

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Aplikace technické diagnostiky na frézovacích
centrech Chiron MILL

Application of Technical Diagnostics on Milling
Centers Chiron MILL

Student:

Bc. Petr Viktorin

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Viktorin**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma: **Aplikace technické diagnostiky na frézovacích centrech Chiron MILL**
Application of Technical Diagnostics on Milling Centers Chiron MILL

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Technická diagnostika obráběcích strojů je vzhledem ke specifickým vlastnostem těchto zařízení velmi problematická a náročná. Mezi tyto specifické odlišnosti lze považovat např. vysoké otáčky, velké nároky na přesnost a nízké vibrace. V rámci této závěrečné práce se zabývejte touto problematikou, proberte možnosti a úskalí aplikace diagnostiky na tato zařízení.

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 praktyka*. 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.

ČSN 20 0065 *Metody měření a hodnocení mechanického kmitání-Mezní hodnoty kmitání*. Praha: Český normalizační institut, červen 1992. 16 s.

MAREK, J. a O. UČEŇ. *CNC obráběcí stroje*. 1. vydání, Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. 103 s. ISBN 978-80-248-2329-4

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 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: 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 15.5.2017

.....

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 s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- 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 15.5.2017

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Petr Viktorin

Adresa trvalého pobytu autora práce: Uherský Brod 3, Pod Rubanisky 125, 68734

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. VIKTORIN, P. *Aplikace technické diagnostiky na frézovacích centrech Chiron MILL*. 2017. 77 s. Diplomová práce na Fakultě strojní VŠB-Technické univerzity Ostrava na katedře výrobních strojů a konstruování. Vedoucí práce Ing. Blata, J., Ph.D.

Diplomová práce se zabývá zjišťováním technického stavu strojů Chiron MILL ve firmě Česká zbrojovka a.s. Uherský Brod. Cílem práce bylo s využitím metod technické diagnostiky zhodnotit stav výše uvedených strojů a určit výsledná doporučení pro budoucí provoz. Teoretická část popisuje zejména metody zvolené k určení technického stavu strojů, který byl zjišťován pomocí vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky. Praktická část se zaměřuje na analýzu olejové náplně a pomocí tribodiagnostických testů hodnotí parametry maziva a jeho degradaci. Z laboratorních výsledků a následným vyhodnocením byla zvolena vhodná doporučení. V poslední části je uveden popis a vyhodnocení měření stavu včetně strojů analýzou vibračního signálu.

Klíčová slova: Vibrodiagnostika, tribodiagnostika, technický stav, včetně.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Bc. VIKTORIN, P. *Application of technical diagnostics on milling centers Chiron MILL*. 2017. 77 p. The diploma thesis from the faculty of mechanical engineering VŠB-Technical university of Ostrava of department production machines and design. Supervised by Ing. Blata, J., Ph.D.

The diploma thesis is focused on finding out the technical condition of Chiron MILL machines in the company Česká Zbrojovka a.s. Uherský Brod. The aim of the thesis is to evaluate the state of the above mentioned machines by using methods of technical diagnostics and to determinate recommendations for future operations. The theoretical part describes especially vibrodiagnostics and tribodiagnosics methods selected for determining the technical condition of the machines.. The practical part is focused on analyzing oil filling and rating of lubricant parameters and its degradation by using tribodiagnostic tests. Appropriate recommendations have been determined from laboratory results and its subsequent evaluation. The last part contains the description and evaluation of the measurement of the machine spindle state by vibration signal analysis.

Key words: Vibrodiagnostics, tribodiagnosics, technical conditions, spindle.

OBSAH:

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A INDEXŮ	9
ÚVOD	11
1. Firma Česká zbrojovka a.s.	13
1.1 Údržba v podniku	14
1.2 Technická diagnostika ve firmě ČZUB.....	15
2. Charakteristika strojů Chiron MILL	18
2.1 Technické parametry	20
2.2 Používaná maziva a provozní kapaliny	21
2.3 Mazací plán	22
3. Technická diagnostika a její metody	23
4. Zvolené metody pro učení stavu stroje Chiron MILL	25
4.1 Vibrodiagnostika	25
4.1.1 Základní sledované veličiny kmitání.....	25
4.1.2 Snímače vibrací.....	26
4.1.3 Základní metody vibrodiagnostiky.....	29
4.1.4 Měření stavu valivých ložisek.....	31
4.2 Tribodiagnostika.....	35
4.2.1 Rozdělení metod tribodiagnostiky	36
5. Rozbor olejové náplně.....	37
5.1 Odběr vzorku.....	37
5.2 Analýza olejů v laboratoři	38

5.3	Vyhodnocení výsledků analýzy olejů	47
6.	Měření vibrací	53
6.1	Použitý měřicí přístroj AdashA4400	53
6.2	Volba měřících míst	55
6.3	Výpočet frekvencí	55
6.4	Doporučené hodnoty vibrací	56
6.5	Vyhodnocení prvního měření	57
6.6	Vyhodnocení druhého měření	63
6.7	Srovnání dvou měření v čase	67
7.	Celkové vyhodnocení měření a doporučení	70
8.	Závěr	72
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	75
	SEZNAM PŘÍLOH	77

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A INDEXŮ

a.s.	Akciová společnost
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
obr.	Obrázek
tab.	Tabulka
např.	Například
č.	Číslo
apod.	A podobně
kap.	Kapitola
tzv.	Takzvaný
tj.	To jest
max.	Maximální
FT-IR	Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací
TBN	Total Base Number
TAN	Total Acid Number
KOH	Hydroxid draselný
EHC	European Holding Company
CNC	Computer Numeric Control
CZUB	Česká Zbrojovka Uherský Brod
ISO	International Organization for Standardization
ČSN	Česká technická norma
TPM	Total productive maintenance

5S	System čistého a přehledného pracoviště	
MOST	Monitorování pozorování dohled cílení	
KARBAN	System řízení a sledování toku materiálu	
PEAK	Špičková hodnota vibrací	
X_{ef} (RMS)	Efektivní hodnota	
X_s (Average)	Střední hodnota	
X_v (Peak)	Amplituda kmitu	[Hz]
X_r (Peak-Peak)	Rozkmit vlny	
t	Čas	[s]
T	Doba jednoho kmitu (perioda)	[s]
f	Frekvence	[Hz]
FFT	Rychlá Fourierova transformace	
SEE	Spectral Emitted Energy	
HFD	High Frequency Detection	
SPM	Shock Pulse Meter	
BCU	Bearing Condition Unit	
RBP	Related Bearing Produkt	
ppm	Částic na jeden milion	

ÚVOD

Tato diplomová práce vznikla ve vzájemné spolupráci s firmou Česká Zbrojovka a.s. Uherský Brod, která je dlouholetým výrobcem a jedním z nevýznamnějších producentů ručních palných zbraní pro armádu a policii. Postupem času se výroba zbraní rozšířila i pro lovecké a sportovní účely. V současné době se firma také zabývá výrobou dílů pro automobilový a letecký průmysl. Česká zbrojovka nabízí široký sortiment střelných zbraní. Od zbraní určených pro vojenské účely až po civilní a sportovní zbraně. K vyráběnému sortimentu zbraní dodává také veškeré taktické a optické příslušenství. Za dobu působení si firma vybudovala skvělou reputaci na domácím i na světovém trhu. Důkazem toho je prodej ručních zbraní do přibližně 100 zemí světa.



Obr. 1 – Letecký snímek závodu v Uherském Brodě [1]

V České zbrojovce zavedli systém totálně produktivní údržby, s cílem zajistit zlepšení stavu strojního zařízení a dosáhnout maximalizace efektivity a kvality výroby. Součástí takové údržby je technická diagnostika a její aplikace na frézovacích centrech Chiron MILL bude i obsahem této diplomové práce. Technický stav strojů byl zjišťován pomocí vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky. Jsou to základní metody technické diagnostiky a hlavní součásti údržby strojů. Technická diagnostika se snaží určit aktuální stav stroje a to bez nutné odstávky nebo demontáže. Jestliže se podaří odhalit začínající poškození, může se naplánovat její oprava ještě než dojde k samotné poruše a neplánované odstávce stroje, což je nepochybně ekonomicky výhodné.

Cílem diplomové práce je určit aktuální stav dvou frézovacích CNC strojů Chiron MILL, které vyrábí závěry malorážek. Zkoušky a testy technické diagnostiky měly potvrdit nebo vyvrátit předpoklad špatného stavu vřetene u jednoho z vybraných strojů. Naskytla se tak možnost porovnat technický stav dvou stejných strojů, které jsou v neustálém provozu.



Obr. 2 – Obráběcí centrum Chiron MILL [14]

Pro zjištění technického stavu jsem provedl odběr hydraulického oleje a následně udělal rozbor v laboratoři VŠB - TU Ostrava. Významným nositelem o stavu stroje jsou vibrace, pro měření byl využit analyzátor vibrací ADASH VA4 PRO včetně snímačů vibrací a laserového triggru. Na základě výsledků měření vibrací a rozboru olejové náplně jsem stanovil aktuální stav strojů a určil doporučení pro budoucí provoz včetně stanovení časových intervalů pro kontrolu technického stavu strojů a pro konání jejich údržby.



