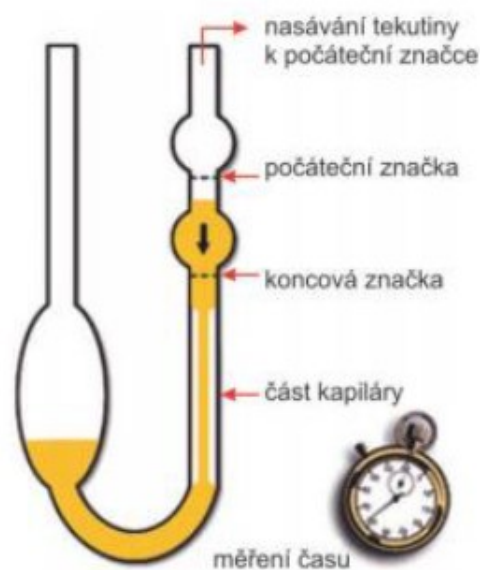
Pro rozbor a analýzu olejů jsem využil diagnostickou laboratoř ve škole. Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava.

Kinematická viskozita

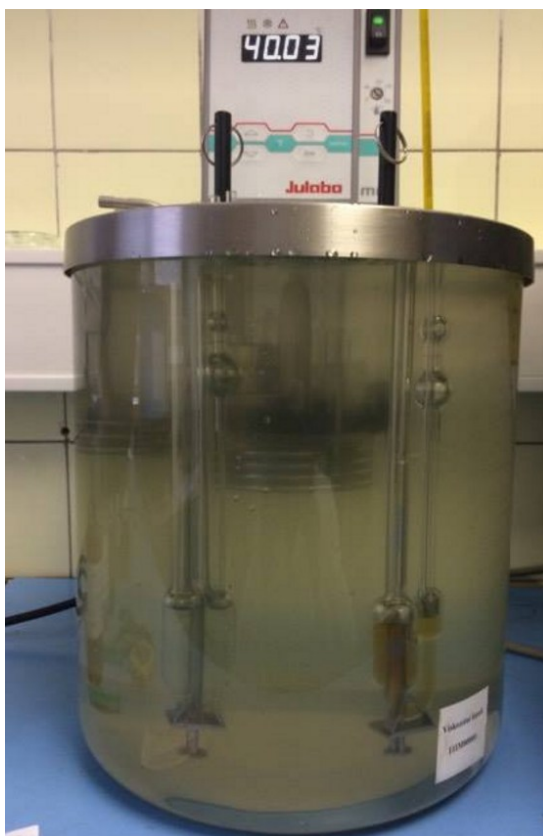
Kinematická viskozita je základní zkoumanou vlastností oleje. V praxi dochází k zvyšování nebo k snižování viskozity. Snižování viskozity má za důsledek mezní až suché tření v soustavě. Takové tření nám zvyšuje opotřebení. Ke snižování dochází díky mechanické a tepelné degradaci aditiv obsažených v oleji. Zvyšování viskozity má důsledek ztrátu energie. Zvyšování viskozity způsobují produkty nebo meziprodukty oxidační povahy, zahušťování nečistotami, znečištění kondenzačními produkty nebo vytvořením emulze s vodou.

Viskozita u průmyslových olejů je závislá na teplotě. Po změně teploty o 1°C dochází ke změně viskozity si o 5%. Kinematickou viskozitu můžeme určit pomocí různých typů viskozimetrů, jako jsou rotační viskozimetry, kapilární, průtokové viskozimetry nebo viskozimetr s padající kuličkou.

Pro měření kinematické viskozity jsem zvolil kapilární viskozimetr za použití typu viskozimetru Ubbelohde.



Obr. 10 Kapilární viskozimetr typu Ubbelohde [7]



Obr. 11 Vzorky ve vodní lázni [Autor]

Pro měření kinematické viskozity odebraného vzorku ze strojního zařízení jsem použil viskozimetr s konstantou $c = 0,09408 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$. Desinfikovaný, čistý a suchý viskozimetr jsem umístil do vodní lázně (Obr. 11), následně vhodně homogenizovaný vzorek měřeného oleje jsem umístil pomocí injekční stříkačky do viskozimetru mezi dvě rysky, které jsou pro toto určeny. Takto umístěný vzorek oleje jsem nechal 30 minut zahřívát při teplotě 40°C . Po zahřátí testovaného vzorku oleje jsem olej vysál pomocí zařízení k tomu určené nad počáteční značku viskozimetru. Jakmile se olej dostal přesně na počáteční rysku, započal jsem měření času pomocí certifikovaných stopek. Po dosažení koncové rysky jsem měření času ukončil a následně spočítal kinematickou viskozitu pomocí následujícího vztahu.

$$\nu = c \cdot \tau$$

c = konstanta viskozimetru

τ = aritmetický průměr doby průtoku viskozimetru

Naměřené hodnoty:

$$c = 0,09408 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\tau = 490 \text{ s}$$

$$v = c \cdot \tau = 0,09408 \cdot 490 = 46,1 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

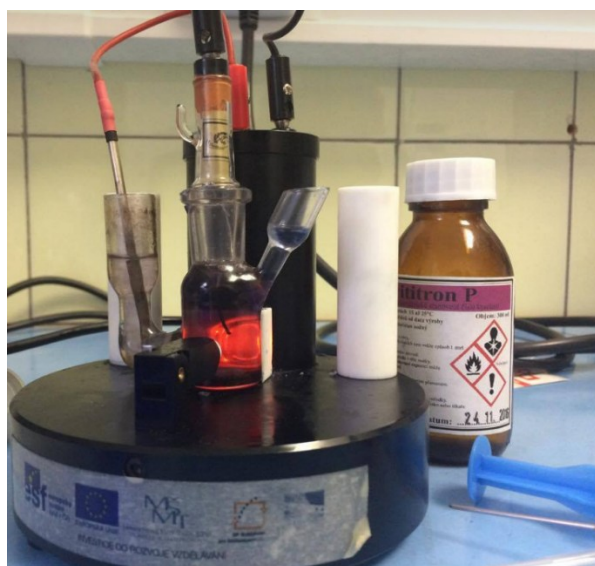
Tab. 5 Výsledky viskozity

Olej ze strojního zařízení	
Měření	Viskozita [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
č. 1	46,10
Referenční vzorek	
Měření	Viskozita [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
č. 1	46,95

Číslo kyselosti

Hodnota kyselosti nám udává zvýšení látek kyselého charakteru v oleji. Tyto látky vznikají v oleji důsledkem degradace neboli termooxidačních reakcí. Zvýšení kyselosti je nežádoucí, jelikož dochází ke zvýšení korozivnosti oleje.

Použil jsem metodu titrace kyselých sloučenin na barevný indikátor. Tato metoda je založen na principu spotřebování množství KOH na neutralizaci všech kyselých sloučenin obsažených v analyzovaném vzorku oleje.



Obr. 12 Coulometr pro stanovení čísla kyselosti [Autor]

Pro stanovení čísla kyselosti jsem použil zařízení Coulometr (Obr. 12). Do zařízení jsem umístil roztok KOH a Acitiron P. Následně jsem propojil obvod a připojil zařízení do počítače. Dobře homogenizovaný vzorek jsem nabral do injekční stříkačky a umístil jsem ji na kalibrovanou váhu a po-té váhu vynuloval (Obr. 13). Započal jsem měření pomocí tlačítka v Diram Measure a během 20 s jsem umístil malé množství navážky do Coulometru. Injekční stříkačku se zbytkem navážky jsem znovu umístil na kalibrovanou váhu a hodnotu navážky umístěné v Coulometru jsem zadal do programu. Po dokončení titrace jsem dostal výslednou hodnotu.



Obr. 13 Váha [Autor]

Naměřené hodnoty:

Tab. 6 Výsledky čísla kyselosti

Olej ze strojního zařízení		
Měření	Množství oleje [g]	Kyselost [mg KOH/g oleje]
č. 1	0,0858	0,431
č. 2	0,1031	0,490
č. 3	0,2327	0,469
Referenční vzorek		
Měření	Množství oleje [g]	Kyselost [mg KOH/g oleje]
č. 1	0,2126	0,544
č. 2	0,2418	0,491
č. 3	0,1312	0,469

Obsah vody

Při obsahu vody v mazivu se mazivo znehodnocuje. Všeobecně nelze zabránit vniknutí stopového množství vody do maziva, proto se obecně povoluje max. 0,2% hmotnostního obsahu vody v oleji. Obsah vody v hydraulickém oleji je nežádoucí z důvodu pění oleje, tvorby emulze, vznikající korozi součástí, zvyšování viskozity, vypadávání aditiv, snížení oxidační stability oleje a tvorby kalů. Obsah vody můžeme stanovit pomocí různých metod, které se dělí na kvalitativní a kvantitativní určení obsahu vody. Mezi kvalitativní určení obsahu vody patří vizuální posouzení nebo prskací zkouška. Do kvantitativní metody spadá Coulometrická a destilační metoda.

Pro praktické určení obsahu vody z odebraného vzorku jsem zvolil Coulometrickou metodu podle normy ČSN 65 0330. Tuto metodu jsem zvolil kvůli její přesnosti. Tato metoda je založena na reakci vody s J_2 . V titrační nádobě dochází k uvolňování jódu za pomoci proudu, kdy jeden mol vody reaguje s jedním molem jódu. Jakmile všechna voda zreaguje s jódem, zařízení určí množství nadbytečného jódu.

Před měřením jsem vzorek oleje opět dokonale homogenizoval a odebral do injekční stříkačky. Injekční stříkačku s navážkou jsem umístil na váhu (Obr. 13) a vynuloval. Tuto navážku jsem umístil do Coulometru WTD (Obr. 14). Injekční stříkačku jsem znovu zvažil a po dokončení titrace jsem hodnotu navážky zapsal do zařízení a následně jsem dostal výsledný obsah vody.



Obr. 14 Coulometr WTD [Autor]

Naměřené hodnoty:

Tab. 7 Výsledky obsahu vody

Olej ze strojního zařízení		
Měření	Množství oleje [g]	Obsah Vody [%]
č. 1	5,2417	0,0032
č. 2	5,3745	0,0033
Referenční vzorek		
Měření	Množství oleje [g]	Obsah Vody [%]
č. 1	4,2519	0,0028
č. 2	5,3654	0,0033

Stanovení obsahu mechanických nečistot na membránovém filtru

Toto stanovení se řídí podle normy ČSN 65 6220. Před měřením jsem umístil vysušený a zvážený filtr do zařízení (Obr. 15). Následně jsem homogenizoval olej a umístil 25 ml oleje do nádoby. Tento olej jsem zředil pomocí čistého technického benzínu. Za působení podtlaku vývěvy jsem vpravil zředěný vzorek do nádoby a nechal přefiltrovat přes membránový filtr. Po dokončení filtrace jsem vyjmul membránový filtr a umístil do pece, kde jsem tento filtr nechal vysušit na 100°C. Takto vysušený filtr se zvážil a z rozdílu proti původní hodnotě jsme dostali obsah mechanických nečistot.



Obr. 15 Zařízení na stanovení obsahu nečistot [Autor]

Tab. 8 Výsledky mechanických nečistot na membránovém filtru

Olej ze strojního zařízení	
Měření	Hmotnost nečistot [mg/100ml]
č. 1	31,6
Referenční vzorek	
Měření	Hmotnost nečistot [mg/100ml]
č. 1	36

Měření množství a velikosti nečistot

Stanovuje se pomocí normy ČSN 65 6081 (ISO 812 18, NAS 1638). Tato metoda je založena na principu počítání částic pod mikroskopem, které se zachytili na membránovém ultrafiltru. Tyto částice se podle velikosti řadí do 6 skupin. ($0,5 \div 15 \mu\text{m}$, $15 \div 25 \mu\text{m}$, $25 \div 50 \mu\text{m}$, $50 \div 100 \mu\text{m}$, $100 \mu\text{m}$, vlákna). K tomuto vyhodnocení byl využit mikroskop (Obr. 16) a software pro analýzu snímků.



Obr. 16 Mikroskop [Autor]

Tab. 9 Výsledky množství a velikosti nečistot

Skupiny	Olej ze strojního zařízení	Referenční vzorek
05 ÷ 15 µm,	53940	21958
15 ÷ 25 µm	10562	2311
25 ÷ 50 µm	7544	385
50 ÷ 100 µm	1886	0
100 µm,	0	0

U oleje ze strojního zařízení je Třída 11

U referenčního vzorku je Třída 7

Kód čistoty

Stanovuje se pomocí normy ČSN ISO 4406 (ČSN 65 6206). Tato metoda je založena na principu počítání částic pod mikroskopem nebo automatickým počítadlem nečistot. Použil jsem normu ČSN ISO 4406/99. Tato norma kóduje znečištění do třech úrovní. První číslo kódu udává počet zjištěných částic ≥ 4 µm obsažených v 1 ml vzorku. Druhé číslo ≥ 6 µm a třetí ≥ 14 µm. K tomuto vyhodnocení byl použit mikroskop (Obr. 16) a software pro analýzu snímků.

Tab. 10 Výledky kódu čistoty

Skupiny	Olej ze strojního zařízení	Referenční vzorek
> 4 µm	852	297
> 6 µm	619	181
>14 µm	219	27

Kód čistoty u oleje ze strojního zařízení je 17/16/15

Kód čistoty u referenčního vzorku je 15/15/12

Rentgenová spektrofotometrie

Atomová spektrofotometrie se dělí na dvě metody. Absorpční metoda je levnější a jednodušší, ale není tak přesná. Druhá metoda je emisní tato metoda dokáže určit kvalitativní a kvantitativní analýzu vzorku pomocí jednoho měření. Tato zkouška je důležitá při sledování technického stavu strojního zařízení.



Obr. 17 Spektrofotometr [Autor]

Tab. 11 Hodnoty oleje ze strojního zařízení pomocí rengenové spektrofotometrie

Spectro X - Olej ze strojního zařízení					
<u>Z</u>	<u>Symbol</u>	<u>Element</u>	<u>Norm. Int.</u>	<u>Concentration</u>	<u>Abs. Error</u>
11	Na	Sodium	33,1423	4381ppm	28ppm
16	S	Sulfur	1575,313	1168ppm	1ppm
15	P	Phosphorus	305,2862	518,5ppm	1,5ppm
30	Zn	Zinc	4394,74	410,3ppm	0,7ppm
20	Ca	Calcium	9,611	27,3ppm	0,5ppm
27	Co	Cobalt	12,0167	16,5ppm	1,1ppm
73	Ta	Tantalum	57,1568	15,7ppm	0,4ppm
24	Cr	Chromium	13,3664	1,0ppm	0,6ppm
29	Cu	Copper	62,4253	8,3ppm	0,2ppm
72	Hf	Hafnium	18,8138	5,6ppm	0,3ppm
25	Mn	Manganese	10,2606	2,8ppm	0,2ppm
19	K	Potassium	0,6499	2,5ppm	0,5ppm
28	Ni	Nickel	19,3097	2,2ppm	0,1ppm
80	Hg	Mercury	7,2767	1,0ppm	0,1ppm
22	Ti	Titanium	0,5326	1,0ppm	0,2ppm
83	Bi	Bismuth	6,5369	0,6ppm	0,1ppm
34	Se	Selenium	9,6589	0,5ppm	0,1ppm
41	Nb	Niobium	0,6	0,4ppm	0,2ppm
33	As	Arsenic	7,4393	0,3ppm	0,1ppm
32	Ge	Germanium	5,5043	0,3ppm	0,1ppm
92	U	Uranium	5,2197	0,3ppm	0,1ppm
40	Zr	Zirconium	1,1454	0,3ppm	0,1ppm
39	Y	Yttrium	9,9841	0,2ppm	0,1ppm