Obr. 3 – Analyzátor vibrací ADASH VA4 PRO [2]

1. Firma Česká zbrojovka a.s.

Česká zbrojovka a.s. jak ji známe dnes byla založena roku 1992, avšak její historie začíná již roku 1936, kdy bylo rozhodnuto o jejím založení. Jejím většinovým vlastníkem je společnost EHC CZUB, SE. Nyní zaměstnává přibližně 1800 zaměstnanců. Roční tržby za rok 2016 dosáhly sumy kolem 3,3 miliardy Kč. Patří mezi nejvýznamnější světové dlouholeté výrobce ručních palných zbraní. Zasluhou vysoké kvality a vynikajících vlastností vyráběných zbraní si vybuodovala za dobu své existence vysokou reputaci jak na domácím, tak i na světovém trhu. Česká zbrojovka získala v roce 2016 ocenění v prestižní soutěži Exportér roku. Významný exportní potenciál takto oceněného podniku dokládá skutečnost, že CZUB vyváží až 80% své výroby do téměř 100 zemí světa. Díky těmto výsledkům se Česká zbrojovka a.s. řadí mezi nejlepší vývozce České republiky. Vyrábí zbraně pro ozbrojené složky armády a policie a také pro sportovní a lovecké účely. V produkci firmy se již objevily i výrobky pro automobilový a letecký průmysl. Působí i v oblastech přesného strojírenství a vyrábí speciální nářadí pro strojírenskou výrobu. [1]



Obr. 4 – Logo Česká zbrojovka a.s. [3]

K nejpopulárnějším výrobkům firmy Česká zbrojovka patří dnes již legendární pistole CZ 75. Jedná se o služební obrannou zbraň ráže 9 mm. Po pistoli typu CZ 75, kterou je vybavena mimo jiné i policie ČR, se vyráběla její zlepšená verze CZ 85.



Obr. 5 – Pistole CZ 75 [3]

1.1 Údržba v podniku

Údržba je souhrn všech technických, administrativních a manažerských činností použitých v průběhu životního cyklu stroje, kterými se snaží udržet nebo dosáhnout stavu, v němž může vykonávat požadované funkce, pro které byl určený. Patří k důležitým základním procesům každého výrobního cyklu. Je jen zdánlivě rozporná. Na jedné straně čerpá finanční prostředky, pracovní síly a je mnohdy časově náročná, ovšem na druhé straně redukuje následky opotřebení, zvyšuje provozuschopnost, snižuje počet poruch a vyráběných zmetků. Z tohoto důvodu je údržba nepochybně přínosným nástrojem pro každou výrobní společnost. [4]

Vývoj údržby v podniku CZUB úzce souvisí s její pozicí na trhu z hlediska ekonomické a existenční situace firmy. Za dob komunistického režimu, tj. před rokem 1989, necítila firma CZUB účinný konkurenční tlak na zlepšování efektivity výroby a z tohoto důvodu nebyla snaha o zavádění moderních metod do údržby zařízení a řízení údržby. V této době se prováděla údržba převážně systémem oprav po poruše, nebo se jenom preventivně vyměnily strojní části, u kterých se předpokládalo opotřebení. Ve skutečnosti však nebyl znám jejich aktuální technický stav.

V historii údržby tohoto podniku se prosadil názor, že si většinu údržbářských prací bude provádět sama vlastními silami. Zavedený způsob údržby spolu s postupným rozvojem podniku si vyžadoval stále větší počet zaměstnanců v oddělení údržby. Zaměstnanci zabezpečovali prakticky všechny druhy údržbářských prací. Zaměstnávali až 60 pracovníků v úseku údržby budov, kteří vykonávali téměř všechny údržbářské práce, jako je údržba budov, strojů, technických zařízení, ale i specifické práce, jako např. opravy motorových vozíků apod., což vedlo k ne zcela využití kapacitě zaměstnanců, pro které bylo nutné shánět externí zakázky. Ve výsledku to bylo organizačně velmi náročné a rovněž i ekonomicky zatěžující pro podnik. Počet zaměstnanců údržby se časem začal snižovat, ale efektivita služeb stále nedosahovala potřebnou úroveň.

Kolem roku 2000 pochopilo vedení ČZUB, že bude výhodnější zaměřit se na hlavní cíl a to je výroba zbraní. Nikoli aby se zabývali všichni vším a všichni dělali všechno a tak přebudovali firmu, aby zajistili údržbu efektivněji. Outsourcing se stal pro firmu nutností. Outsourcing znamená, že firma vyčlení některé služby mimo podnik. Činnost není tak zajišťována vlastními zaměstnanci firmy, ale jinou specializovanou firmou na danou činnost. Outsourcing je považován z obchodního hlediska za rozhodnutí, které vede ke

snížení výrobních nákladů. Současně umožňuje firmě soustředit úsilí na své hlavní činnosti, což vede mimo jiné i ke zvýšení její konkurenceschopnosti.

V projektu založeném v roce 2002, který měl rozdělit údržbu a opravy zařízení podniku, vyhráli výběrové řízení dvě firmy OKIO Facility s.r.o. a M-MOOS s.r.o. Firma OKIN zabezpečovala činnosti firmy, jako jsou například údržba areálů podniku, budov a zařízení, technické revize a elektroopravy a opravy technických zařízení. Firma M-MOOS s.r.o. prováděla údržbu, opravy, prohlídky a kontroly strojů a zařízení. Výsledkem těchto opatření byla jistá finanční úspora a také lepší přehled v pohybu materiálů. Zlepšení, kterých bylo dosaženo, však firma, jež se chtěla zařadit mezi moderně řízené podniky, nepokládala za dostatečné a ani zdaleka za konečné.

Od roku 2005, kdy se postupně začaly zavádět moderní metody řízení podniku, začala ČZUB pracovat i na modernizaci svého provozu. Aplikován byl systém MOST, který sleduje pracnost jednotlivých činností. Dalším komplexním nástrojem, který byl zaveden v provozu, je TPM umožňující a podporující zlepšování stavu zařízení za účelem maximalizace efektivity a kvality výrobního procesu. Následně byl zaveden systém 5S, který označuje 5 základních pravidel, kterými by se měl řídit podnik usilující o zavedení štihlé, přehledné a čisté výroby. Dále byla nainstalována DNC síť a aplikace řízeného softwaru údržby. Z dalších zavedených systémů je možno uvést metodu "Just in time", která umožňuje podniku vyrábět výrobky v určeném množství a určeném čase podle požadavků zákazníka a KANBAN, jenž řídí a sleduje tok materiálů.

V současné době se podnik řídí všemi výše uvedenými systémy řízení podniku. A problémy, které vyžadují náročnější zásahy, jsou řešeny přes externí firmy. Převážně veškerou údržbu má v současné době na starosti firma OKIN s.r.o. Výjimkou je pouze záruční a pozáruční servis strojů, který realizuje firma TEXIMP. [1]

1.2 Technická diagnostika ve firmě ČZUB

Technická diagnostika je hlavním nástrojem kontrolně inspekční a revizní činnosti. Rozhoduje o nutnosti a rozsahu prováděných oprav a patří k nástrojům a prostředkům autonomní údržby, posuzujících dodržování zásad správného provozu. V praxi to znamená, že zjišťuje technický stav zařízení a jeho opotřebení a poté následky opotřebení odstraňuje zcela nebo se alespoň snaží o snížení rychlosti postupujícího opotřebení.

V České zbrojovce se postupnou výměnou strojního parku z konvenčních strojů na moderní obráběcí CNC centra začala uplatňovat preventivní údržba. Ta využívá následující metody technické diagnostiky.

- **Kontrola přesnosti**

Pro kontrolu přesnosti obráběcích zařízení se v podniku využívá přístroj Ballbar QC 10, který provádí měření pomocí analýzy kruhovitosti.

- **Tribodiagnostika**

U obráběcích strojů v podniku ČZUB se sleduje hlavně kvalita a čistota chladicí emulze a pro udržení uvedených vlastností se zavádí její pravidelná filtrace. U velkých olejových náplní se stanovuje v rámci tribodiagnostických zkoušek úroveň kinematičké viskozity, obsah vody, obsah aditiv a obsah mechanických nečistot. Analýzu olejů provádí ve většině případů externí firma, nebo přímo dodavatelé olejů a maziv.

- **Termodiagnostika**

Při této metodě je teplota měřena snímači, které jsou umístěny přímo v motorech vřeten strojů, a je vzápětí vyhodnocována řídicím systémem stroje. Teplotu lze měřit i infračerveným bezdotykovým teploměrem. Firma používá také termokamery (viz Obr. 6), které zjišťují teplotu celého zařízení a můžeme tak pomocí nich zjistit, jak jsou jednotlivé části stroje zahřívány a přetěžovány.



Obr. 6 – Fotografie termokamery v praxi [1]

- **Vibrodiagnostika**

V rámci vibrodiagnostiky se ve firmě provádí měření vibrací pomocí přístroje MicroVibe P CMVL 3850. Přístroj zjišťuje pouze absolutní hodnoty rychlosti, zrychlení a výchylky v RMS nebo PEAK. Měření frekvenčního spektra se v současnosti neprovádí i když to měřicí přístroj umožňuje. Vibrace se měří na vřetenech obráběcích strojů, které jsou vybrány na základě zkušeností získaných během provozu stroje, z hlediska významnosti stroje, jeho ceny, četnosti poruch a dalších okolností. Interval měření vibrací se volí podle stáří stroje, u novějších se tak děje 2krát ročně a u starších 1krát ročně. [1]



Obr. 7 – MicroVibe P CMVL 3850 [3]

2. Charakteristika strojů Chiron MILL

Stroje, na kterých jsem aplikoval diagnostické metody pro získání informací o jejich skutečném technickém stavu, nesou názvy Chiron MILL 1 a Chiron MILL 2. Zaměřil jsem svou pozornost na jejich výkonnostní a technické parametry a stav provozní kapaliny. Jedná se o CNC frézovací centra sloužící k třískovému obrábění polotovarů odlitků, konkrétně pro výrobu závěrů malorážek. Jsou rychlá a univerzální, s otočnou hlavou a otočným vřetenem, což umožňuje kombinaci frézování a soustružení.



Obr. 8 – Chiron MILL MT 800 [14]



Obr. 9 – Ukázka polotovaru vyráběného na stroji [autor]



Obr. 10 – Ukázka dalšího polotovaru vyrobeného na stroji [autor]

U jednoho z vybraných strojů je oprávněný předpoklad porouchaného vřetena. Oba stroje mají stejnou koncepci, lze je proto srovnávat a posuzovat stejným způsobem. Hlavní pohon vřetene je umístěn v jeho ose a přenos kroutícího momentu z motoru na vřeteno je realizován přímo pomocí drážkové hřídele, která zapadá tvarovým stykem do vřetene.



Obr. 11 – Chiron MILL MT 800 [autor]

2.1 Technické parametry

Vertikální obráběcí centra otevírají nové možnosti v dynamice, rychlosti a kvalitě. Mimo jiné se jedná o

- lineární pohony s vektorovým zrychlením 5,2g,
- TORQUE motory v otočném dvouosém stole,
- synchronní vřeteno s kuželem HSK-A 40,
- čas tříska-tříska 1,2s.

Technické údaje:	
Pojezdy v osách X-Y-Z	až 6.000-915-715 mm
Výkon	až 75 kW
Rozsah otáček vřetena	až 20.000 ot/min
Kroutící moment	až 280 Nm
Výměna nástroje tříska	již od 2,9 s
Zrychlení v osách	až 0,5 g
Rychloposuv	až 60 m/min
Frézovací výkon za hodinu	700 cm ³ /min
Počet nástrojových míst	max. 163
Nástrojový kužel	SK 40 / HSK 63
Hmotnost nástroje	až 8,0 kg
Průměr nástroje	až 160 mm
Délka nástroje	až 370 mm

Tab. 1 – Technické parametry stroje Chiron MILL MT [14]

2.2 Používaná maziva a provozní kapaliny

Typy	Druhy	Použití
Tuk	ALVANIA EP0, Lithium (Shell) DIN 51502: KP2K-20 ISO 6743-9: L- XBCEB2	Vodící kladky, axiální ložisko pohonu nápravy
	Arcanol SPEED2,6 (L75) (FAG)	Hlavní ložisko vřetene
Olej	DIN HLP 32 ISO: HM 32	Údržba - vzduch
	ISO VG 46	FMB-Hydraulika a HAWE-Hydraulika ISO - Komponenty pro hydrauliku (Bosch-agregát, ISO-ventily) (Rexroth-komponenty)
Mazací olej	DIN 51517-3-CLP 68	Přímočaré vedení
	ISO 6743/0-L-F 68	Kuličkový šroubový převod

Tab. 2 – Používané maziva a provozní kapaliny ve stroji Chiron MILL [1]

Materiály ve strojích Chiron vyžadují řezné oleje s viskozitou $<10 \text{ mm}^2/\text{s}$ při teplotě 40°C .

Chladicí a mazací kapalina musí vykazovat minimální obsah maziva 5–8 %. To vyžaduje, aby v chladicí a mazací kapalině byly obsaženy minerální oleje. Čistota chladicí a mazací kapaliny musí vykazovat čistotu minimálně $40 \mu\text{m}$ a je třeba brát zřetel i na normální proces stárnutí, kterému chladicí a mazací kapalina při svém použití podléhá.

Pravidelná údržba a kontrola jsou tedy předpoklady pro stálou kvalitu a dlouhou životnost.

Chladicí zařízení stroje pracuje automaticky. Údržba a kontrola filtru zahrnuje pouze kontrolu cívky filtrační tkaniny, kontrolu nádoby na nečistoty a kontrolu čistoty hladinového spínače. Je potřeba pravidelně provádět vizuální kontrolu čistoty hladinového spínače a tento v případě nutnosti očistit, stejně jako odstranit z hladinového spínače

filtrační vany ulpělé nečistoty. Po dlouhodobém použití vyčistit filtrační dno. Zkontrolovat a případně vyprázdnit nádobu na nečistoty. [1]

2.3 Mazací plán

Seznam použitých médií			
Pozice	Mazivo ISO/DIN	Množství	Interval
Hydraulický olej	HLP 46	65 L	1x týdně
Chladicí kapalina	COOL-X	45 L	1x týdně
Chladicí kapalina	BLASOCUT BC 935	500 L	1x denně
Olejevý filtr	HP800L10-100W	2 ks	při čistění
Filtrační papír	VISCOSA 40 700mm x 100m	1 ks	
Vzduchový filtr	G4 pr. 100mm	1 ks	1x měsíčně
	G4 pr. 150mm	1 ks	

Tab. 3 – Použitá média [1]

Činnost	Popis	Množství	Interval
Výměna olejů	HLP 46	65 L	dle analýzy
	COOL-X	45 L	1x ročně
Výměna emulze	BLASOCUT BC	500 L	1x ročně
Kontrola pH	pH metr	7 - 9	1x měsíčně
Kontrola emulze	Refraktometr	5 - 13%	1xdenně
Čištění stroje	Nádrž, dopravník		2x ročně
Analýza			2x ročně

Tab. 4 – Údržba - mazací plán [1]

3. Technická diagnostika a její metody

Technická diagnostika má za úkol sledovat a následně vyhodnotit stav stroje za jeho provozu. Existuje řada metod technické diagnostiky a většina postupů je definována podle normy ČSN ISO. V praxi se zpravidla nasazuje více metod technické diagnostiky současně, což umožňuje hodnotit stav stroje z více hledisek. Použití více metod současně se nazývá Multiparametrická diagnostika. Podle typu zkoumaných parametrů se technická diagnostika dělí na řadu metod.

Provozní diagnostika

Využívají se zde všechny získatelné provozní parametry, jež nám pomáhají určit skutečný stav stroje za provozu. Této problematice se věnuje norma ČSN *ISO 17369 Monitorování stavu a diagnostika strojů – Obecné pokyny*. Norma nám napovídá, jaké jsou souvislosti mezi provozními parametry a závadami na zařízení. U jednoduchých strojů se pravidelně zapisují provozní parametry a u drahých a složitých zařízení se využívají online systémy s databázemi, které následně zpracovávají softwary určené pro analýzu dat.

Tribodiagnostika

- a) Tribodiagnostické metody využívají maziva ke sledování stavu opotřebení strojního zařízení.

Pro určení opotřebení strojního zařízení se stanovují koncentrace otěrových částic a tyto se dále hodnotí podle velikosti a tvaru.

- b) Tribodiagnostické metody sledují kvalitu a degradaci samotného maziva.

Jde o hodnocení fyzikálně chemických parametrů maziva, jelikož se časem zhoršují jejich mazací vlastnosti a dochází k degradaci.

Vibrodiagnostika

Využívá jako diagnostický parametr vibrace. Jejich měřením získává informace o skutečném technickém stavu stroje, a to převážně u rotujících částí stroje. Vychází ze skutečnosti, že každý vibrační signál je nositelem informace o příčině vzniku daných vibrací.

Akustická diagnostika

Zkoumá příčiny vzniku hluku, cesty jeho šíření a následky jeho působení. Označuje se taky jako vibroakustická diagnostika. Využívá souvislosti a spojitosti vzniklého hluku s poruchou nebo závadou chodu stroje.

Termodiagnostika

Stav sledovaného objektu je diagnostikován pomocí parametru teploty. Používá se tam, kde dochází vlivem vznikající poruchy stroje ke zvýšení pasivních ztrát, snížení účinnosti a vytvoření nového tepelného zdroje. Měří se lokální i integrální teplota vzniklého zdroje a to buď v ustálené nebo časově proměnné formě.

Elektrodiagnostika

Sleduje jevy v elektrických strojích a sítích. Zjišťuje příslušné elektrické veličiny a jejich vyhodnocením identifikuje závady elektrických zařízení. [4]

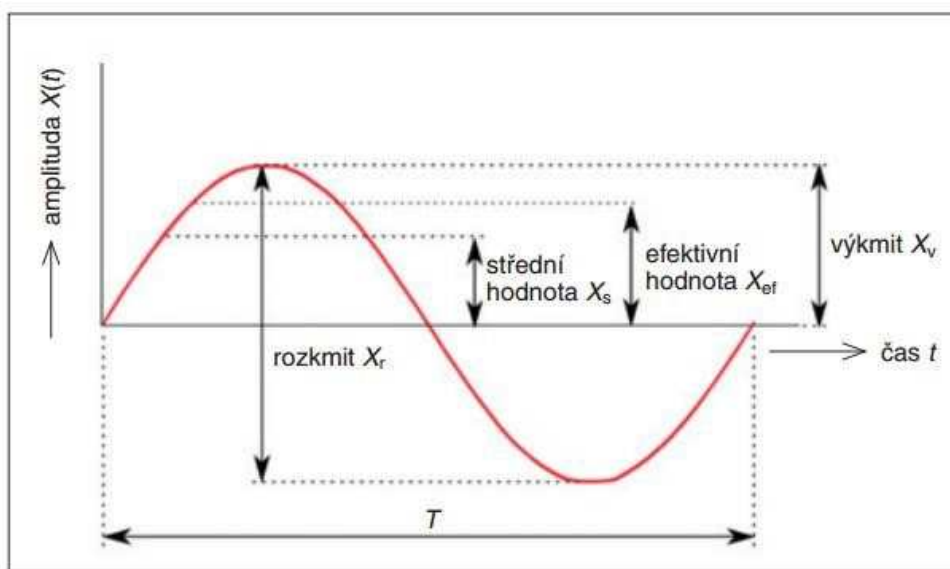
4. Zvolené metody pro určení stavu stroje Chiron MILL

4.1 Vibrodiagnostika

Je jednou z hlavních metod bezdemontážní diagnostiky. Pro zjištění stavu stroje využívá diagnostického parametru vibrace a to bez přerušení chodu stroje. Vibrace jsou způsobeny dynamickým namáháním a jejich proměřováním lze jednotlivé části stroje diagnostikovat. Poté je možné navrhnout účinná opatření a předejít tak haváriím stroje. Zabrání se tak neplánovaným odstávkám, zlepšit se spolehlivost stroje a zefektivní se výroba.