Tab. 12 Hodnoty referenčního oleje pomocí rengenové spektrofotometrie

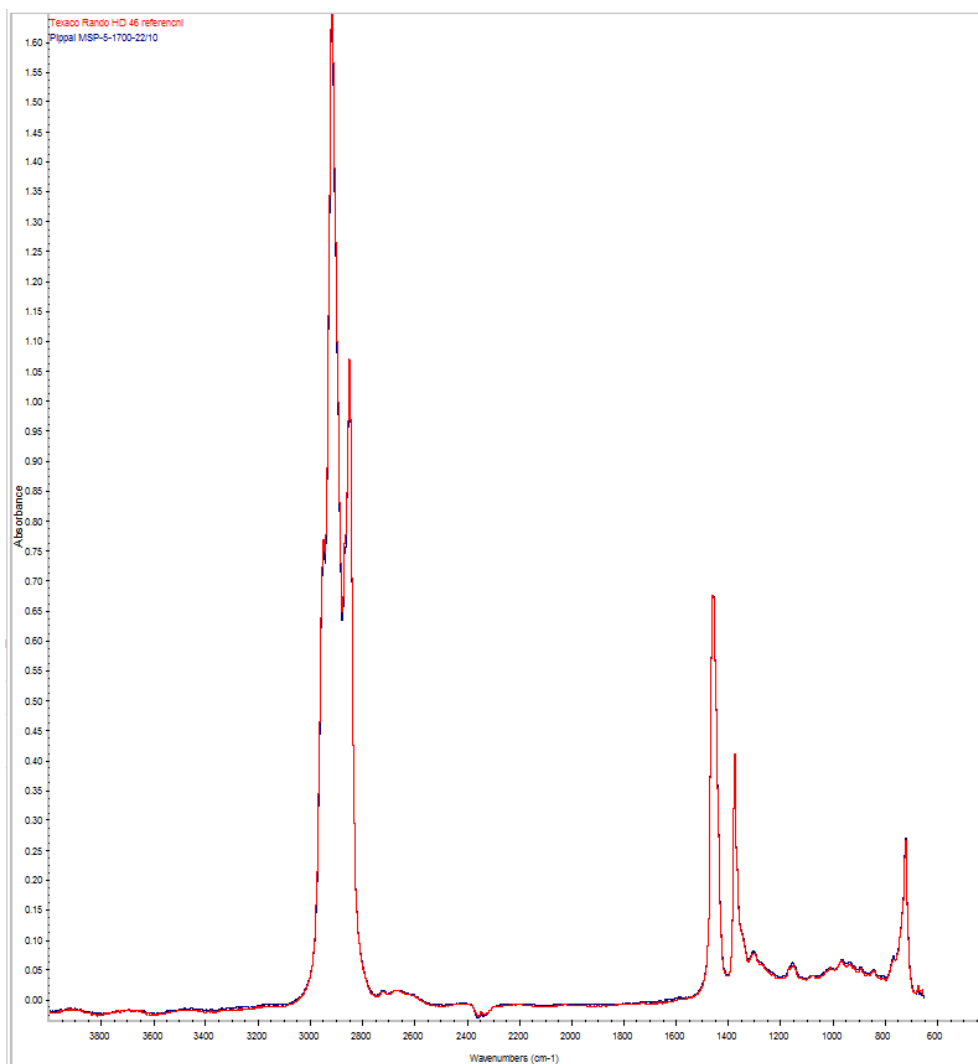
Spectro X Referenční vzorek					
<u>Z</u>	<u>Symbol</u>	<u>Element</u>	<u>Norm. Int.</u>	<u>Concentration</u>	<u>Abs. Error</u>
11	Na	Sodium	34,4371	4666ppm	27ppm
16	S	Sulfur	1356,41	1030ppm	1ppm
15	P	Phosphorus	306,5691	533,4ppm	1,5ppm
30	Zn	Zinc	5409,316	518,1ppm	0,7ppm
20	Ca	Calcium	13,7091	48,1ppm	0,7ppm
73	Ta	Tantalum	57,7496	17,2ppm	0,4ppm
27	Co	Cobalt	12,0634	17,0ppm	1,1ppm
24	Cr	Chromium	13,2416	1,0ppm	0,6ppm
72	Hf	Hafnium	16,6515	5,1ppm	0,3ppm
25	Mn	Manganese	11,4937	3,8ppm	0,2ppm
29	Cu	Copper	25,8434	3,5ppm	0,2ppm
28	Ni	Nickel	20,3735	2,5ppm	0,1ppm
80	Hg	Mercury	8,5052	1,2ppm	0,1ppm
31	Ga	Gallium	15,5435	1,1ppm	0,1ppm
81	Tl	Thallium	9,4338	1,0ppm	0,1ppm
83	Bi	Bismuth	8,5676	0,8ppm	0,1ppm
34	Se	Selenium	12,2506	0,6ppm	0,1ppm
41	Nb	Niobium	0,9047	0,6ppm	0,2ppm
33	As	Arsenic	10,9866	0,5ppm	0,1ppm
32	Ge	Germanium	6,4921	0,3ppm	0,1ppm
40	Zr	Zirconium	1,3173	0,3ppm	0,1ppm

Spektrální analýza

Tato metoda využívá krystalu selenidu zinečnatého, který tvoří dno nádobky. Tetovaný olej musí být homogenizovaný a následně se nanese tenká vrstva oleje na povrch krystalu. Takový vzorek absorbuje záření vlnových délek, které odpovídají molekulárnímu složení vzorku. Pomocí této metody můžeme velice rychle stanovit např. úbytek antioxidantů, antikoročních, detergentních přísad, obsah paliva, obsah oxidačních, sulfatačních, nitračních produktů, atd.



Obr. 18 Spektrální analýza [Autor]



Obr. 19 Graf posouzení oleje ze strojního zařízení s referenčním vzorkem

Na obr. 19 je porovnání oleje ze strojního zařízení s referenčním vzorkem pomocí spektrální analýzy. Jsou viditelné jen zanedbatelné rozdíly.

4.2 Vibrodiagnostika

Měření vibrací na strojním zařízení probíhalo za plného chodu. K měření jsem využil analyzátor Adash A4400-VA4 Pro a k následné analýze naměřených dat jsem použil software A4410 Virtual Unit.

Nejprve jsem provedl měření na třech hlavních motorech a následně na třech hlavních čerpadlech. Po-té jsem provedl měření na motoru M4 a motoru M5, které zajišťují funkci chladičho systému. Na závěr měření jsem využil prostoje při přehazování vstupního materiálu a změřil jsem motor č. 4 bez zátěže.

4.2.1 Hodnocení vibrací

Pro hodnocení vibrací jsem se nechal inspirovat normou ČSN ISO 10816-1 z roku 2010. Jedná se o hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech.

Tab. 13 Pásmo rozhodující o stavu stroje (ČSN ISO 10816-1 z roku 2010)

Pásmo	Stav	Hodnocení
A	Velmi dobrý	Oblast hodnot nového stroje
B	Provozní	Provoz bez poruch
C	Přechodně přípustný	Neuspokojivé pro dlouhodobý provoz
D	Nepřípustný	Neschopnost provozu, nebezpečí havárie

Na základě normy a zkušeností jsem stanovil hraniční hodnoty pro zrychlení v tabulce 14.

Tab. 14 Hranice hodnoty zrychlení

A/B	do 2 g
B/C	do 4 g
C/D	od 4g

Hranice hodnot zrychlení v tabulce 14 byli určeny podle zkušeností.

Tab. 15 Hranice hodnoty rychlosti

Efektivní hodnota rychlosti vibrací mm/s	Třída I	Třída II	Třída III	Třída IV
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	C
4,5				
7,1	D	D	D	D
11,2				
18				
28				
45				

Pro klasifikaci na základě zkušeností jsem využil třídu III. Do této třídy patří velké primární pohonné jednotky nebo jiné velké stroje s rotujícími hmotami připevněné na pevných a těžkých základech, které jsou ve směru měření vibrací relativně tuhé.

Pro určení frekvence budícího zdroje, je nutné dopočítat otáčkovou frekvenci dle vzorce pro měřené otáčky. U všech pěti motorů byli otáčky stejné a 1450 rpm.

Otáčková frekvence:

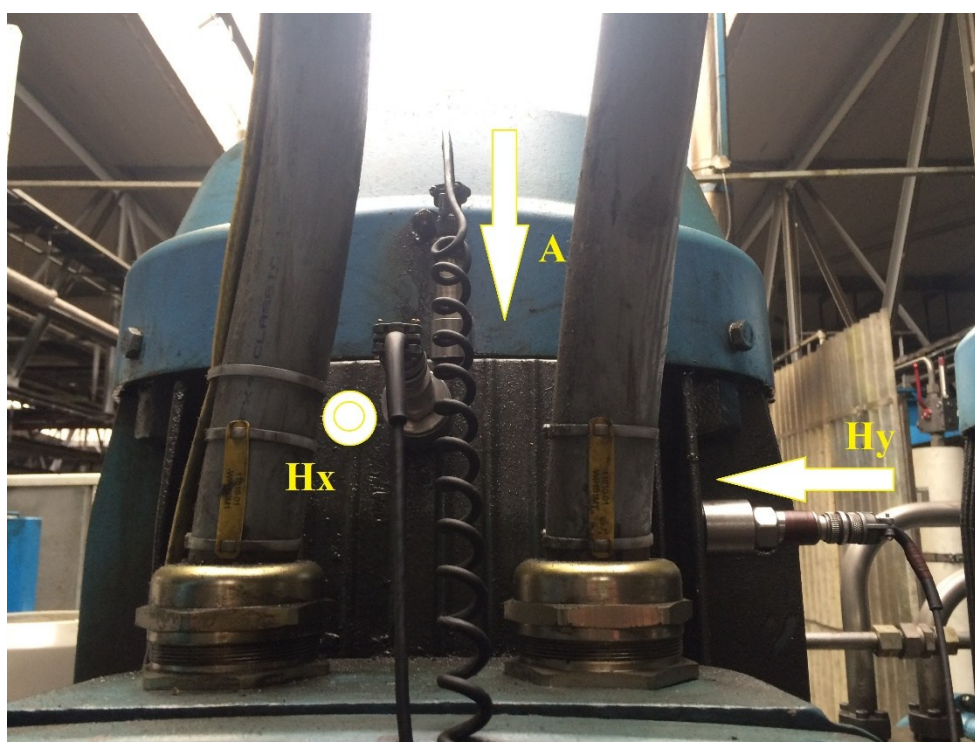
$$f_o = \frac{RPM}{60} = \frac{1450}{60} = 24,17 \text{ Hz}$$

4.2.2 Měření vibrací na motorech M1, M2 a M3

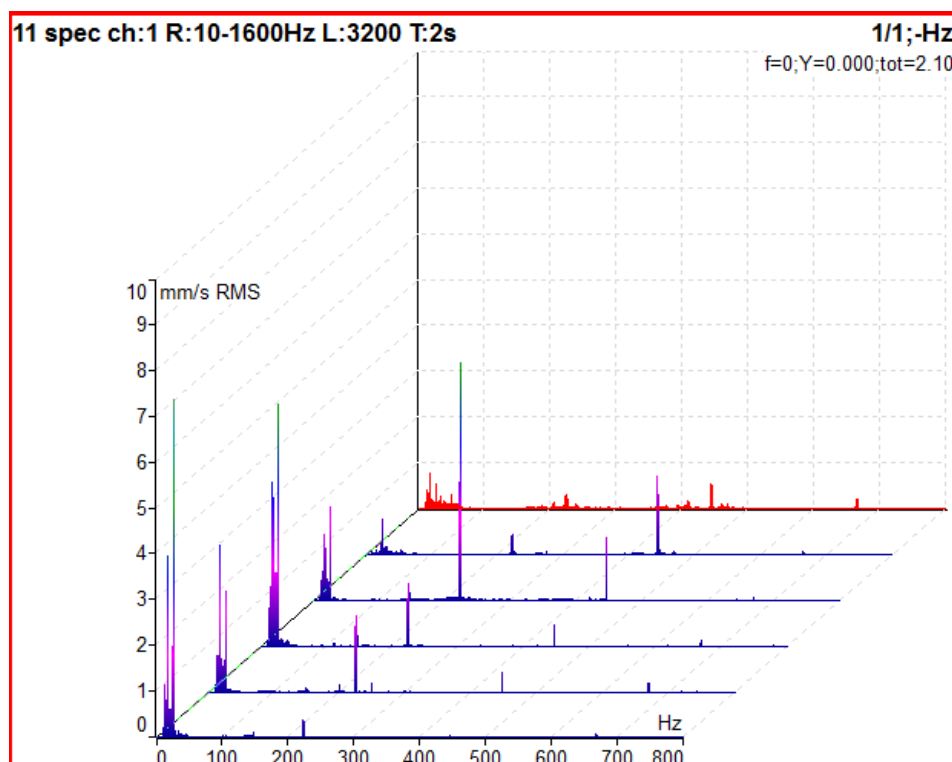
V tabulce 16 jsou naměřené hodnoty rychlosti a zrychlení pro motory M1, M2 a M3 v bodech L1 a L2. U motoru M1 v měřicím bodě L1 jsou neuspokojivé hodnoty rychlostí ve směru Hx a Hy. U motoru M2 jsou neuspokojivé hodnoty rychlostí ve směru Hy v měřicím bodě L1 a ve směru Hx v měřicím bodě L2. Motor M3 je v relativně dobrém stavu. Hodnoty zrychlení u všech motorů jsou v dobrém stavu.

Tab. 16 Rychlosti a zrychlení pro motory M1, M2 a M3

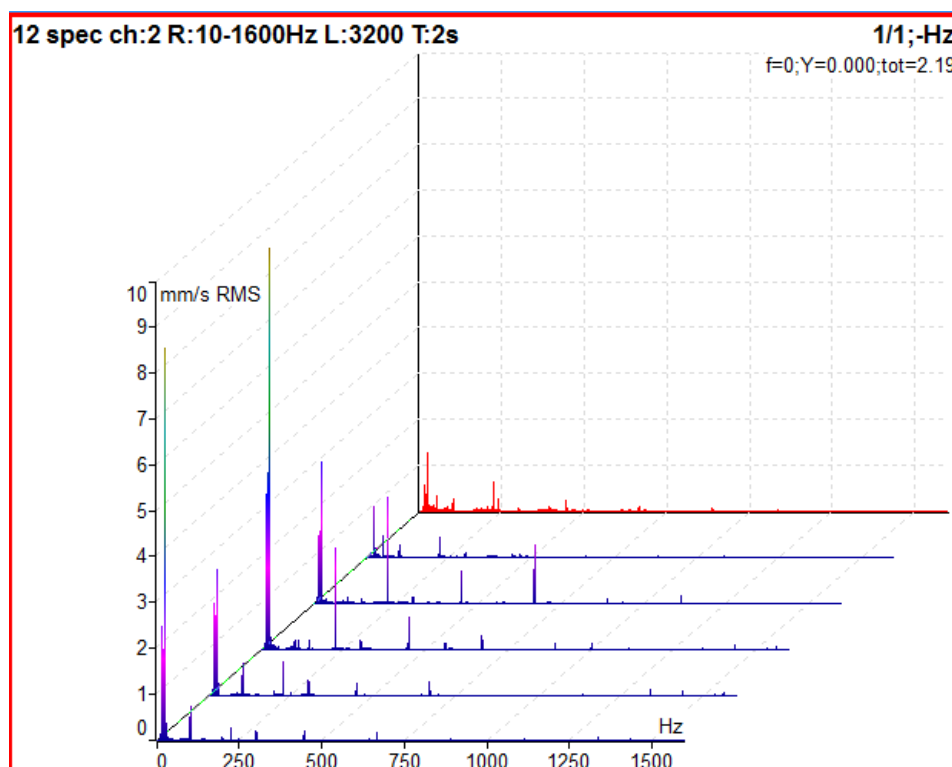
Měřené motory	M1			M2			M3			
Zátěž	se zátěží			se zátěží			se zátěží			
Osy snímačů	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	
Měřicí bod	L1 - rychlost [mm/s]	6,44	8,11	2,87	2,6	6,51	3,33	2,92	2,08	2,24
	L1 - zrychlení [g]	0,89	0,72	0,35	1,16	1,29	1,65	0,4	0,25	0,58
	L2 - rychlost [mm/s]	1,99	2,75	1,84	6,58	4,28	3,49	1,14	1,98	2,16
	L2 - zrychlení [g]	1,38	0,66	0,34	0,98	0,95	0,57	0,36	0,3	0,57