4.1.1 Základní sledované veličiny kmitání

Hlavní parametry vibrací, které se sledují, jsou výchylka, rychlost a zrychlení. Pro jejich vyhodnocení používáme frekvenční spektrum, pomocí kterého můžeme odhalit vznikající poruchu. Nejzákladnější měřenou veličinou je kmitočet f [Hz], který je definován jako počet plných cyklů kmitavého pohybu (T) za sekundu. Dále se měří hodnota rozkmitu vlny X_r (Peak-Peak), amplituda kmitu X_v (Peak), střední hodnota X_s (Average) a efektivní hodnota X_{ef} (RMS). [6]

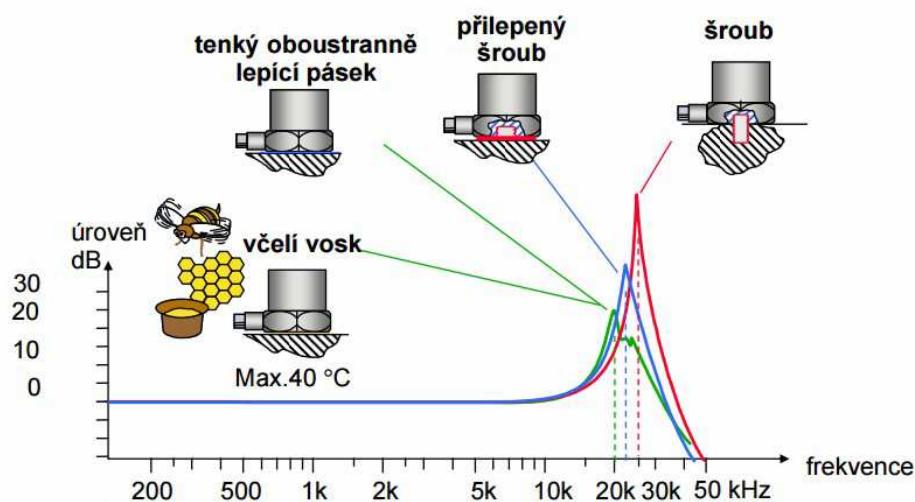


Obr. 12 – Veličiny časového průběhu kmitavého pohybu [6]

4.1.2 Snímače vibrací

Pro získání přesných výsledků měření se používá velké množství druhů snímačů. Podle typu snímané veličiny se dělí na akcelerometry (zrychlení), velometry (rychlosti) a snímače výchylky. Dále se liší v rozsahu měřené frekvence, přesností, cenou a dalšími technickými parametry.

Při měření připevňujeme snímače ve 3 směrech: horizontální, vertikální, axiální. Volíme pro snímače vhodná místa, aby jsme dosáhli správných výsledků. Před upevněním snímače si očistíme povrch a snažíme se snímač umístit pokud možno co nejbližší k místu vibrací. Způsob upevnění snímače je velmi důležitý pro přesné měření, neboť má vliv na jeho frekvenční rozsah. Na Obr.13 můžeme vidět vliv připevnění snímače na frekvenční rozsah snímače.



Obr. 13 – Vliv způsobu uchycení snímače na frekvenční rozsah [7]

Použití závrtných šroubů se ukazuje jako nejlepší způsob upevnění snímače na stroj. Přidání tenké silikonové vrstvy mezi styčné plochy tento způsob ještě vylepší. Volba správného upevnění snímače se řídí dle normy ČSN ISO 5348. V Tab. 5 jsou vypsány metody připevnění snímače a vliv na výkonnost snímače. [6], [9]

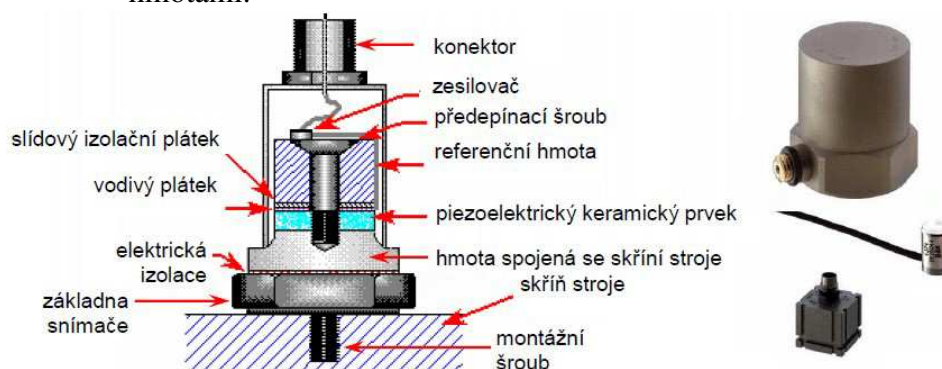
Metoda připevnění	Vliv na výkonnost snímače (např. snímače s rezonancí 30 kHz)
Pevný šroubový spoj	Žádné snížení rezonanční frekvence akcelerometru v důsledku připevnění
Izolovaný šroubový spoj	Pokud je pro zabránění vzniku zemních smyček a jiných vlivů použit tuhý nevodivý materiál, jako je podložka ze slídy, montážní rezonanční frekvence je mírně snížena asi na 28 kHz.
Přilepení tuhým lepidlem	Rezonance je snížena asi na 28 kHz
Přilepení měkkým epoxidem	Rezonance je snížena asi na 8 kHz
Připevnění permanentním magnetem	Rezonance je snížena asi na 7 kHz
Ruční sonda se snímačem	Rezonance je snížena asi na 2 kHz, ale tato metoda není doporučena pro měření nad 1kHz.

Tab. 5 – Vliv připevnění na snímače vibrací [9]

- **Akcelerometry**

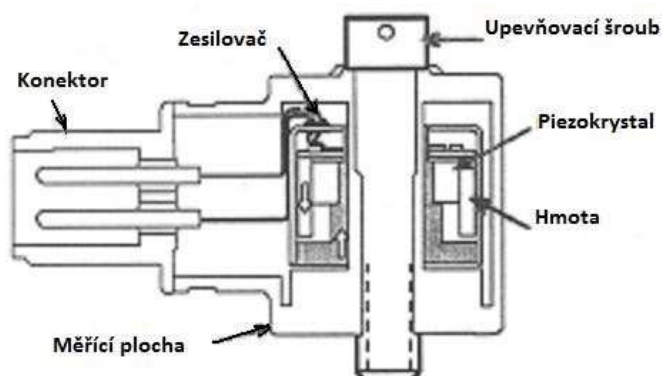
Nejvíce používané snímače jsou akcelerometry, protože jsou jednoduché a levné. Naměřený parametr zrychlení se podle potřeby převádí na výchylku nebo na rychlost vibrací. Jsou v podstatě tvořeny piezoelektrickým krystalem, v němž vzniká elektrický náboj. Existují dva druhy akcelerometrů. Podle způsobu zatížení piezoelektrického členu seismickou hmotou se dělí na:

- Snímače s tlakovým zatížením – piezoelektrický člen je stlačován seismickou hmotou v ose snímače nebo je umístěn mezi dvěma hmotami.



Obr. 14 – Akcelerometr s tlakovým zatížením [8]

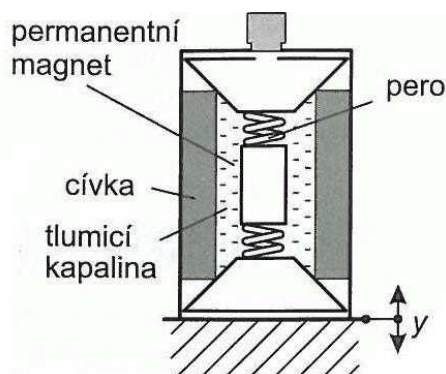
- Snímače se smykovým zatížením – jsou řešeny smykovým namáháním piezokrystalu.



Obr. 15 – Akcelerometr se smykovým zatížením [9]

- **Velometry**

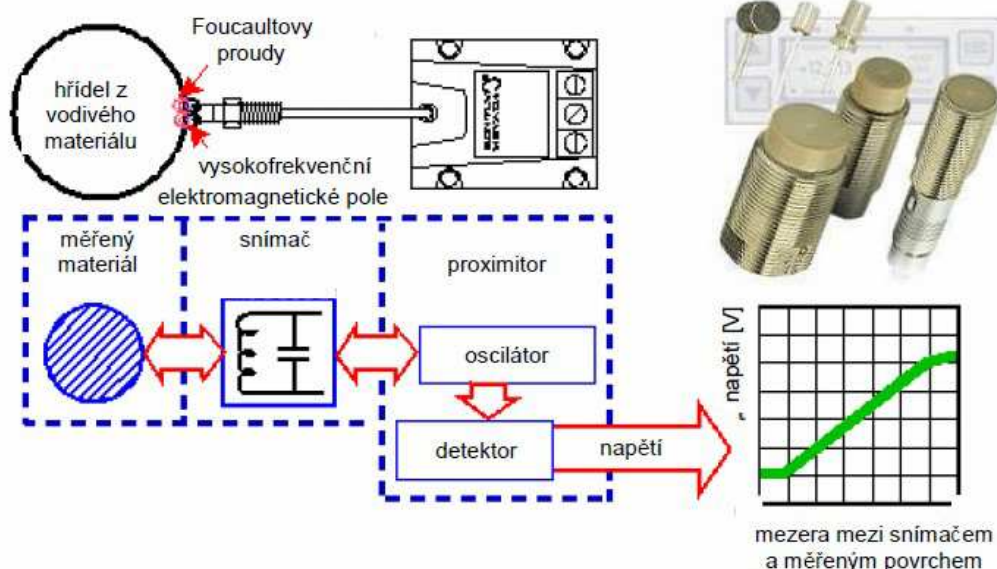
Měřeným parametrem je rychlost vibrací, z které se po integraci získá výchylka vibrací. Snímač je založen na principu generování napětí průchodem cívky mezi póly permanentního magnetu. Tyto snímače se proto nazývají generátorové.



Obr. 16 – Snímač rychlosti [8]

- **Snímače výchylky**

Princip snímače je založený na snímání vířivých proudů. Ve snímači je cívka, kterou prochází vysokofrekvenční střídavý proud a ten generuje vysokofrekvenční magnetické pole. Po vložení vodivých materiálů do magnetického pole se v nich generují střídavé proudy a ty odebírají energii z vysokofrekvenčního magnetického pole. Nejčastěji se používají bezdotykové sondy, které se mnohdy montují na stroje jako trvalé a jejich výstupem je relativní výchylka mezi nerotujícím a rotujícím členem stroje. [9], [10]



Obr. 17 – Schéma snímače pro měření výchylky vibrací [8]

4.1.3 Základní metody vibrodiagnostiky

Základní signál se ve vibrodiagnostice může zpracovávat mnoha různými způsoby. Zcela jednoznačně se dává přednost kombinaci metod před volbou jedné metody.

Informace o stavu zařízení je pak jeví ucelenější a spolehlivější.

- **Frekvenční analýza**

Frekvenční analýza rozkládá kmity daného objektu na jednotlivé frekvenční díly podle frekvence. Zkoumá příčiny kmitání podle charakteru kmitočtu.

- **Frekvenční analýza pomocí FFT**

Je hlavní a nejběžnější analytická metoda, která z průběhu vibračního signálu vyhledává periodické děje, které se poté v daném souřadném systému znázorní. Pokud je souřadný systém zobrazen tak, že osa y znázorňuje amplitudu a osa x frekvenci, jedná se o frekvenční spektrum. Jestliže na osu x vynásíme čas a na osu y amplitudu, jedná se o časový průběh. Rychlá Fourierova transformace je nejrozšířenější metoda stanovení frekvenčního spektra, protože je přesná, rychlá a lehce se nastaví parametry. Výsledek analýzy signálu lze zobrazit různými formami. Kromě zobrazení v časové a frekvenční oblasti, je možné frekvenční spektra překrývat, zobrazovat je v kaskádách apod.

- **Celková mohutnost vibrací (trendování vibrací)**

Většina poruch se v čase zhoršuje a tuto tendenci je možné zachytit graficky. Časový průběh pozvolného zhoršování poruchy vyjadřuje vanová křivka a lze ji definovat jako časový průběh hladiny vibrací za dobu technického života dané části stroje. Měření se obvykle volí na důležitém místě stroje. Pomocí vanové křivky je možné predikovat zbytkovou životnost stroje a včas provést jeho opravy.

- **Kepstrální analýza**

Je metodou, která zpracovává periodické děje ve frekvenčním spektru. Kepstrum je frekvenční analýzou frekvenčního spektra a znázorňuje periodické jevy ve frekvenční oblasti modulace postranního pásma. Užívá se v případech, kdy frekvenční spektrum má několik nosných frekvencí a na ně jsou modulována boční pásma. Metoda je vhodná u vibrační diagnostiky převodovek, hlavně u ozubení, pro identifikaci amplitudové a frekvenční modulace. Pomocí této metody se dají zjistit boční opotřebením zubů nebo i celé vylomené zuby.

- **Orbitální analýza**

Dva na sebe kolmé bezdotykové radiální snímače výchylky vytváří orbitu pomocí dynamické (kinematické) složky vibrací. Ty se zobrazují v soustavě kartézských souřadnic. Vibrace zobrazené ve formě orbity jsou grafickým znázorněním pohybu středu hřídele za jednu a více otáček okolo statické polohy středu hřídele. Pomocí tvaru orbity lze vyvodit směr působení sil v ložisku. Při výskytu nesouososti se standardní tvar orbity zplošťuje a mění až na banánový tvar, někdy orbita získává i tvar "osmičky". Dále má využití orbita v diagnostice ložiskových vůlí, nestabilitě rotoru v kluzných ložiskách, trhlinách rotoru a dalších poruchách.

- **Modální analýza**

Zkoumá chování modelu, který má podobné vlastnosti, jako měřený objekt, který je vybuzen rázovými impulzy. K tomu se používají speciální rázová kladívka nebo elektrodynamické budiče. Modální analýza používá rozkladu složitějšího kmitavého procesu na dílčí, neboli modální (vlastní) příspěvky. Všechny příspěvky jsou popisovány modálními frekvencemi a modálním tvarem kmitu. Rozklad je založen na náhradě soustavy vzájemně vázaných diferenciálních rovnic charakterizujících kmitavé chování testované konstrukce soustavou nezávislých řešitelných diferenciálních rovnic cestou tzv. modální transformace.

Používá se ke zjištění vlastních frekvencí soustavy, tlumení na těchto vlastních frekvencích, provozní tvary kmitu neboli simulace kmitání objektu v daném frekvenčním rozsahu a k idealizování tvaru soustavy (změnou tvaru nebo přidáním jiných prvků). [9], [10], [11]

4.1.4 Měření stavu valivých ložisek

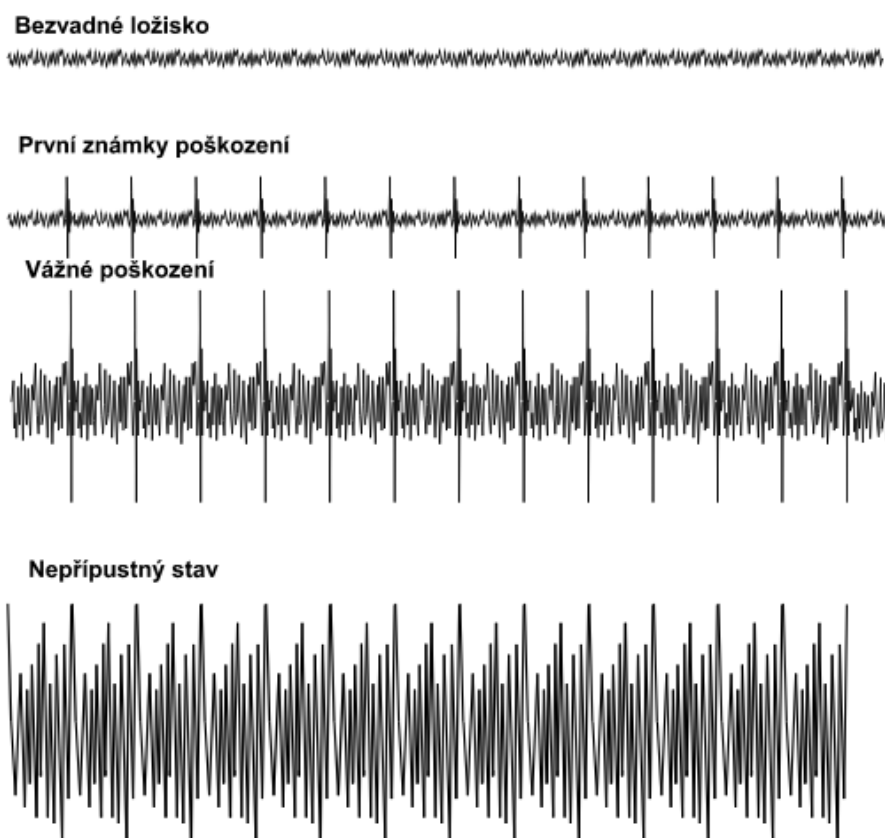
Vibrodiagnostika zahrnuje celou řadu speciálních metod pro měření technického stavu valivých ložisek. Pozornost valivým ložiskům je zcela oprávněná, protože se jedná o podstatnou část zařízení a jejich poškození může způsobit velké škody na celém stroji. Funkce valivých ložisek má opakující se charakter a vytvořený vibrační signál je s menší amplitudou a vyšší frekvencí, než vibrační signál buzený otáčkovou frekvencí. Pomocí odfiltrování otáčkové frekvence a zvýšením opakujících se složek signálů od závady valivého ložiska získáme čitelnější výsledky měření. Pro určení poškození ložiska je třeba znát frekvence rázového buzení vnitřního kroužku, vnějšího kroužku, valivého segmentu a klece. Používá se celá řada metod a všechny jsou založeny na poznatku, že při odvalování poškozené části ložiska dochází ke zvýšení úrovně vibrací na frekvenci, která je charakteristická pro frekvenci nárazů. Rozlišují se frekvence harmonické a rezonanční.

- **SEE (Spectral Emitted Energy)**

Metoda se používá na odhalení závad v počátečním stádiu u ložisek a převodů ozubených kol. Používají se speciální snímače akustické emise, které v sobě spojují širokopásmový piezoelektrický akcelerometr s SEE snímačem. Zachycují ultrazvukovou akustickou emisi vyvolanou poškozením ložiska. Frekvence akustické emise se vyskytují v intervalu 150 – 500 kHz. Pro přesnou analýzu se používá trendování hodnot a obálková metoda. [9]

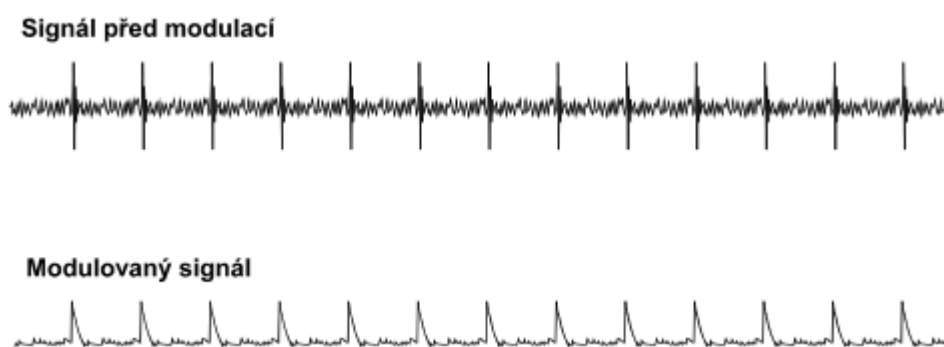
- **Obálková metoda (Envelop)**

Obálková analýza ve spojení s FFT analýzou detekuje závadu ložiska a dokáže i určit, jaká jeho část je poškozená. Aplikované metody dovolují vypočítat frekvence, při kterých se projevuje vnější a vnitřní kroužek, valivé elementy a klec ložiska. Principem je zachycení rázových impulzů vznikajících při narušení dráhy, na které se odvalují valivé elementy přes závady na ložisku. Následující Obr.18 zachycuje vývoj závady na ložisku.