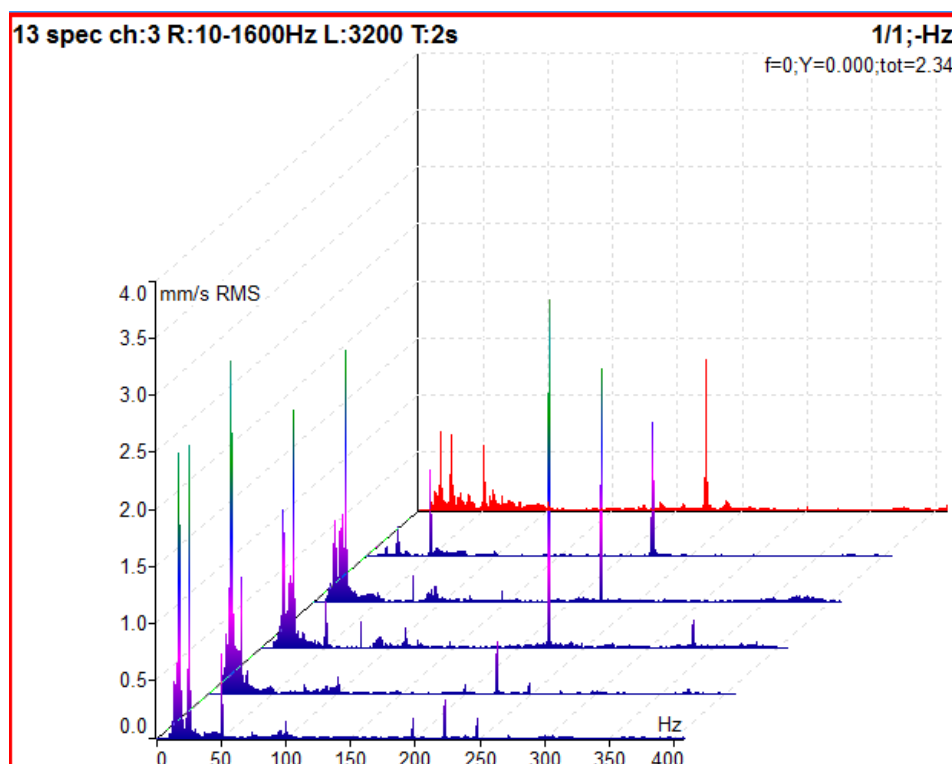
Obr. 20 Umístění snímačů u M1 v místě L1 [Autor]



Obr. 21 Frekvenční analýza ve směru H_x pro tři motory M1, M2 a M3 od předu M1 v bodě L1 následně v bodě L2 až po M3 v bodě L2

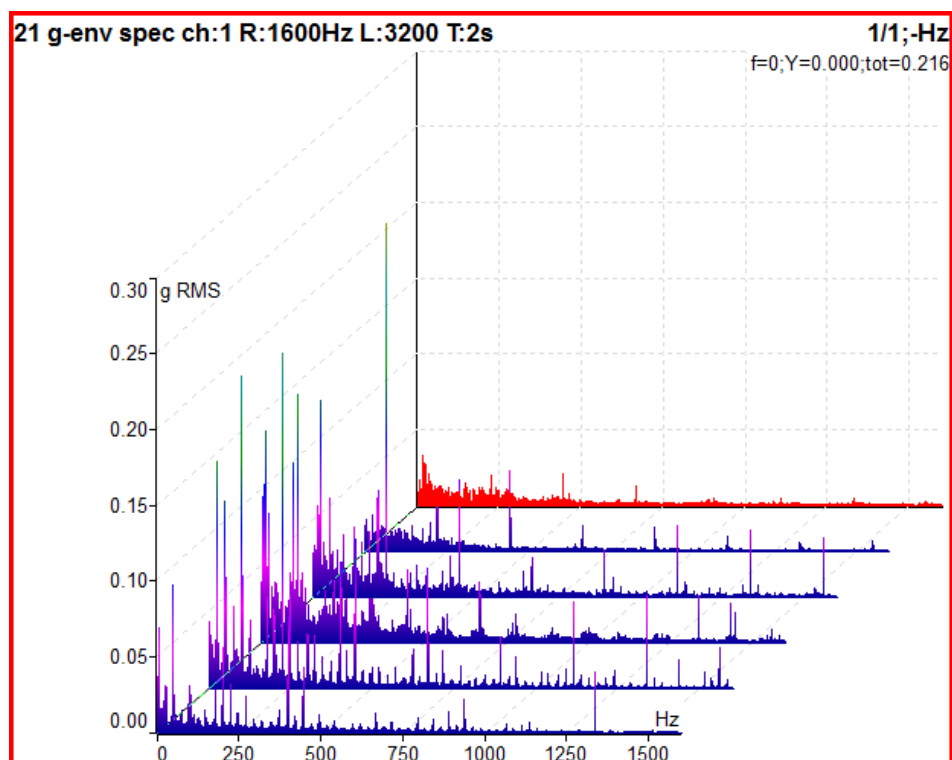


Obr. 22 Frekvenční analýza ve směru H_y pro tři motory M1, M2 a M3, od předu M1 v bodě L1 následně v bodě L2 až po M3 v bodě L2

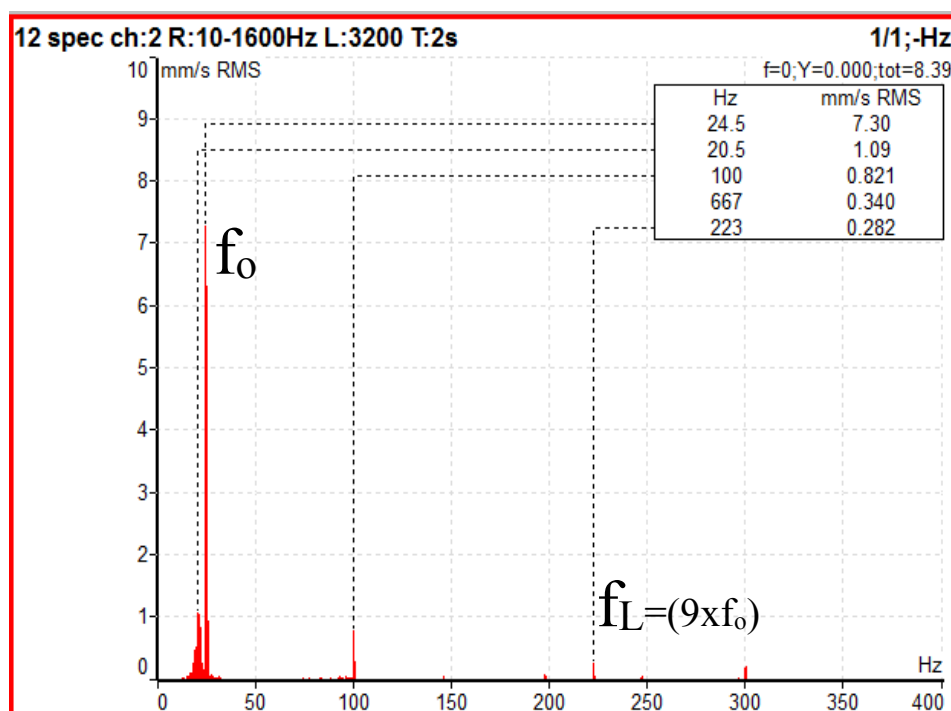


Obr. 23 Frekvenční analýza ve směru A pro tři motory M1, M2 a M3, od předu M1 v bodě L1 následně v bodě L2 až po M3 v bodě L2

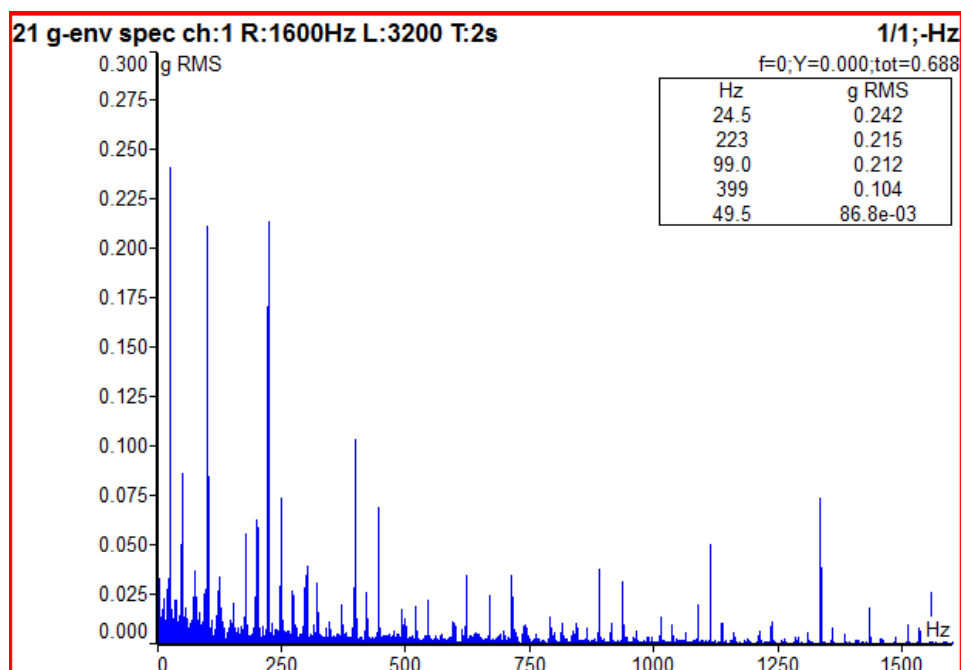
Na obr. 21 je viditelná značná špička na první otáčkové frekvenci u M1 i M2 v obou měřicích bodech, dále jsou viditelné špičky na devítinásobku otáčkové frekvence a následně jejich násobky což je projevem lamelového čerpadla. Na obr. 22 je viditelná značná špička na první otáčkové frekvenci u M1 i M2 v obou měřicích bodech a jejich násobky. Na obr. 23 je viditelná značná špička na první otáčkové frekvenci u M1 i M2 v obou měřicích bodech a jejich násobek na druhé a třetí otáčkové frekvenci. Dále jsou viditelné špičky na devítinásobku otáčkové frekvence a následně jejich násobky což je projevem nejspíš devíti lamel lamelového čerpadla.



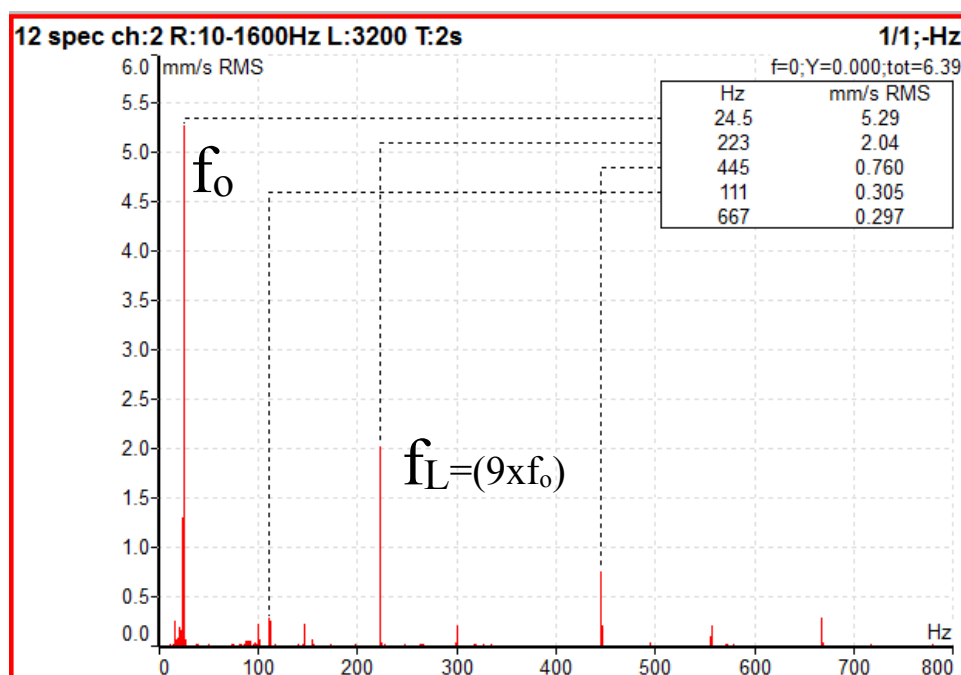
Obr. 24 Obálková metoda ve směru Hx pro tři motory M1, M2 a M3, od předu M1 v bodě L1 následně v bodě L2 až po M3 v bodě L2



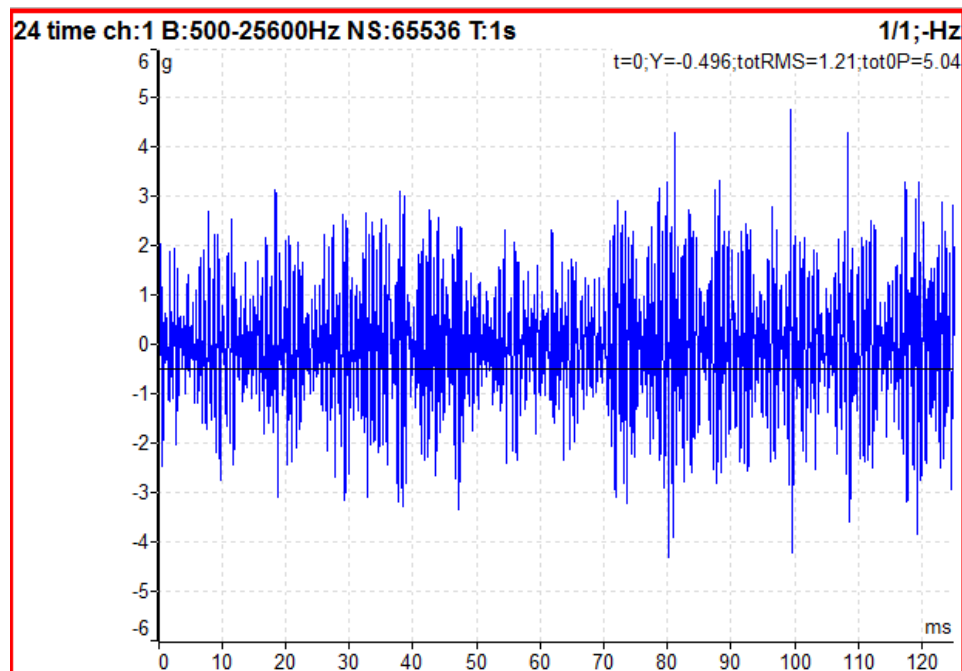
Obr. 25 Frekvenční analýza ve směru Hy pro motor M1 v bodě L1s výraznou první otáčkovou frekvencí a projevem nesymetrie elektromagnetického pole



Obr. 26 Obálková metoda ve směru Hx pro motor M1 v bodě L2



Obr. 27 Frekvenční spektrum ve směru Hy pro motor M2 v bodě L1s výraznou první otáčkovou frekvencí



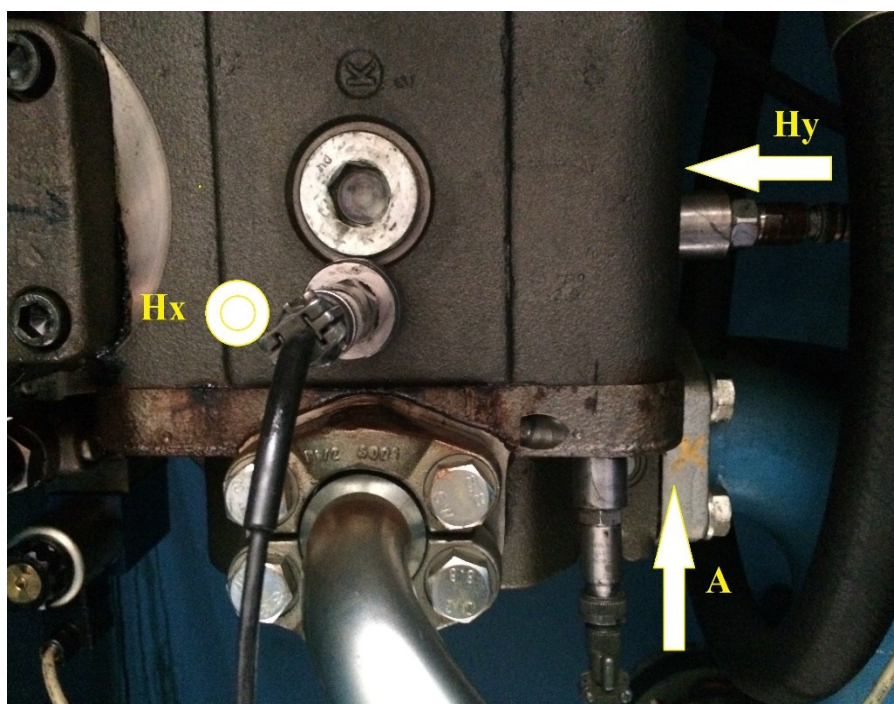
Obr. 28 Časový záznam efektivní hodnoty zrychlení vibrací ve směru Hx pro motor M2 v bodě L1