Obr. 18 – Názorná ukázka vývoje poruchy ložiska [13]

Úpravou vstupního signálu pomocí vysokofrekvenčního filtru a obávkového detektoru se připraví signál pro použití FFT analýzy a určení poruchové frekvence. [13]



Obr. 19 – Modulace signálu při použití obávkové metody [13]

- **Vysokofrekvenční detekce (HFD – High Frequency Detection)**

Vychází z poznatku, že na počátku poškození narůstá energie vibrací ve vyšších frekvencích. Emitovaná vysokofrekvenční energie je zpracována do efektivní hodnoty a vyjádřena v jednotce g. Parametr g_{RMS} dokáže detekovat i nedostatečné mazání a přítomnost nečistot v mazivu. [13]

- **SPM (Shock Pulse Meter)**

Metoda SPM zpracovává signál krátkodobých tlakových vln, které jsou vyvolány mechanickými rázy vyskytujícími se u valivých těles a ložiskových drah nebo taky u ozubených kol. Metoda je založena na zkoumání dvou různých dějů, které jsou vyvolané stykem kovu na kov. Nejprve vzniká rázová vlna s velkou frekvencí a malou amplitudou. Hodnota frekvence se pohybuje kolem 36 kHz a výchylka je závislá na rychlosti nárazu. Po rázové vlně přichází vibrační fáze, kdy se jednotlivé struktury povrchu kovu vychylují a stlačují. Celý proces se opakuje v několika cyklech, až se ustálí ve své původní poloze.

Frekvence vibrací závisí na tvaru, tuhosti a hmotnosti materiálů a k jejímu měření se používají speciální akcelerometry nazývané *tandem piezo akcelerometry*. K jejich výhodám patří zejména nízká citlivost na krátkodobé změny teploty a nízký práh napěťové citlivosti. Během měření jde o kombinaci výchylky hustoty rázů kov na kov a je nutné si uvědomit, že se nemění pouze s poškozením ložiska, ale jsou závislé i na vnitřním průměru ložiska a otáčkách. Z tohoto důvodu je třeba při měření zadávat průměr ložiska a připojit snímač otáček. [12]

- **BCU (Bearing Condition Unit)**

Jde o nepřímé měření rázových impulzů díky obsahu energie akustických kmitů v kmitočtové oblasti 20 - 40 kHz, které se šíří v pevném materiálu. V naměřeném signálu se vyhodnocují špičkové hodnoty. [9]

- **RBP (Related Bearing Produkt)**

U této metody se hodnotí efektivní a špičkové hodnoty zrychlení v oblasti kmitočtů 2–16 kHz. [9]

- **Crest faktor**

Počítá se jako poměr naměřené špičkové hodnoty k efektivní hodnotě vibrací, tedy PEAK/RMS. Je nutné použít trendování a porovnávat měření s předchozími naměřenými hodnotami. Zhoršující se technický stav se projeví v trendu, jako nárůst četnosti rázů i jejich výkmitu. Používá se jenom jako doplňková metoda, neboť není příliš přesná pro stanovení stupně poškození, ale je velmi rychlá a levná. [13]

- **Q faktor**

Vyhodnocuje se poměrem mezi střední a špičkovou hodnotou amplitudy emitovaného ultrazvukového signálu na frekvenci kolem 40 kHz.

- **K(t) parametr**

Metoda K(t) je založena na podobném principu jako metoda Crest faktor. Hodnota se

určí ze vztahu:

$$K(t) = \frac{a_{ef(0)} \cdot a_{peak(0)}}{a_{ef(t)} \cdot a_{peak(t)}}$$

$a_{ef(0)}$ = počáteční efektivní hodnota zrychlení po montáži ložiska

(není-li známa = $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)

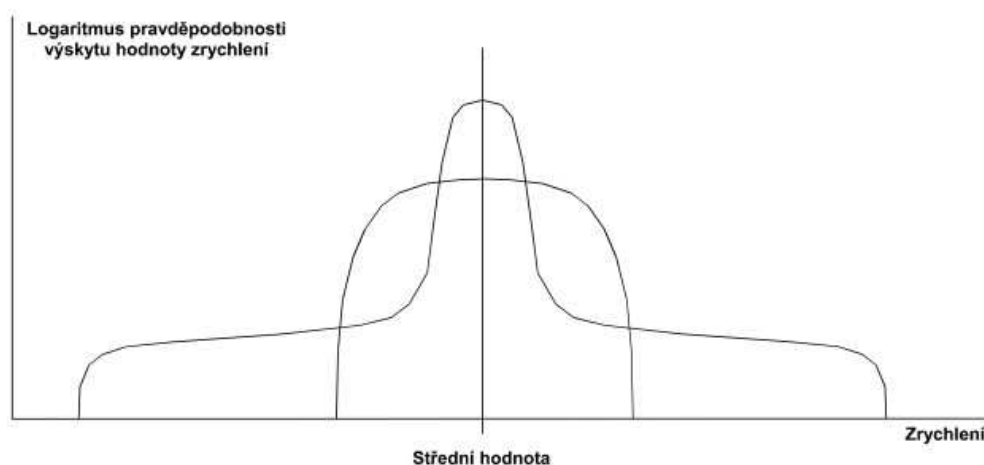
$a_{peak(0)}$ = počáteční rozkmit zrychlení po montáži ložiska (není-li = $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)

$a_{ef(t)}$ = efektivní hodnota zrychlení v čase t od zahájení provozu ložiska

$a_{peak(t)}$ = rozkmit zrychlení zjištěný v čase t od zahájení provozu ložiska [9]

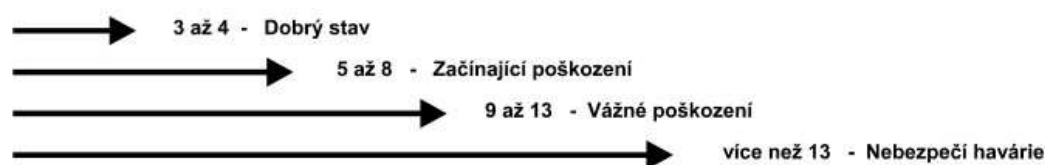
- **Kurtosis**

Je statistickou metodou diagnostiky, při níž se předpokládá u náhodného signálu normální Gaussovo rozdělení. Zda je tento předpoklad správný se určuje pomocí parametrů křivky, tj. špičatosti a šikmosti. Za důležitější je pokládán parametr špičatosti, při jehož růstu se usuzuje na růst poškození ložiska.



Obr. 20 – Srovnání rozdělení signálu pro dobré a poškozené ložisko [13]

Ložiska bez závad jsou v rozsahu $3 \div 4$ jednotek Krustosis faktoru. Po překonání uvedených hodnot Krustosis faktoru se začínají projevovat známky počátečního poškození ložiska. [13]



Obr. 21 – Hodnoty Kurtosis faktoru a odpovídající stav ložiska [13]

4.2 Tribodiagnostika

Využívá maziva pro získání informací o degradaci samotného maziva a určení stavu opotřebování strojního zařízení. Dalším cílem je stanovit doby pro výměnu jednotlivých maziv. Tribodiagnostika patří mezi metody technické bezdemontážní diagnostiky a je efektivním a objektivním prostředkem pro sledování dějů opotřebení v systémech strojů. Cílem je zjistit a v pravou chvíli upozornit na možnost závady na zařízení a tím zabránit neplánovaným výpadkům strojů. Tuto údržbu můžeme zařadit do prediktivní údržby, jejíž základem je tribodiagnostika, říkáme jí tzv. tribologická péče. Při hodnocení fyzikálně chemických parametrů mazacího oleje dochází ke změnám jednotlivých parametrů olejů. V průběhu provozování zařízení, dávají obraz o aktuálním stavu olejové náplně a napovídají o možnostech dalšího provozu zařízení.

Princip je založený na tom, že při práci stroje se uvolňují částice kovů, postupně se vyplavují a objevují se v oběhu mazací soustavy. Při zvyšujícím opotřebení stroje přibývá uvolněných částic a narůstá příměsí v oleji. Sledováním trendu naměřených hodnot dostáváme obraz o změně příměsí. Tak můžeme detekovat vznikající závadu na stroji a navíc někdy získat i informaci o umístění poruchy.

Stárnutí oleje je běžný jev a vzniká v následku reakce se vzdušným kyslíkem. Degradace oleje je ovlivněna chemickým složením maziva a teplotou, neboť ta je aktivačním faktorem při oxidačních reakcích. Navíc taky závisí na přítomnosti látek, které tuto oxidační reakci zrychlují nebo zpomalují. Degradaci proto hodnotíme pomocí analýzy olejů v laboratoři a tak zjistíme jejich fyzikálně chemické parametry. [15], [16]

4.2.1 Rozdělení metod tribodiagnostiky

a) Metody pro zjištění technického stavu sledovaného objektu (stavu opotřebení strojních zařízení)

- Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů:
 - atomová spektrofotometrie
 - atomová emisní spektrofotometrie
 - atomová absorpční spektrofotometrie
 - polarografie a voltmetrie
 - metoda RAMO
- Metody pro hodnocení morfologie a distribučního rozdělení částic kovů:
 - částicová analýza = ferografie s vyhodnocením:
 - feroskopickým (morfologie a chemické složení)
 - ferodenzimetrickým (distribuce podle velikosti)

b) Metody pro sledování degradace maziva (standardní metody)

Jde o hodnocení fyzikálně chemických parametrů maziva. Z tohoto hlediska rozdělujeme oleje na motorové a průmyslové.