4.2.3 Měření vibrací na čerpadlech Č1, Č2 a Č3

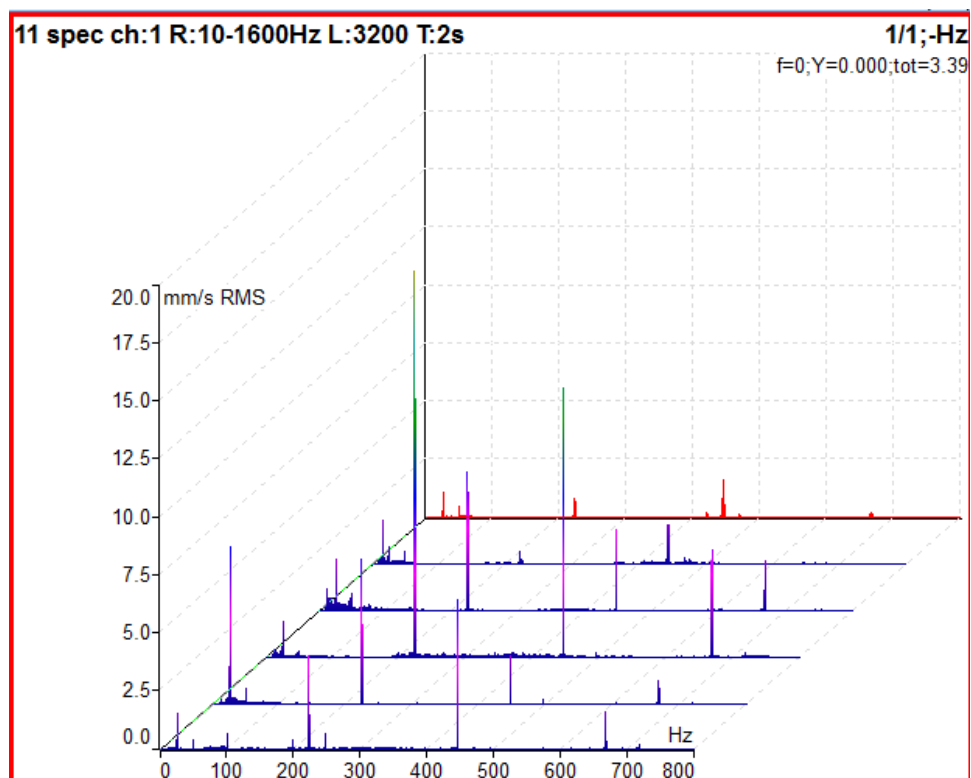
V tabulce 17 jsou naměřené hodnoty rychlosti a zrychlení pro čerpadla Č1, Č2 a Č3 v bodech L1 a L2. U čerpadel Č1 a Č2 jsou hodnoty rychlostí v neuspokojivém stavu pro dlouhodobý provoz, až po hodnoty rychlostí u kterých hrozí nebezpečí havárie. U čerpadla Č3 hodnoty rychlostí jsou v relativně dobrém stavu až na směr Hx v bodě L1. Hodnoty zrychlení u čerpadel Č1 a Č2 jsou v alarmujícím stavu. U čerpadla Č3 jsou zvýšené hodnoty zrychlení ve směru Hx v bodě L1 a Hy v bodě L2.

Tab. 17 Rychlosti a zrychlení na čerpadlech Č1, Č2 a Č3

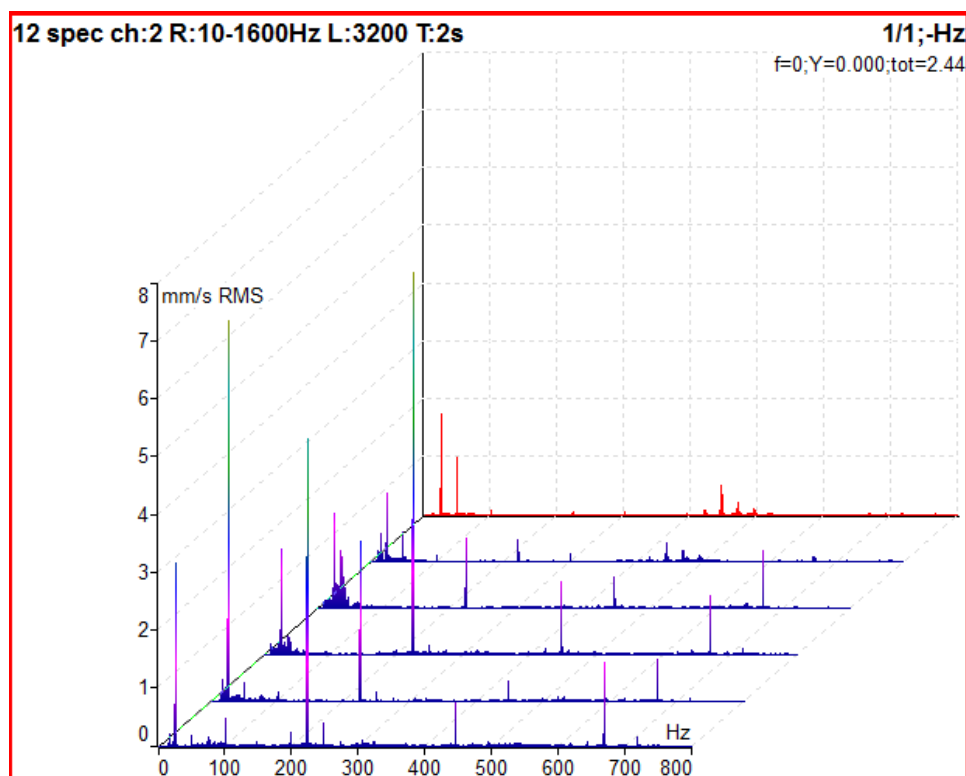
Měřené čerpadla		Č1			Č2			Č3		
Zátěž		se zátěží			se zátěží			se zátěží		
Osy snímačů		Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A
Měřicí bod	L1 - rychlost [mm/s]	8,53	6,64	10,3	22,7	6,95	40,6	5,31	2,92	2,18
	L1 - zrychlení [g]	7,08	4,78	11,8	14	11,3	28,7	2,1	1,76	1,71
	L2 - rychlost [mm/s]	9,46	8,3	11,9	8,55	3,45	10,9	3,65	2,57	2,65
	L2 - zrychlení [g]	12,7	10,8	4,2	30,3	16,4	9,52	1,94	2,31	1,24



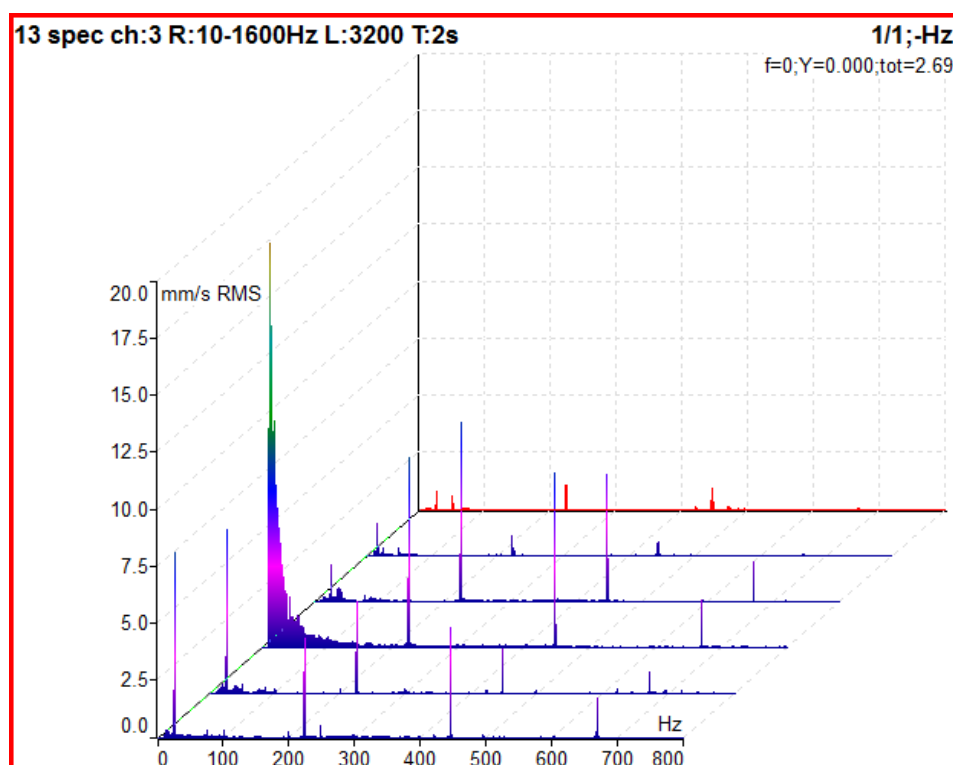
Obr. 29 Umístění snímačů u Č1 v místě L2 [Autor]



Obr. 30 Frekvenční analýza ve směru Hx pro tři čerpadla Č1, Č2 a Č3, od předu Č1 v bodě L1 následně v bodě L2 až po Č3 v bodě L2

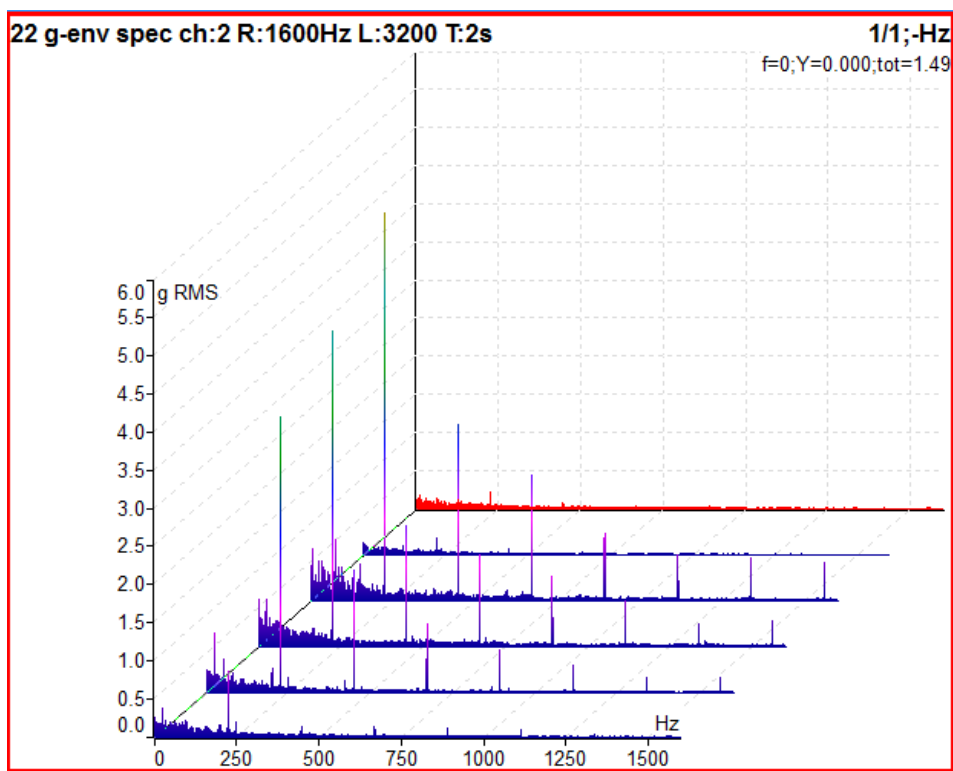


Obr. 31 Frekvenční analýza ve směru H_y pro tři čerpadla Č1, Č2 a Č3, od předu Č1 v bodě L1 následně v bodě L2 až po Č3 v bodě L2

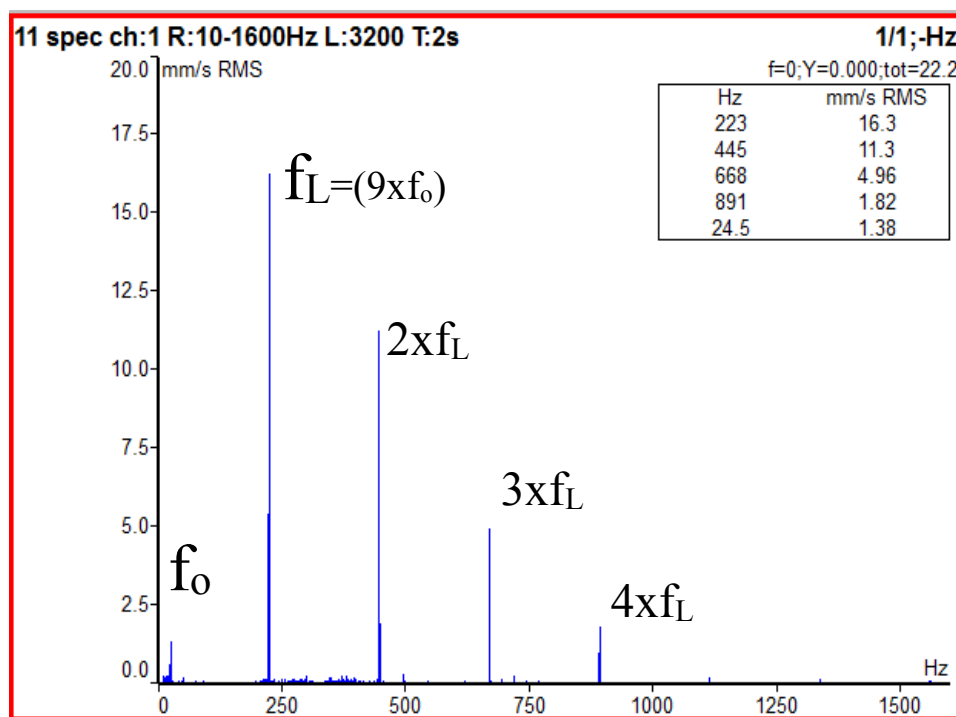


Obr. 32 Frekvenční analýza ve směru A pro tři čerpadla Č1, Č2 a Č3, od předu Č1 v bodě L1 následně v bodě L2 až po Č3 v bodě L2

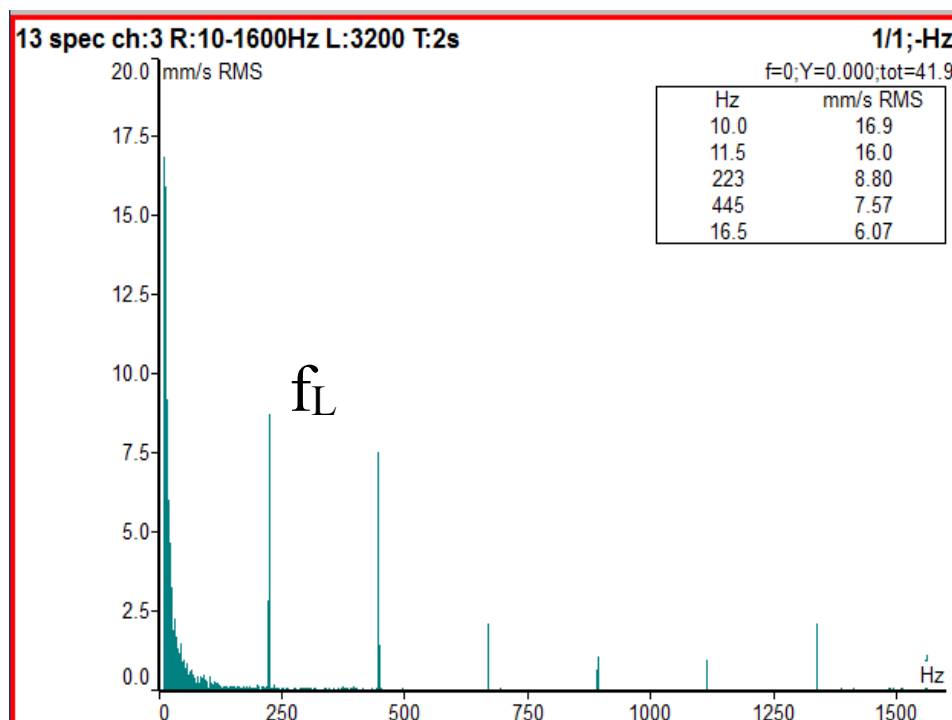
Na obr. 30 je viditelná značná špička na první otáčkové frekvenci u čerpadla Č1 v měřicím bodě L2. Dále jsou vysoké viditelné špičky na devítinásobku otáčkové frekvence a následně její násobky. Na obr. 31 jsou výrazné špičky na první otáčkové frekvenci u všech čerpadel nejvíc u čerpadla Č1 v měřicím bodě L2. Při měření bylo čerpadlo Č1 uvolněné podložka pod maticí se protáčela. Dále jsou viditelné výrazné špičky čerpadel Č1 a Č2 na devítinásobku otáčkové frekvence a následně její násobky. Na obr. 32 jsou viditelné vysoké špičky na první otáčkové frekvenci u čerpadla Č1 v obou měřicích bodech a u čerpadla Č2 v měřicím bodě L1 toto může znamenat uvolnění, jako tomu bylo u čerpadla Č1. Dále u čerpadel Č1 a Č2 v obou měřicích bodech jsou vysoké špičky na devítinásobku otáčkové frekvence a následně jich násobky což je projevem nejspíš devíti lamel lamelového čerpadla.



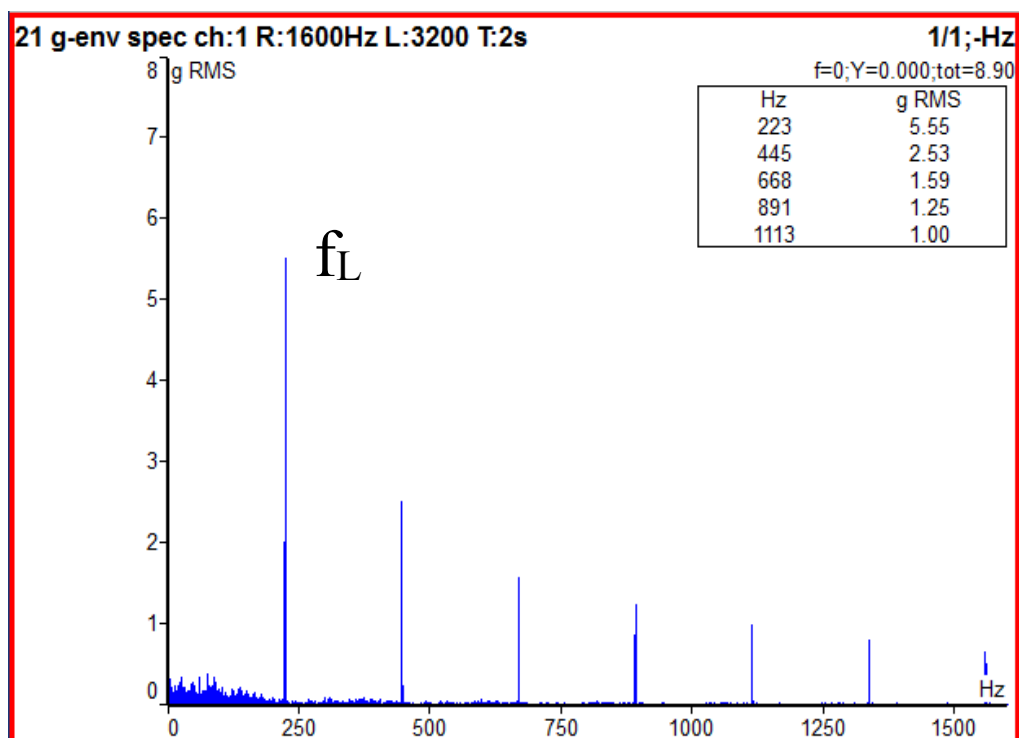
Obr. 33 Obálková metoda ve směru H_y pro tři čerpadla Č1, Č2 a Č3, od předu Č1 v bodě L1 následně v bodě L2 až po Č3 v bodě L2



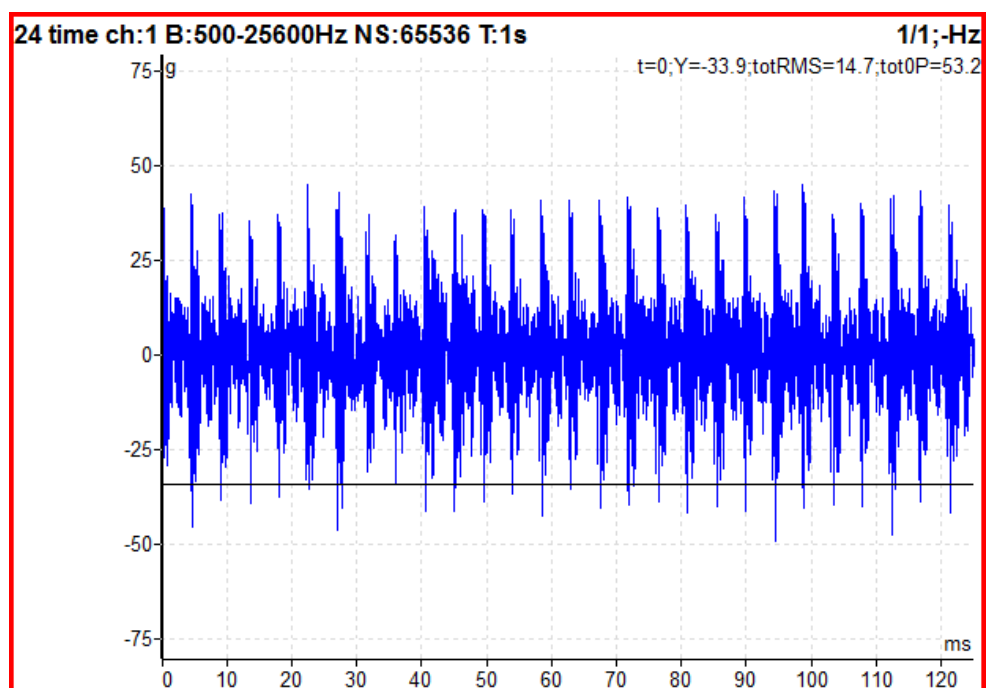
Obr. 34 Frekvenční analýza ve směru Hx pro čerpadlo Č2 v bodě L1 s projevem lopatkové frekvence f_L



Obr. 35 Frekvenční analýza ve směru A pro čerpadlo Č2 v bodě L1



Obr. 36 Obálková metoda ve směru H_x pro čerpadlo Č2 v bodě L1



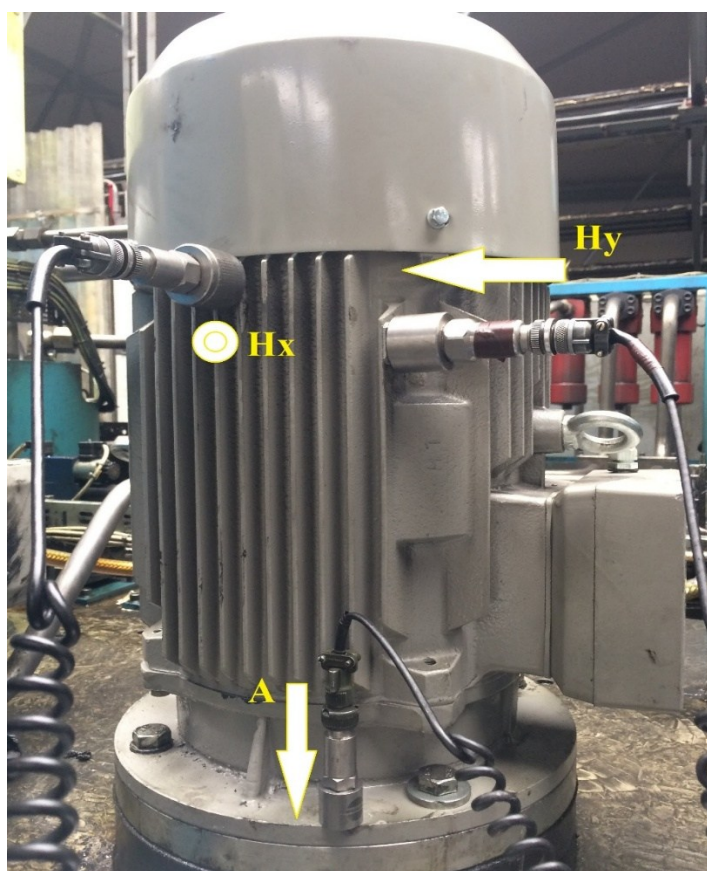
Obr. 37 Časový záznam efektivní hodnoty zrychlení vibrací ve směru H_x pro čerpadlo Č2 v bodě L1

4.2.4 Měření vibrací na motorech M4 a M5

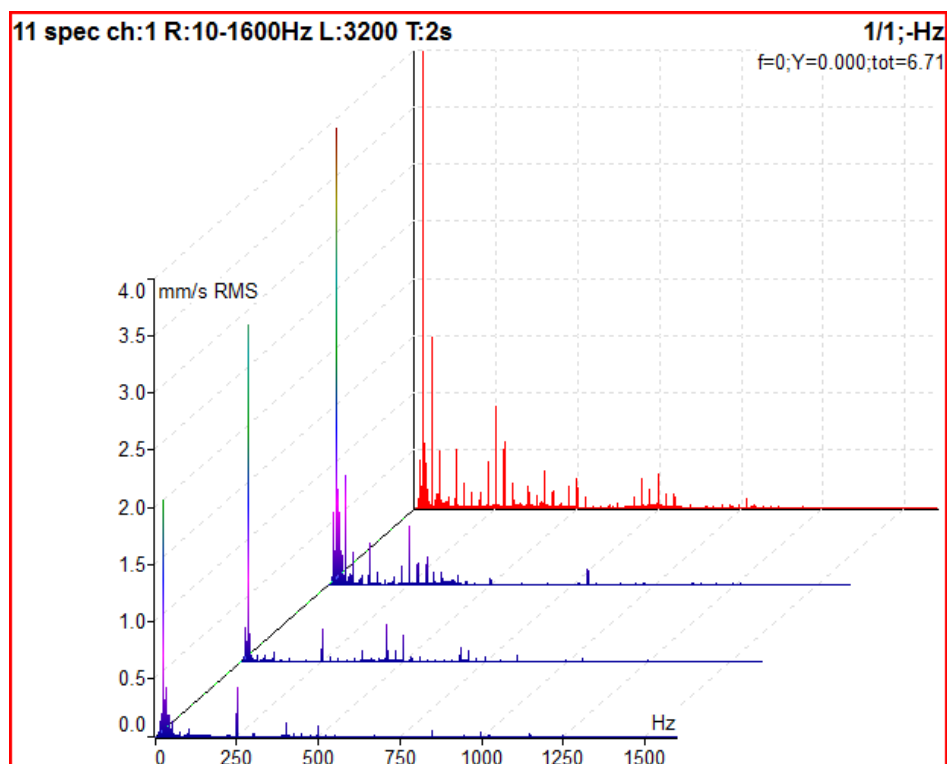
V tabulce 18 jsou naměřené hodnoty rychlosti a zrychlení pro motory M4 a M5 v bodech L1 a L2. Hodnoty rychlostí u motorů M4 a M5 jsou v pásmu A až B což můžeme považovat za uspokojivé. Hodnoty zrychlení u obou motorů jsou velmi dobré.

Tab. 18 Rychlosti a zrychlení na motorech M4 a M5

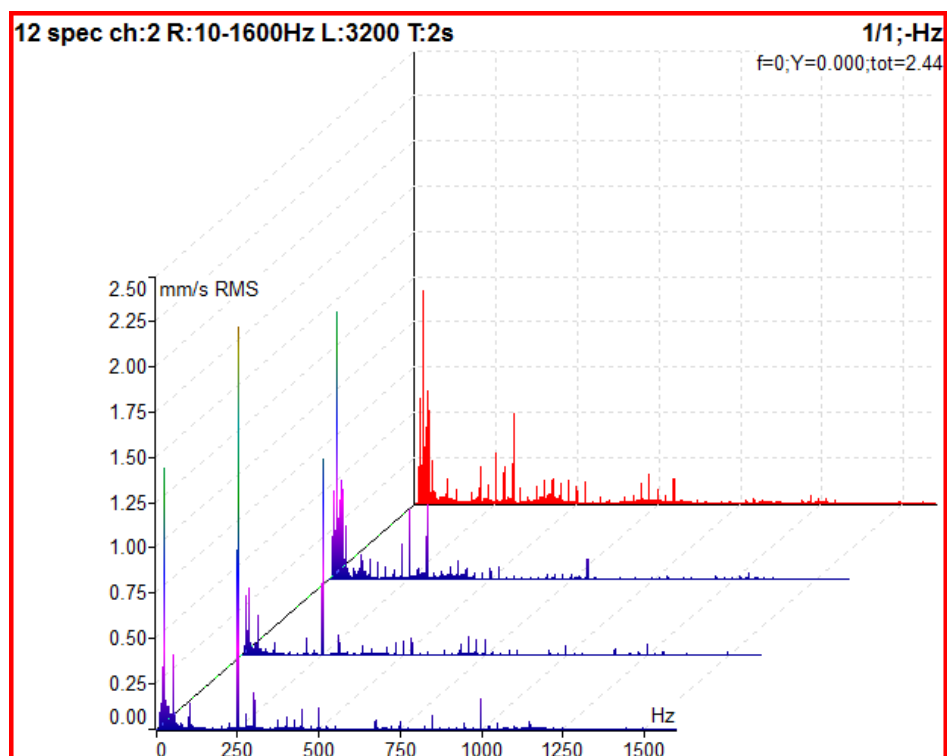
Měřené motory	M4			M5			
	se zátěží			se zátěží			
	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	
Měřicí bod	L1 - rychlost [mm/s]	2,84	2,86	3,21	3,75	1,8	2,97
	L1 - zrychlení [g]	0,25	0,28	0,32	0,43	0,28	1,25
	L2 - rychlost [mm/s]	2,46	1,59	2,06	2,92	1,82	2,53
	L2 - zrychlení [g]	0,44	0,29	0,33	0,66	0,36	1,25



Obr. 38 Umístění snímačů u M5 v místě L1 [Autor]

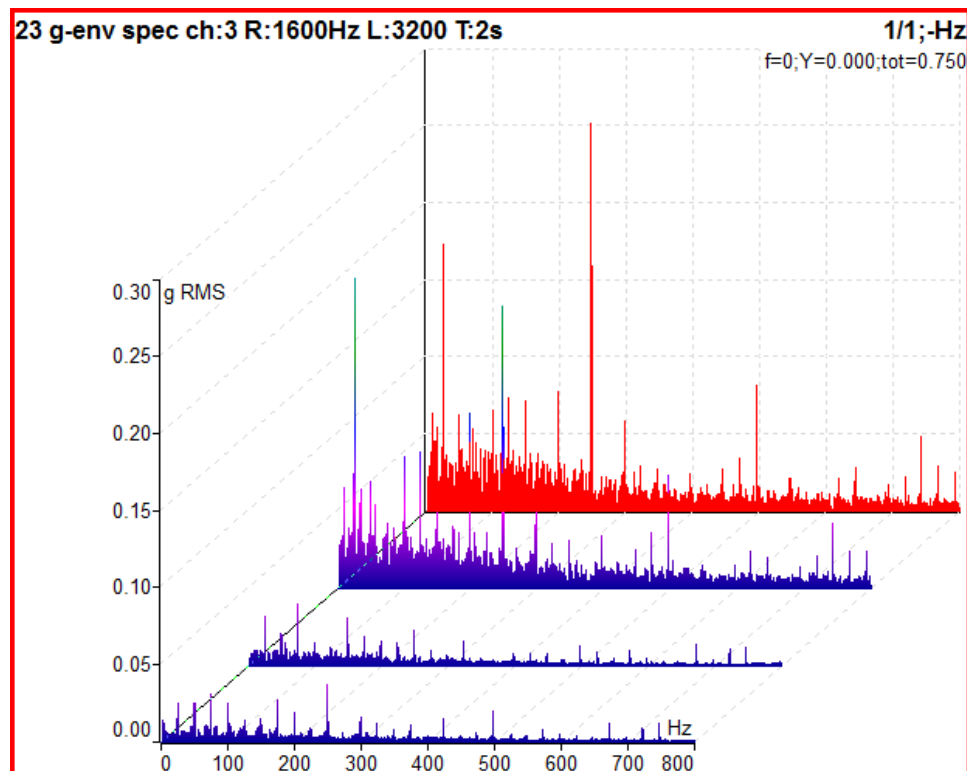


Obr. 39 Frekvenční analýza ve směru H_x pro dva motory M4 a M5, od předu M4 v bodě L1 následně v bodě L2 až po M5 v bodě L2