- Testy:
 - Kinematická viskozita
 - Bod vzplanutí
 - Obsah vody
 - Číslo celkové kyselosti (TAN) a alkality (TBN)
 - Conradsonův karbonizační zbytek
 - Kapková zkouška
 - Celkové znečištění
 - Mechanické nečistoty
- Spektrální analýze olejů.

5. Rozbor olejové náplně

V této kapitole se budu zabývat analýzou olejů a posouzením jejich stavu. Provedl jsem odběr hydraulického oleje ve dvou termínech včetně referenčního vzorku pro srovnání. Půjde o posouzení stavu znečištění olejů odebraných ze stroje Chiron MILL1 a Chiron MILL 2.

Cílem bude zjistit kvalitu samotného maziva a z výsledků testu posoudit technický stav sledovaných strojů. Budu zjišťovat, vyhodnocovat a analyzovat výskyt cizích látek v mazivu z hlediska kvantitativního a kvalitativního.

Fyzikálně chemické parametry maziva chci zjišťovat testy na kinematickou viskozitu, obsah vody, číslo celkové kyselosti, mechanické nečistoty, kód čistoty. Dále použiji spektrální analýzu a pomocí rentgenu určím většinu prvků v mazivu.

5.1 Odběr vzorku

Hlavní zásada pro odběr vzorku je, že odebraný vzorek musí představovat průměrné složení maziva ve stroji. Vzorek odebírá jedna osoba ze stroje, který je minimálně 20 minut v provozu z důvodu, aby byl olej dokonale promíchaný a ohřátý na provozní teplotu.

Nejprve odпустíme přibližně 500ml oleje do čisté vzorkovnice a nalijeme ho zpět do zařízení, aby se propláchlo odběrné zařízení. Poté provedeme odběr přibližně 200÷250 ml oleje do čistých vzorkovnic o objemu 300ml. Odebíráme olej přímo z nádrže na olej ručně, nebo pro bezkontaktní odběr použijeme vakuové pumpy.

Odebraný vzorek je důležité označit, takové označení musí obsahovat:

- číslo a název stroje,
- mazané místo,
- druh maziva,
- datum odběru,
- kdo odebral,
- označení požadovaných rozborů.

Odebraný vzorek a řádně označený můžeme předat na analýzu oleje. [17], [19]

Z obou strojů Chiron MILL jsem odebral vzorek hydraulického oleje za přesně definovaných podmínek, jak jsme uvedl výše. Olej jsem odebíral z nádrže pomocí pumpičky do vzorkovnic v množství 200 – 250ml. Odběry vzorků hydraulického oleje jsem provedl ve dnech 11.11.2016 a 7.4.2017. Byl odebrán taky referenční vzorek nového oleje přímo z kanystru. Následně jsem odebrané vzorky řádně označil a později v tribodiagnostické laboratoři je podrobil rozboru.

Po provedení analýzy olejů, jsem se na základě výsledků rozhodl provést také odběr chladicí kapaliny a plastického maziva. Jelikož u plastického maziva se používá ztrátové mazání a nešlo by odebrat přímo ze stroje, tak jsem udělal odběr jen referenčního vzorku.



Obr. 22 – Ukázka oděru vzorku do vzorkovnice pomocí vakuové pumpy [autor]

5.2 Analýza olejů v laboratoři

Kinematická viskozita

Viskozita je fyzikální veličina charakterizující vnitřní tření a závisí hlavně na přitažlivých silách mezi částicemi. Pro mazací oleje je to rozhodující zkušební údaj, podle něho mazací oleje třídíme a závisí na něm i jejich výběr. U průmyslových olejů je typická závislost viskozity na teplotě, při změně teploty o 1°C se změní viskozita až o 5%.

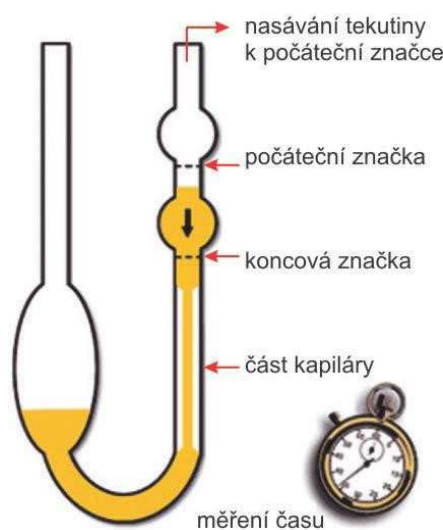
Pokles viskozity je vyvolán tepelnou a mechanickou degradací aditiv nebo záměnou olejů. U motorových olejů dochází k vniknutí paliva do mazacího systému. Nízká viskozita se projevuje mezním až suchým třením, následuje poté opotřebení, a hrozí pak i zadření třecích ploch.

Zvyšování viskozity je vyvoláno produkty částečné oxidace oleje, vytváření emulze s vodou, nebo znečištěním kondenzačními produkty. Zvyšuje se koeficient tření a dochází ke ztrátě energie.

Metody pro stanovení kinematické viskozity:

- použití kapilárních viskozimetrů (dle ČSN 65 6216);
 - měří se čas průtoku oleje skleněným viskozimetrem,
 - kinematická viskozita se dopočítá pomocí vztahu: $\nu = c \cdot \tau$, kde
 - c je daná konstanta viskozimetru [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$] a
 - τ aritmetický průměr doby průtoku viskozimetru [s].

- průtokové viskozimetry
- viskozimetr s padající kuličkou
- rotační viskozimetr [17]



Obr. 23 – Měření viskozity Ubbelohdeho viskozimetrem [19]

Zkoušku kinematické viskozity jsem vykonal pomocí kapilárních viskozimetrů typu Ubbelohde při teplotě 40°C (Obr. 24). Skleněným viskozimetrem jsem změřil čas průtoku a následně použil vztah pro výpočet kinematické viskozity.

Ukázkový výpočet kinematické viskozity u vzorku č. 1:

$$\nu = c \cdot \tau = 0,0998 \cdot 410 = 40,918 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

, kde $c = 0,0998 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$, $\tau = 410\text{s}$



Obr. 24 – Zkouška kinematické viskozity [autor]

Obsah vody

Výskyt vody nebo jen vlhkosti v mazacím oleji je nežádoucím prvkem a zhoršuje kvalitu maziva. Běžně se v oleji povoluje maximálně 0,2% hmotnostního obsahu vody. Voda v oleji způsobuje korozi součástí, vypadávání aditivů, pění, podporuje tvorbu emulzí a kalů, zvyšuje viskozitu a naopak snižuje oxidační stabilitu.

Metody pro stanovení obsahu vody:

a) kvalitativní,

- vizuální posouzení
 - dokonale protřepaný vzorek se vizuálně posoudí; pokud je obsažena voda, dochází k zakalení, olej bez vody je čirý,
- prskací zkouška (ČSN 65 6231)
 - nepatrné množství oleje (2÷3 kapky) se nakape na plochu zahřátou na 180°C,
 - není-li obsažena voda povrch skvrny je stejnorodý (bez bublin),
 - obsah vody 0,02% prozrazují mikrobublinky s vířivým pohybem,
 - obsah vody 0,1% charakterizují drobné bublinky 0,5mm po dobu 1÷2s.,
 - obsah vody 0,2% indikují drobné bublinky velikosti 1mm po dobu 3s..

b) kvantitativní,

- Coulometrická metoda (ČSN 65 0330),
 - průchodem proudu se v titrační nádobce uvolňuje jód,
 - mol jódu zaujme 1 mol vody,
 - mg vody je ekvivalentní náboji 10,71 A.s,
 - vodu v nádobce indikuje koncentrace nadbytečného jódu.
- destilační (ČSN 65 6062),
 - využívá se destilace s rozpouštědlem, např. s xylenem,
 - méně přesná ve srovnání s coulometrickou metodou,
 - vhodná pro kvantitativní stanovení množství vody od 0,02%. [17]

Pro stanovení obsahu vody jsem zvolil Coulometrickou metodu (Obr. 25). Olej jsem odebral injekční stříkačkou a určil jeho hmotnost. Dále jsem vzorek (cca 5 ml oleje) vpravil do nádobky, kde se po reakci veškeré vody s generovaným jódem určil přebytečný jód. Znovu jsem zvažil injekční stříkačku a zjištěný rozdíl hmotnosti vložil do přístroje, který mi určil stopové množství vody v %. Měření jsem opakoval 2x a z výsledků určil aritmetický průměr.



Obr. 25 – Coulometrická metoda [autor]

Číslo celkové kyselosti a alkality

Při stárnutí průmyslových olejů je jediným ukazatelem číslo kyselosti a proto je jeho stanovení věnována patřičná pozornost. Se zvýšenou kyselostí oleje se zvyšuje korozivnost oleje, který pak kvůli nesprávné viskozitě nedostatečně plní mazací funkci.

Číslo celkové alkality - TBN (Total Base Number)

TBN je množství kyseliny chloristé, vyjádřené počtem mg hydroxidu draselného, které je potřeba k neutralizaci veškerých zásaditých složek obsažených v 1g vzorku oleje.

Číslo celkové kyselosti - TAN (Total Acid Number)

Udává množství KOH (hydroxid draselný) v mg potřebné na neutralizaci veškerých kyselých složek obsažených v 1 gramu analyzovaného vzorku oleje.