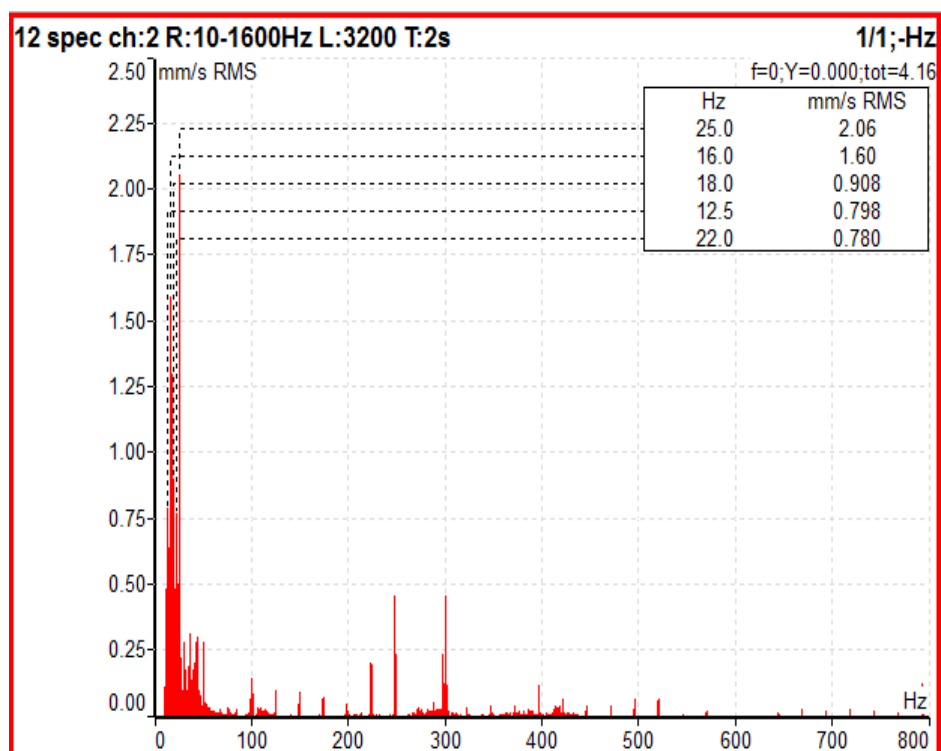


Obr. 40 Frekvenční analýza ve směru H_y pro dva motory M4 a M5, od předu M4 v bodě L1 následně v bodě L2 až po M5 v bodě L2

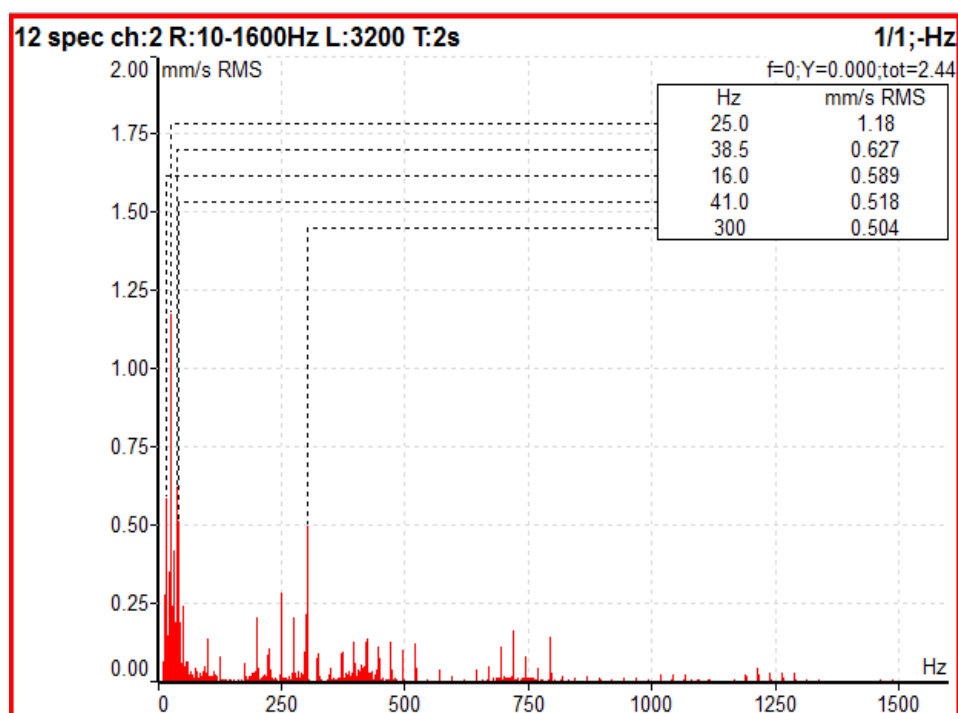
Na obr. 39 jsou viditelné špičky na první otáčkové frekvenci u motorů M4 a M5 v obou měřících bodech a špičky na devítinásobku otáčkové frekvence což je projevem čerpadla. Na obr. 40 jsou viditelné špičky na první otáčkové frekvenci a špičky na devítinásobku otáčkové frekvence.



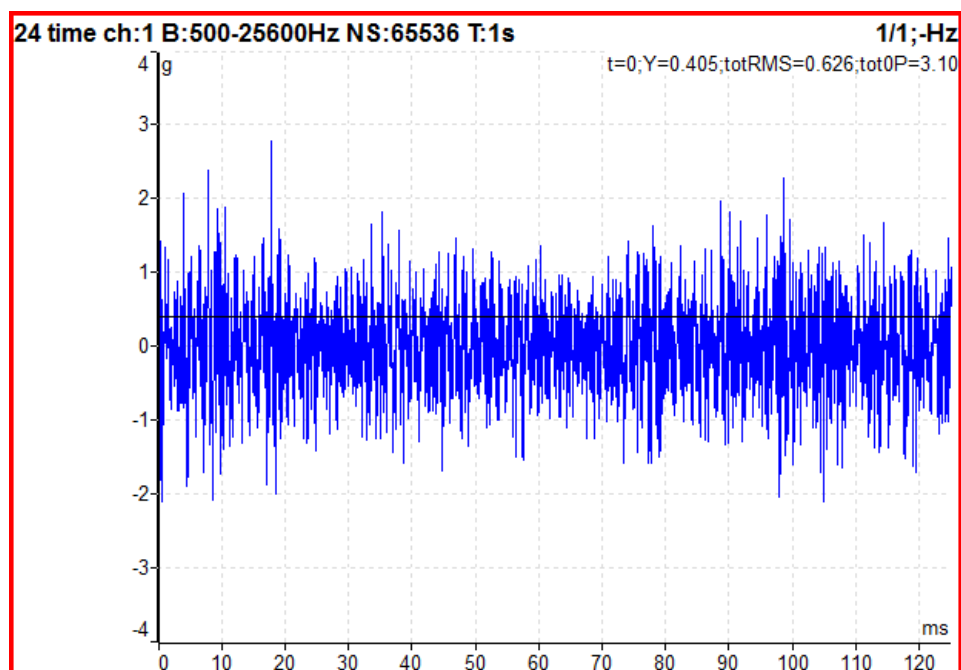
Obr. 41 Obálková metoda ve směru A pro dva motory M4 a M5, od předu M4 v bodě L1 následně v bodě L2 až po M5 v bodě L2



Obr. 42 Frekvenční analýza ve směru H_y pro motor M5 v bodě L1



Obr. 43 Frekvenční analýza ve směru H_y pro motor M5 v bodě L2



Obr. 44 Časový záznam efektivní hodnoty zrychlení vibrací ve směru Hx pro motor M5 v bodě L2

4.2.5 Měření vibrací na motoru M4 se zátěží a bez zátěže

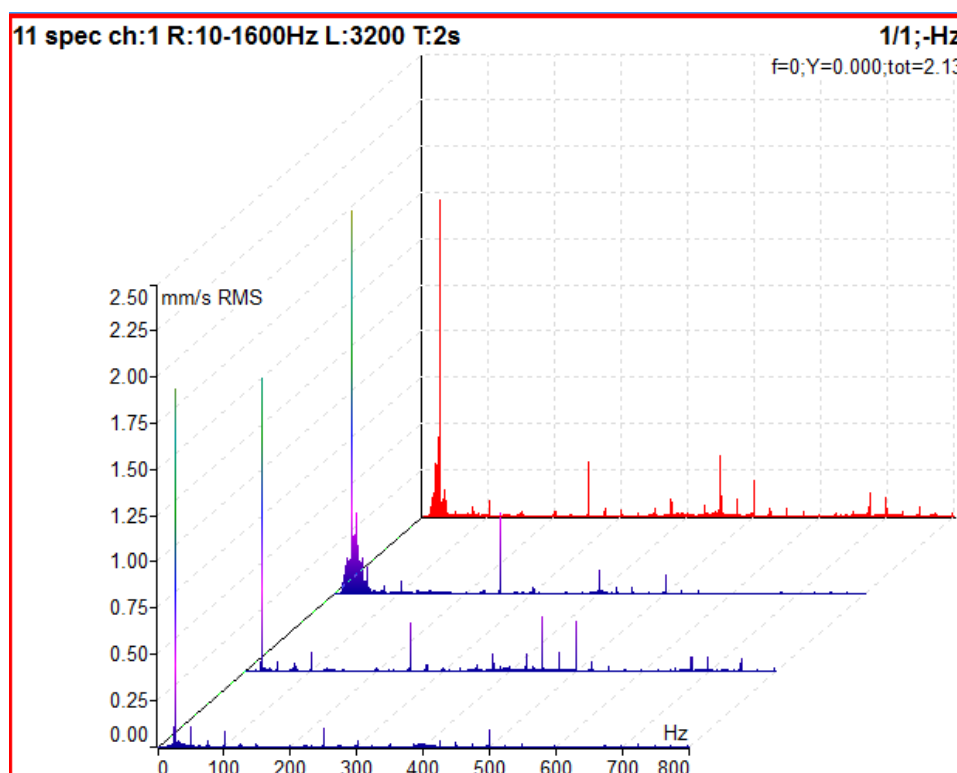
V tabulce 19 jsou naměřené hodnoty rychlosti a zrychlení pro motory M4 se zátěží a bez zátěže v bodech L1 a L2. Hodnoty rychlostí u motorů M4 a M5 jsou v pásmu A až B což můžeme považovat za uspokojivé. Hodnoty zrychlení u obou motorů jsou velmi dobré.

Tab. 19 Rychlosti a zrychlení na motoru M4 se zátěží a bez zátěže

Měřené motory	M4			M4			
	se zátěží			bez zátěže			
	Zátěž						
Osy snímačů	Hx	Hy	A	Hx	Hy	A	
Měřicí bod	L1 - rychlost [mm/s]	2,84	2,86	3,21	1,28	2,4	2,32
	L1 - zrychlení [g]	0,25	0,28	0,32	0,25	0,22	0,38
	L2 - rychlost [mm/s]	2,46	1,59	2,06	2,9	1,48	2,28
	L2 - zrychlení [g]	0,44	0,29	0,33	0,47	0,29	0,35

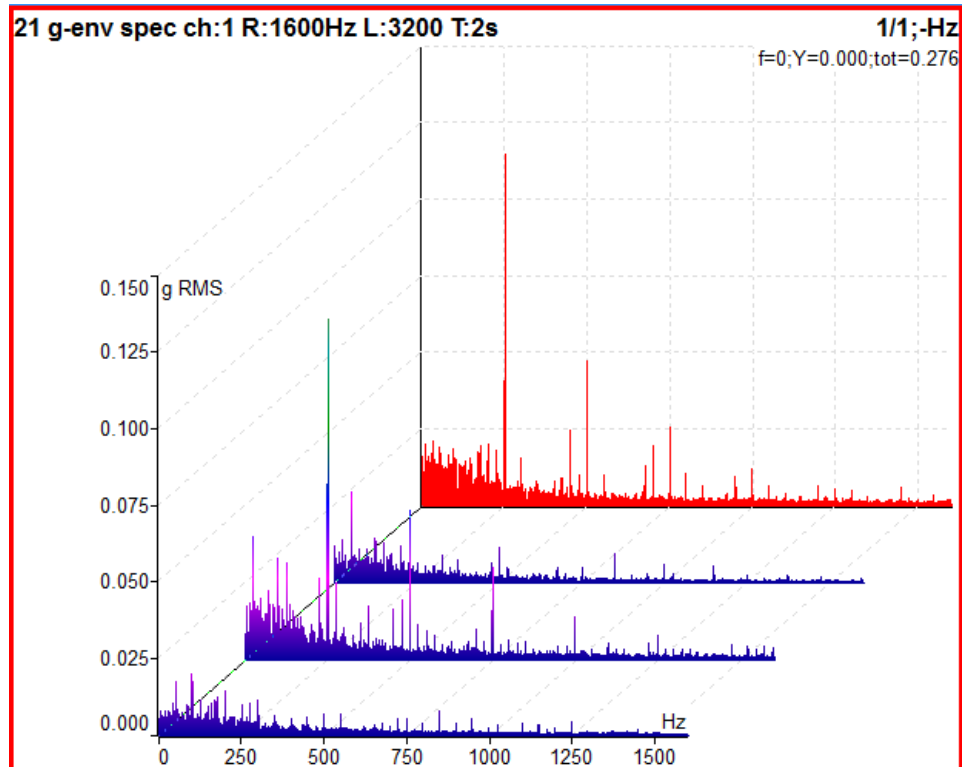


Obr. 45 Umístění snímačů u M4 v místě L2 [Autor]

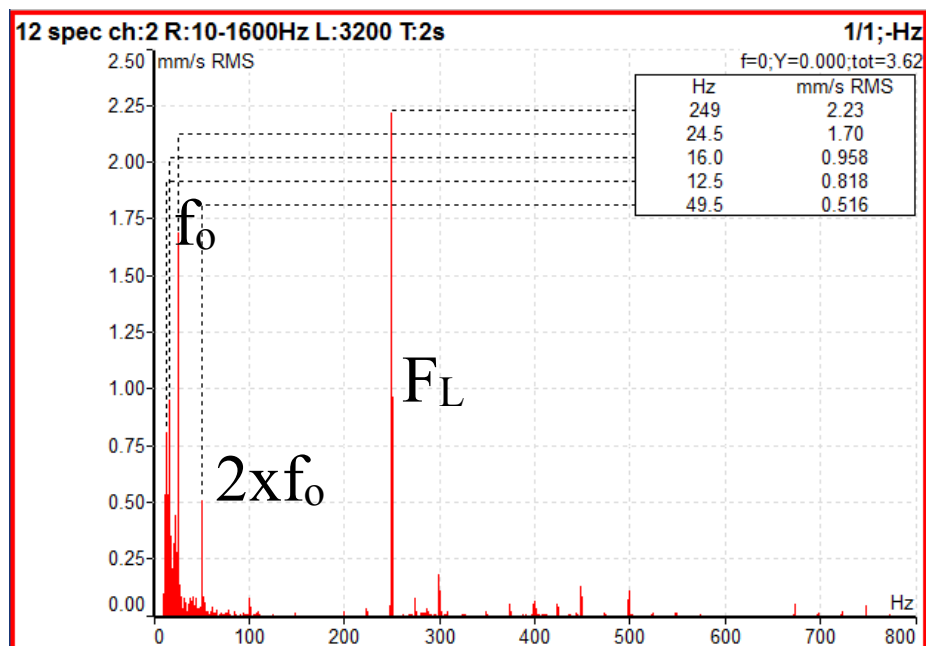


Obr. 46 Frekvenční analýza ve směru Hx pro motor M4 se zátěží a M4 bez zátěže, od předu M4 se zátěží v bodě L1 následně v bodě L2 až po M4 bez zátěže v bodě L2

Na obr. 46 jsou viditelné špičky na první otáčkové frekvenci u motoru M4 se zátěží i M4 bez zátěže. Dále jsou viditelné špičky na devítinásobku a následně násobky těchto špiček.



Obr. 47 Obálková metoda ve směru Hx pro motor M4 se zátěží a M4 bez zátěže, od předu M4 se zátěží v bodě L1 následně v bodě L2 až po M4 bez zátěže v bodě L2



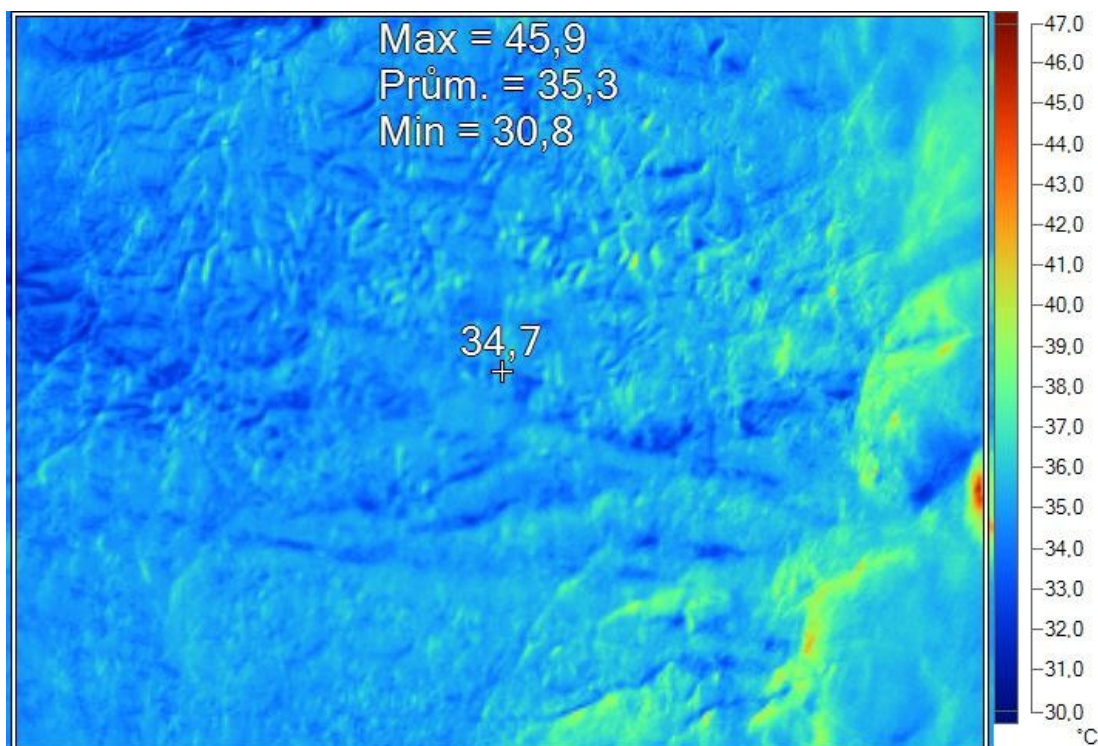
Obr. 48 Frekvenční spektrum ve směru Hx pro motor M4 se zátěží v bodě L1

4.3 Termodiagnostika

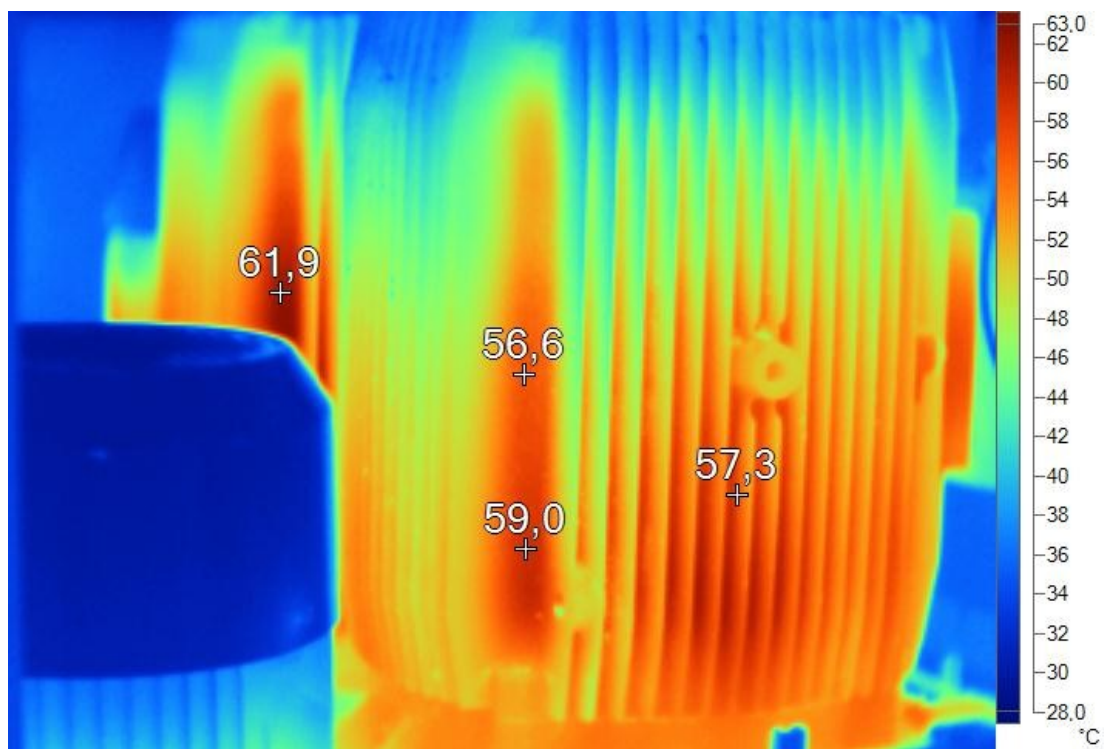
Měření termodiagnostiky bylo prováděno za normálního chodu celého zařízení. K vyhodnocení termo snímků jsem využil tabulku 20, která určuje hranici rozsahu teplot mezi stejnými prvky.

Tab. 20 Porovnání teplot prvků mezi stejnými prvky soustavy

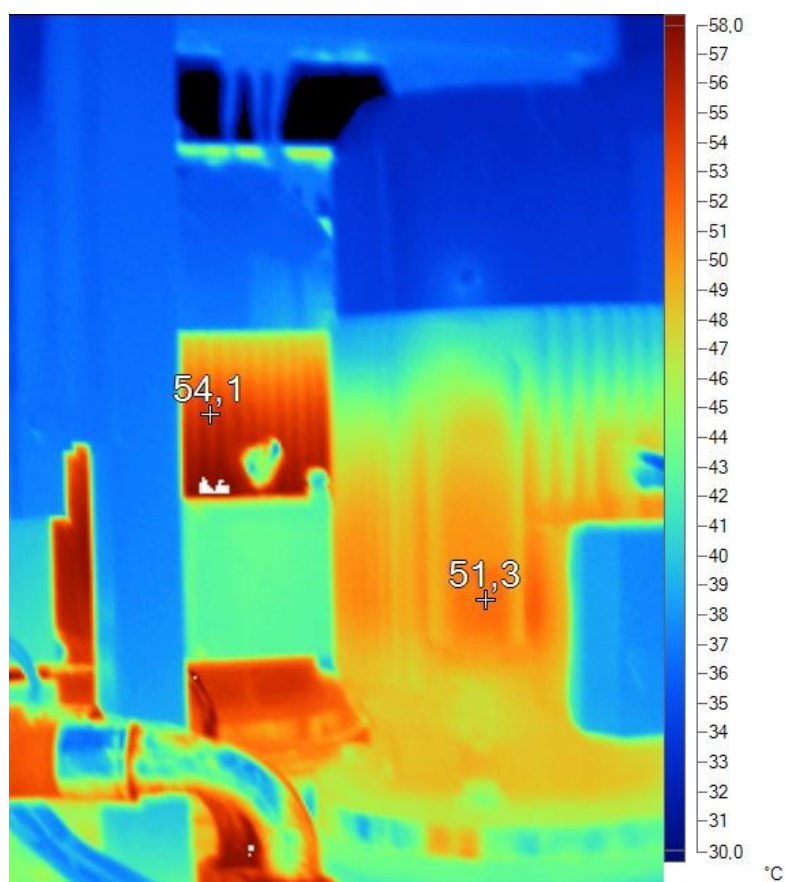
Kvalifikační stupeň	Rozdíl teplot	Nápravné opatření
I	0 ÷ 10 °C	Žádná opatření
II	10 ÷ 35 °C	Zvýšená pozornost
III	35 ÷ 100 °C	Opravit při následující odstávce
IV	100 °C a více	Opravit co nejdříve



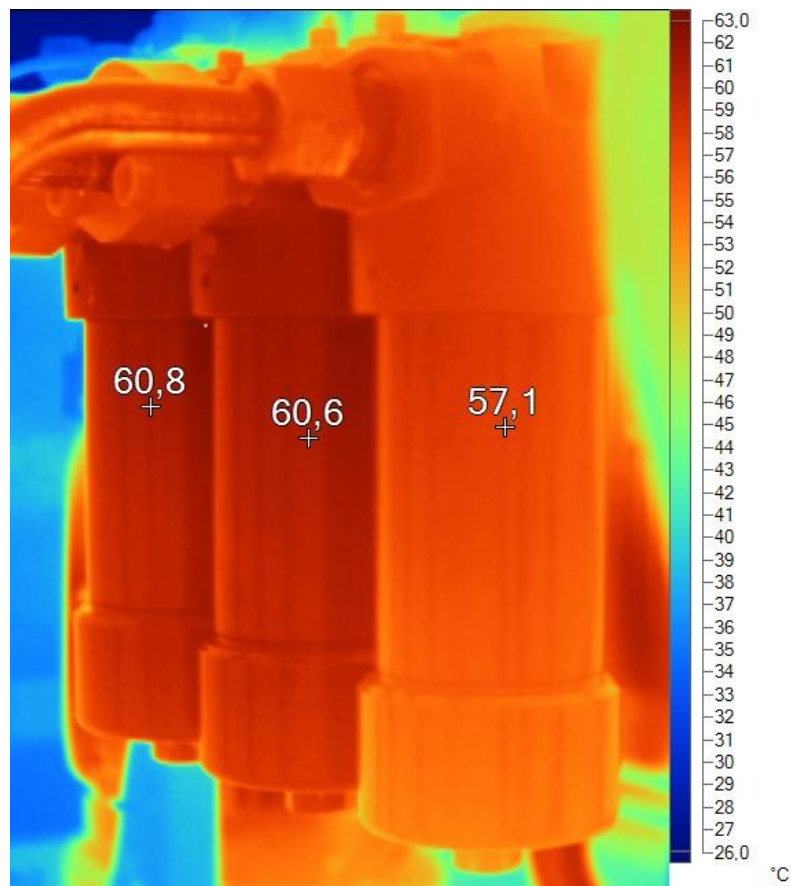
Obr. 49 Referenční snímek podložky s emisivitou 1



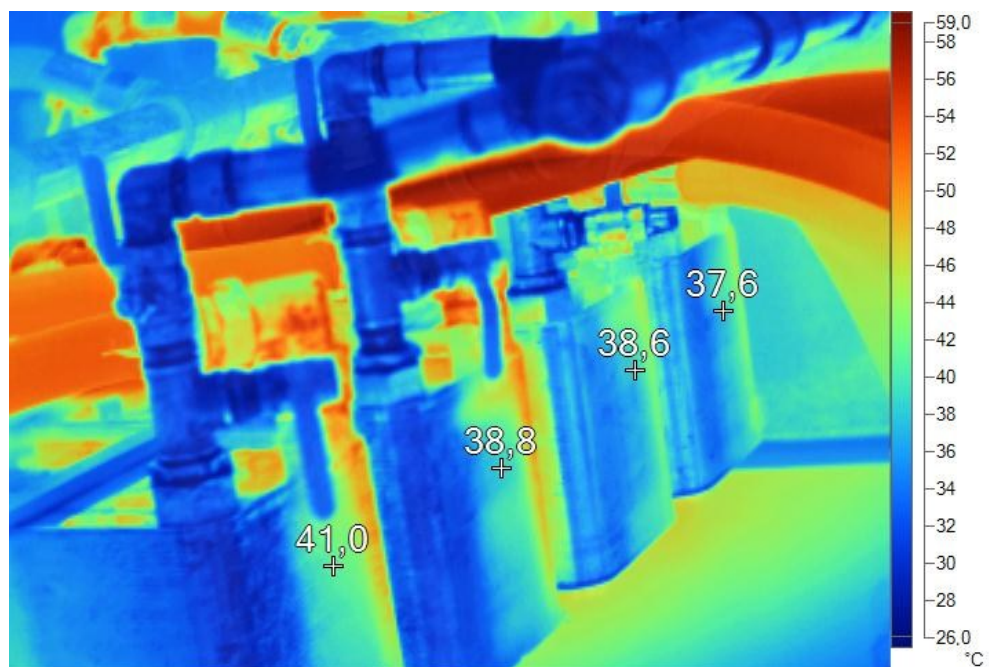
Obr. 50 Teplota motorů M1 a M2 v popředí motor M1



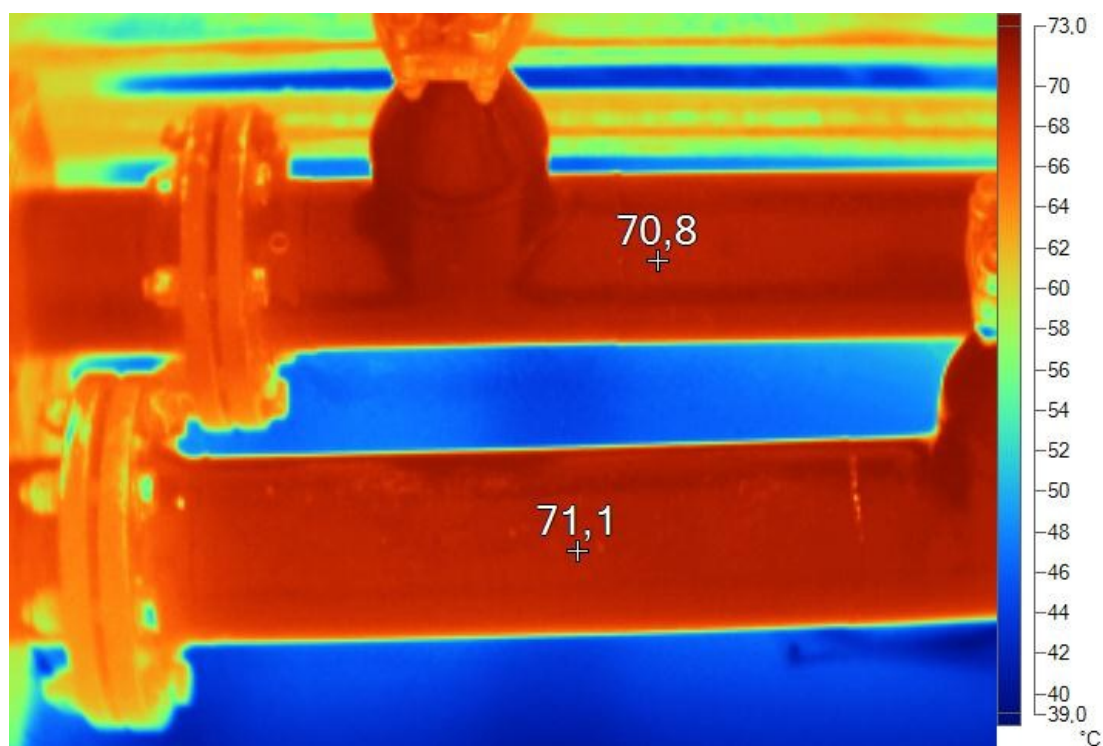
Obr. 51 Teplota motorů M4 a M5 v popředí motor M5



Obr. 52 Teplota rozváděčů maziva



Obr. 53 Teplota chladicího systémů



Obr. 54 Teplota potrubí, v kterém proudí zahřáté mazivo

U žádných měřených prvků nepřesáhl rozdíl teplot o 10°C tím pádem není potřeba provádět v rámci termodiagnostiky žádné opatření.

5. Zhodnocení výsledků měření

5.1 Zhodnocení tribodiagnostiky

Přípustný rozsah viskozity podle výrobce je 10%. Kyselost může nabývat maximálních hodnot 0,8 – 0,9 mg KOH/g oleje, nicméně tato hodnota je spíše orientační a záleží hlavně na rozdílu čísla kyselosti vůči referenčnímu vzorku. Povoleno obsah vody v mazivu u hydraulického oleje je 0,02%.

Tab. 21 Výsledky rozborů oleje

	Olej ze strojního zařízení	Referenční vzorek
Viskozita [$mm^2 \cdot s^{-1}$]	46,1	46,95
Číslo kyselosti [mg KOH/g oleje]	0,463	0,48
Obsah vody [%]	0,0033	0,0031
Hmotnost nečistot [mg/100ml]	31,6	36
Množství a velikost nečistot	Třída 11	Třída 7
Kód čistoty	17/16/15	15/15/12

Naměřená viskozita v oleji odebraného ze strojního zařízení $46,1 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ je zcela v pořádku. Hodnoty čísla kyselosti i obsahu vody jsou ve výborném stavu. Co se týče obsahu nečistot, tyto hodnoty jsou zanedbatelné. U rentgenové spektrofotometrie došlo jen k mírnému poklesu Sodíku cca o 300 ppm a Zinku cca o 100 ppm. Dále došlo k růstu Síry cca o 100 ppm.

Množství a velikost nečistot u oleje ze strojního zařízení vyšla třída 11, u kódu čistoty vyšla hodnota podle normy 17/16/15. Přesné rozdělení podle velikosti nečistot je v tab. 9 a v tab. 10. Tyto hodnoty hraničí s použitelností hydraulického oleje. Dochází k vniknutí značného množství částic větších než $50 \mu\text{m}$, to může znamenat poškození filtrů ve filtračním zařízení.

5.2 Zhodnocení vibrodiagnostiky

Při zhodnocení hlavních motorů M1, M2 a M3 se vyskytují špičky na první otáčkové frekvenci což je nejspíše způsobeno uvolněnými čerpadly. Dále se zobrazují vysoké špičky na devítinásobku otáčkové frekvence a následně jejich násobky. Tyto špičky se přenáší na motory z čerpadel, které jsou na tyto motory připojené. Zrychlení u všech tří motorů jsou v pořádku, to znamená, že ložiska v motoru jsou v dobrém stavu.

Při hodnocení čerpadel Č1, Č2 a Č3 naměřené hodnoty rychlostí i zrychlení jsou v přechodně přípustném až nepřípustném stavu a to u čerpadel Č1 a Č2. Při měření u čerpadla Č1 jsme si všimli protáčející se podložky pod maticí. Ve frekvenčním spektru se projevuje nevyváha na první otáčkové frekvenci a devítinásobek otáčkové frekvence a následně násobky této špičky. Devítinásobek otáčkové frekvence a jeho násobky mají souvislost s poškozením lamel v lamelovém čerpadle.

Při hodnocení motorů M4 a M5 jsou hodnoty zrychlení v dobrém až provozním stavu. Ve spektrech je viditelná mírná nevyváha a projev devítinásobku otáčkové frekvence což znamená zase přenos z čerpadla. Hodnoty zrychlení u obou motorů odpovídají doporučením, takže lze konstatovat, že ložiska jsou v dobrém technickém stavu.

5.3 Zhodnocené termodiagnostiky

Měření pomocí metody termodiagnostiky nebyl objeven žádný problém. Všechny hodnoty teplot v porovnání se stejnými prvky nepřesáhly rozdíl teplot o 10°C. To znamená, že není potřeba provádět žádné opatření.

6. Výsledná doporučení

Na základě výsledků rozborů oleje doporučuji provádět pravidelnou kontrolu olejů. Pomocí pravidelné kontroly může být docíleno optimálního intervalu pro výměnu olejové náplně. Výsledky viskozity, čísla kyselosti i obsahu vody jsou v pořádku. Pouze množství a velikost nečistot i kód čistoty se přibližují hranici použitelnosti. Přes filtrační systém pronikají částice, které jsou větší než 50 μm , to může znamenat poškození filtrů. Na tomto základě doporučuji provést kontrolu filtrů ve filtračním zařízení.

Při měření vibrací u čerpadla Č1 byla zjištěna po vizuálním prohlédnutí protáčeující se podložka pod maticí. Doporučuji provádět pravidelnou kontrolu dotažení všech částí v pravidelných intervalech.

Na základě vyhodnocování vibrací doporučuji provést servis lamelových čerpadel pod hlavními motory. Hodnoty rychlostí i zrychlení jsou v alarmujícím stavu. Částečně je to zapříčiněné uvolněním, ale ve frekvenčních spektrech jak u motorů, tak u čerpadel je viditelná značná lopatková frekvence, to znamená poškození lopatek v lamelovém čerpadle.

7. Závěr

Cílem mojí diplomové práce bylo zjistit aktuální technický stav hydraulického lisu APT s následným doporučením pro další provoz tak, aby byla zajištěna vysoká provozní spolehlivost a životnost stroje ve společnosti ZEVETA Bojkovice a.s. K zjištění aktuálního technického stavu hydraulického lisu APT na základě zjištěných poruch a požadavků firmy jsem využil metod technické bezdemontážní diagnostiky a to tribodiagnostiky, vibrodiagnostiky a termodiagnostiky.

Provedl jsem odběr hydraulického oleje ze strojního zařízení a referenčního vzorku. Tyto vzorky jsem následně vyhodnotil v diagnostické laboratoři. Po vyhodnocení bylo zjištěno vnikání velkých částic nečistot přes filtrační systém. Na základě velkého počtu nečistot jsem doporučil provést kontrolu filtrů ve filtračním zařízení.

Při měření vibrací byla objevena uvolněná podložka pod maticí. Tuto matici jsme dotáhli. V rámci tohoto zjištění a na základě naměřených hodnot dochází k uvolňování čerpadel a motorů, proto jsem doporučil provést pravidelnou kontrolu dotažení všech částí.

Naměřené hodnoty rychlostí i zrychlení čerpadel a to hlavně čerpadla Č1 a Č2 odpovídají uvolnění a objevuje se frekvence, která naznačuje poškození lopatek v lamovém čerpadle. V rámci tohoto zjištění jsem doporučil provést servis těchto čerpadel.

Termodiagnostika neobjevila žádnou technickou závadu, takže není potřeba v rámci termodiagnostiky provádět žádná opatření.

Použitá literatura

- [1] HELEBRANT, F. *Technická diagnostika a spolehlivost. IV., Provoz a údržba strojů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008. 127 s. ISBN 978-80-248-1690-6
- [2] BLATA, J. a J. JURASZEK. *Metody Technické diagnostiky: teorie a praxe = Metody diagnostyki technicznej: teorie a praktyka*. 1 vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013. 130, 135 s. ISBN 978-80-248-2997-1
- [3] HELEBRANT, F., ZIEGLER, J. a D. MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6
- [4] SZCZEREK, Marian a WISNIEWSKI, Marek. *Tribologie, Tribotechnika*. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji Radom, 2000. 727 s. ISBN 83-7204-199-7.
- [5] ČECHURA, M a J. STANĚK. *Tvářecí stroje: hydraulické lisy*. 1 vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 1999. 140 s. ISBN 80-7082-480-8
- [6] Historie společnosti [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.zeveta.cz/index.php?url=cs/>
- [7] Provoz, diagnostika a údržba strojů – *Tribodiagnostika kapalných maziv a strojních součástí* [online] [cit. 2017-05-02] Dostupné z <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/12-Provoz,%20diagnostika%20a%20%C3%BAAdr%C5%BEba%20stroj%C5%AF%2007.pdf>
- [8] Provoz, diagnostika a údržba strojů – *Ošetření maziv, význam aplikace tribodiagnostiky* [online] [cit. 2017-05-02] Dostupné z <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/12-Provoz,%20diagnostika%20a%20%C3%BAAdr%C5%BEba%20stroj%C5%AF%2008.pdf>
- [9] Provoz, diagnostika a údržba strojů – *Technická diagnostika a její metody* [online] [cit. 2017-05-02] Dostupné z <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/12-Provoz,%20diagnostika%20a%20%C3%BAAdr%C5%BEba%20stroj%C5%AF%2009.pdf>
- [10] Provoz, diagnostika a údržba strojů – *Termodiagnostika* [online] [cit. 2017-05-02]10 Dostupné z <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/12-Provoz,%20diagnostika%20a%20%C3%BAAdr%C5%BEba%20stroj%C5%AF%2011.pdf>

SEZNAM OBRAZKU A GRAFŮ

OBR. 1 VÍTĚZSLAV KYŠER [6].....	10
OBR. 2 AREÁL SPOLEČNOSTI ZEVETA BOJKOVICE A.S. [6]	11
OBR. 3 VYRÁBĚNÉ DÍLY [6]	11
OBR. 4 VYRÁBĚNÁ PYROTECHNIKA [6].....	12
OBR. 5 UMÍSTOVÁNÍ SNÍMAČŮ [2]	17
OBR. 6 HYDRAULICKÝ LIS APT	20
OBR. 7 HYDRAULICKÝ LIS APT	21
OBR. 8 ODBĚR VZORKŮ OLEJE [AUTOR]	25
OBR. 9 REFERENČNÍ VZOREK [AUTOR]	25
OBR. 10 KAPILÁRNÍ VISKOZIMETR TYPU UBBELOHDE [7].....	26
OBR. 11 VZORKY VE VODNÍ LÁZNI [AUTOR].....	27
OBR. 12 COULOMETR PRO STANOVENÍ ČÍSLA KYSELOSTI [AUTOR].....	28
OBR. 13 VÁHA [AUTOR].....	29
OBR. 14 COULOMETR WTD [AUTOR].....	30
OBR. 15 ZAŘÍZENÍ NA STANOVENÍ OBSAHU NEČISTOT [AUTOR]	31
OBR. 16 MIKROSKOP [AUTOR]	32
OBR. 17 SPEKTROFOTOMETR [AUTOR]	34
OBR. 18 SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA [AUTOR].....	37
OBR. 19 GRAF POSOUZENÍ OLEJE ZE STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ S REFERENČNÍM VZORKEM.....	38
OBR. 20 UMÍSTĚNÍ SNÍMAČŮ U M1 V MÍSTĚ L1 [AUTOR].....	41
OBR. 21 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU Hx PRO TŘI MOTORY M1, M2 A M3 OD PŘEDU M1 V BODĚ L1 NÁSLEDNĚ V BODĚ L2 AŽ PO M3 V BODĚ L2.....	42
OBR. 22 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU Hy PRO TŘI MOTORY M1, M2 A M3, OD PŘEDU M1 V BODĚ L1 NÁSLEDNĚ V BODĚ L2 AŽ PO M3 V BODĚ L2	42
OBR. 23 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU A PRO TŘI MOTORY M1, M2 A M3, OD PŘEDU M1 V BODĚ L1 NÁSLEDNĚ V BODĚ L2 AŽ PO M3 V BODĚ L2.....	43
OBR. 24 OBÁLKOVÁ METODA VE SMĚRU Hx PRO TŘI MOTORY M1, M2 A M3, OD PŘEDU M1 V BODĚ L1 NÁSLEDNĚ V BODĚ L2 AŽ PO M3 V BODĚ L2.....	44
OBR. 25 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU Hy PRO MOTOR M1 V BODĚ L1 S VÝRAZNOU PRVNÍ OTÁČKOVOU FREKVENCÍ A PROJEVEM NESYMETRIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE.....	44
OBR. 26 OBÁLKOVÁ METODA VE SMĚRU Hx PRO MOTOR M1 V BODĚ L2.....	45

OBR. 27 FREKVENČNÍ SPEKTRUM VE SMĚRU HY PRO MOTOR M2 V BODĚ L1 S VÝRAZNOU PRVNÍ OTÁČKOVOU FREKVENCÍ.....	45
OBR. 28 ČASOVÝ ZÁZNAM EFEKTIVNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ VE SMĚRU HX PRO MOTOR M2 V BODĚ L1	46
OBR. 29 UMÍSTĚNÍ SNÍMAČŮ U Č1 V MÍSTĚ L2 [AUTOR].....	47
OBR. 30 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU HX PRO TŘI ČERPADLA Č1, Č2 A Č3, OD PŘEDU Č1 V BODĚ L1 NÁSLEDNĚ V BODĚ L2 AŽ PO Č3 V BODĚ L2.....	47
OBR. 31 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU HY PRO TŘI ČERPADLA Č1, Č2 A Č3, OD PŘEDU Č1 V BODĚ L1 NÁSLEDNĚ V BODĚ L2 AŽ PO Č3 V BODĚ L2.....	48
OBR. 32 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU A PRO TŘI ČERPADLA Č1, Č2 A Č3, OD PŘEDU Č1 V BODĚ L1 NÁSLEDNĚ V BODĚ L2 AŽ PO Č3 V BODĚ L2.....	48
OBR. 33 OBÁLKOVÁ METODA VE SMĚRU HY PRO TŘI ČERPADLA Č1, Č2 A Č3, OD PŘEDU Č1 V BODĚ L1 NÁSLEDNĚ V BODĚ L2 AŽ PO Č3 V BODĚ L2.....	49
OBR. 34 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU HX PRO ČERPADLO Č2 V BODĚ L1 S PROJEVEM LOPATKOVÉ FREKVENCE F_L	50
OBR. 35 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU A PRO ČERPADLO Č2 V BODĚ L1	50
OBR. 36 OBÁLKOVÁ METODA VE SMĚRU HX PRO ČERPADLO Č2 V BODĚ L1	51
OBR. 37 ČASOVÝ ZÁZNAM EFEKTIVNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ VE SMĚRU HX PRO ČERPADLO Č2 V BODĚ L1	51
OBR. 38 UMÍSTĚNÍ SNÍMAČŮ U M5 V MÍSTĚ L1 [AUTOR].....	52
OBR. 39 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU HX PRO DVA MOTORY M4 A M5, OD PŘEDU M4 V BODĚ L1 NÁSLEDNĚ V BODĚ L2 AŽ PO M5 V BODĚ L2.....	53
OBR. 40 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU HY PRO DVA MOTORY M4 A M5, OD PŘEDU M4 V BODĚ L1 NÁSLEDNĚ V BODĚ L2 AŽ PO M5 V BODĚ L2.....	53
OBR. 41 OBÁLKOVÁ METODA VE SMĚRU A PRO DVA MOTORY M4 A M5, OD PŘEDU M4 V BODĚ L1 NÁSLEDNĚ V BODĚ L2 AŽ PO M5 V BODĚ L2.....	54
OBR. 42 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU HY PRO MOTOR M5 V BODĚ L1	55
OBR. 43 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU HY PRO MOTOR M5 V BODĚ L2	55
OBR. 44 ČASOVÝ ZÁZNAM EFEKTIVNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ VIBRACÍ VE SMĚRU HX PRO MOTOR M5 V BODĚ L2.....	56
OBR. 45 UMÍSTĚNÍ SNÍMAČŮ U M4 V MÍSTĚ L2 [AUTOR].....	57
OBR. 46 FREKVENČNÍ ANALÝZA VE SMĚRU HX PRO MOTOR M4 SE ZÁTĚŽÍ A M4 BEZ ZÁTĚŽE, OD PŘEDU M4 SE ZÁTĚŽÍ V BODĚ L1 NÁSLEDNĚ V BODĚ L2 AŽ PO M4 BEZ ZÁTĚŽE V BODĚ L2	57

OBR. 47 OBÁLKOVÁ METODA VE SMĚRU HX PRO MOTOR M4 SE ZÁTĚŽÍ A M4 BEZ ZÁTĚŽE, OD PŘEDU M4 SE ZÁTĚŽÍ V BODĚ L1 NÁSLEDNĚ V BODĚ L2 AŽ PO M4 BEZ ZÁTĚŽE V BODĚ L2	58
OBR. 48 FREKVENČNÍ SPEKTRUM VE SMĚRU HX PRO MOTOR M4 SE ZÁTĚŽÍ V BODĚ L1	58
OBR. 49 REFERENČNÍ SNÍMEK PODLOŽKY S EMISIVITOU 1	59
OBR. 50 <i>TEPLOTA MOTORŮ M1 A M2 V POPŘEDÍ MOTOR M1</i>	60
OBR. 51 <i>TEPLOTA MOTORŮ M4 A M5 V POPŘEDÍ MOTOR M5</i>	60
OBR. 52 <i>TEPLOTA ROZVÁDĚČŮ MAZIVA</i>	61
OBR. 53 <i>TEPLOTA CHLADÍČÍHO SYSTÉMŮ</i>	61
OBR. 54 <i>TEPLOTA POTRUBÍ, V KTERÉM PROUDÍ ZAHŘÁTÉ MAZIVO</i>	62

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

např. – například

apod. – a podobně

atd. – a tak dále

r. – rok

a.s. – akciová společnost

tzv. – tak zvaně

obr. – obrázek

abs. – absolutní

ppm – částic na milion

g – gram

mg – miligram

kg – kilogram

°C – stupeň Celsia

% – procento

mm – milimetr

ml – mililitr

kPa – kilopascal

V – volt

Hz – Hertz

min – minuta

s – sekunda

mm/s – milimetr/sekunda

kN – kilonewton

kA – kiloamper

kW – kilowatt

rpm – otáčky za minutu

cSt. – viskozita

ν viskozita [mm² . s⁻¹]

c konstanta viskozimetru [mm² . s⁻²]

τ aritmetický průměr doby průtoku viskozimetru.....[s]