Metody pro stanovení čísla kyselosti:

- metoda titrace na barevný indikátor ČSN ISO 6618 (ČSN 65 6070)
 - titrace kyselých sloučenin testovaného vzorku alkoholickým roztokem KOH na barevný indikátor,
- přibližná metoda (rychlometoda)
 - neutralizuje kyselé složky hydroxidem alkalického kovu,
 - určí, zda číslo kyselosti oleje přesáhlo dovolenou hodnotu,
 - smíchá se 5ml oleje a 5 ml zkušební roztoku, důkladně protřepe a 15 minut nechá v klidu,
 - po uplynutí uvedené doby se sleduje zabarvení horní vrstvy; je-li barva modrá, kyselost splňuje normu, zelené zabarvení znamená rovnost se zvolenou hodnotou kyselosti, žlutá barva indikuje zvýšenou kyselost. [17]

Číslo celkové kyselosti jsem určil pomocí metody titrace na barevný indikátor, (Obr. 26). Pomocí injekční stříkačky jsem odebral malé množství oleje, toto množství zvážil a vpravil ze vzorku jen 0,1g do alkoholického roztoku KOH. Dále jsem vzorek opět zvážil a zjištěný rozdíl váhy vložil do programu Dirm Measure. Měření jsem opakovl 3krát a z výsledků vypočítal aritmetický průměr.



Obr. 26 – Určení čísla kyselosti za pomoci metody titrace na barevný indikátor[autor]

Celkové znečištění

Určení hodnoty znečištění se řadí ke smluvním zkouškám a jeho vyjádření závisí na principu používané metody. Jako zdroje výskytu nečistot v hydraulické kapalině se uvádí:

- a) nečistoty primární – nečistoty nádrže, potrubí, hydraulických prvků; nejčastěji se jedná o otřepy a třísky, prach, písek, okuje ze sváření, barvy, apod;
- b) nečistoty z okolí – nečistoty vniklé do soustavy po povrchu pístnice nebo netěsným otvorem nádrže, to jsou např.: písek, prach, mikroorganismy;
- c) nečistoty vzniklé z obvodu – nečistoty vzniklé cirkulací hydraulické kapaliny nebo provozem jednotlivých prvků stroje, nejčastěji se jedná o produkt koroze, eroze, opotřebení;
- d) nečistoty vzniklé z hydraulické kapaliny – nečistoty vzniklé samovolným vypadnutím aditivů z oleje (detergenty, disperzanty, protioděrové přísady, antioxidanty a další), polymery v důsledku interakcí mezi aditivy, pryskyřice, apod..

Metody stanovení celkového znečištění:

- kód čistoty (metoda kódování úrovně znečištění pevnými částicemi), podle ČSN ISO 4406 (ČSN 65 6206)
 - počet částic nečistot se stanovuje mikroskopicky nebo automatickým čítačem částic,
 - kódové číslo se určí z tabulky uvedené v normě.
- kód čistoty dle ČSN ISO 4406/87
 - první číslo je počet částic $\geq 5 \mu\text{m}$ obsažených v 1 ml vzorku,
 - druhé číslo je počet částic $\geq 15 \mu\text{m}$ obsažených v 1 ml vzorku; podle zvoleného způsobu určení počtu částic se přidá buď M (mikroskopicky) nebo AP (automatickým čítačem).
- kód čistoty dle ČSN ISO 4406/99.
 - první číslo je počet částic $\geq 4 \mu\text{m}$ obsažených v 1 ml vzorku,
 - druhé číslo je počet částic $\geq 6 \mu\text{m}$ obsažených v 1 ml vzorku,
 - třetí číslo je počet částic $\geq 14 \mu\text{m}$ obsažených v 1 ml vzorku,
- stanovení obsahu mechanických nečistot na membránovém filtru, podle ČSN 65 6220
 - princip metody spočívá ve filtraci vzorku oleje za pomoci podtlaku přes membránový ultrafiltr, výsledkem je hmotnost mechanických nečistot v mg na 100 ml vzorku. [17]

Zkoušku celkové znečištění jsem prováděl mikroskopicky. Nejprve jsem přes filtr nechal za pomoci podtlaku protéct 25ml vzorku (Obr. 27). Následně jsem pomocí mikroskopu (Obr. 28) určil počet nečistot zachycených na filtru a stanovil kód čistoty.



Obr. 27 – Filtrace oleje za pomoci podtlaku [autor]



Obr. 28 – určení kódu čistoty mikroskopicky [autor]

Spektrální analýza

Jde o optickou nedestruktivní analytickou metodu, která patří do kategorie metod molekulové spektrometrie. Interakce infračerveného záření s molekulami či charakteristickými skupinami molekul způsobuje jejich vybuzení na vyšší vibrační hladiny, díky čemuž se absorbuje záření s určitými hodnotami energie a ve spektru vznikají tzv. vibrační absorpční pásy. Poloha pásů odpovídá charakteristickým skupinám obsaženým ve sloučeninách, říká se jí jednoznačná identifikace. V současné době se používá infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací (FT-IR). Vyznačuje se vysokou citlivostí, o dva řády vyšším průchodem energie a nesrovnatelně vyšším poměrem signálu k šumu. [17]

Zkoušku jsem prováděl pomocí přístroje Impact 910 (Obr. 29). Tenkou vrstvou vzorku oleje jsem nanesl na dno nádobky, které tvoří krystal selenidu zinečnatého (ZnSe). Záření prochází krystalem a proniká do hloubky $1 \div 2 \mu\text{m}$ vzorku. Poté se vstřebá záření vlnových délek odpovídajících molekulárnímu složení vzorku. Odrazů je přibližně 10 až 12 a optické uspořádání zabezpečuje konstantní dráhu paprsku ve vzorku, což je nezbytná podmínka pro kvantitativní využití metody. Přístroj pak vytvořil spektrum, pomocí kterého lze z jednoho vzorku velmi rychle stanovit: obsah oxidačních, nitračních a sulfatačních produktů, úbytek antioxidantů, antikoročních a detergentních přísad, obsah vody a glykolů, pokles bázecké rezervy, obsah paliva, u vznětových motorů také obsah karbonu.



Obr. 29 – Infračervená spektrometrie [autor]

Rentgenová spektrometrie

Jde o metodu, která umožňuje rychlou spektrální analýzu s využitím principů optické emise, rentgenové fluorescence a FTIR spektrometrie pro stanovení chemického složení mnoha typů materiálů. Určuje koncentraci jednotlivých kovů a aditiv, které jsou obsaženy v oleji.

Pro rozbor oleje a určení koncentrace jednotlivých prvků jsem použil Energo Dispersní Rentgenový Fluorescenční (ED XRF) spektrometr SPECTRO XEPOS (Obr. 30).



Obr. 30 –spektrometr SPECTRO XEPOS [autor]

5.3 Vyhodnocení výsledků analýzy olejů

Po provedení rozboru olejové náplně jsem výsledné hodnoty znázornil v (Tab. 7). Při hodnocení naměřených dat jsem zvolil následující meze (Tab. 6) pro analyzované vzorky hydraulického oleje.

Parametr kvality	Rozměr	Požadovaná hodnota		
		minimální	výstraha	maximální
Kinematická viskozita při	mm ² /s	41,4		50,6
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g		1	1,3
Obsah vody	hm. %		0,03	0,05
Mechanické nečistoty	mg/100cm ³		20	50
Kód čistoty	-		18/17/14	19/18/15
Kód čistoty	-		9	10
Prvková analýza ED-XRF			výstraha	maximální
obsah Fe			10	30
obsah Cu	(mg/kg)		15	25
obsah Cr			12,5	20
obsah Sn			10	30
obsah Si			20	30
obsah Pb			12,5	20
Aditiva, degradace		Referenční hodnoty oleje HLP 46		
obsah S			3318	
obsah P	(mg/kg)		612,8	
obsah Na			4170	
obsah Zn			551,5	
obsah Ca			79,3	

Tab. 6 – Doporučené hodnoty pro jednotlivé parametry kvality olejů

NAMĚŘENÉ HODNOTY						
Číslo vzorku		1	2	3	4	5
Strojní zařízení		Chiron MILL 1	Chiron MILL 2	Chiron MILL 1	Chiron MILL 2	-
Název oleje		HLP 46	HLP 46	HLP 46	HLP 46	HLP 46
Datum odběru		11.11.2016	11.11.2016	7.4.2017	7.4.2017	7.4.2017
Specifikace		-	-	-	-	referenční
Parametr kvality	Rozměr	hodnota	hodnota	hodnota	hodnota	hodnota
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	40,92	45,06	40,92	41,46	44,81
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	0,452	0,415	0,442	0,406	0,481
Obsah vody	hm. %	0,0055	0,0053	0,0084	0,0051	0,0079
Mechanické nečistoty	mg/100cm ³					
Kód čistoty - ČSN ISO 4406/99	-	13/12/10	14/12/11	14/13/12	15/14/12	17/16/12
Kód čistoty - NAS 1638	-	9	6	7	9	8
Prvková analýza ED-XRF		hodnota	hodnota	hodnota	hodnota	hodnota
obsah Fe	ppm	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
obsah Cu	(mg/kg)	7,5	5,3	6,5	4,4	4,3
obsah Cr		3,2	3,3	2,3	2,8	< 1,0
obsah Sn		< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0
obsah Si		< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
obsah Pb		0,6	0,7	0,2	0,3	1,9
Aditiva, degradace		hodnota	hodnota	hodnota	hodnota	hodnota
obsah S	ppm	6426	7834	5285	6815	3318
obsah P	(mg/kg)	532,6	467,1	438,9	403,6	612,8
obsah Na		1817	1674	< 1005	< 1005	4170
obsah Zn		491,8	425,1	395,9	360,2	551,5
obsah Ca		76,4	24,8	65,5	25,6	79,3

Tab. 7 – Naměřené hodnoty

Z údajů Tab. 7 je zřejmé, že naměřené hodnoty dosahují převážně doporučených hodnot, jen kinematická viskozita překročila minimální požadovanou hodnotu a to u obou vzorků, které byli odebrány ze stroje Chiron MILL 1. Doporučená hodnota odchylky kinematické viskozity je $\pm 10\%$ od stanovené hodnoty výrobcem (46 mm²/s).

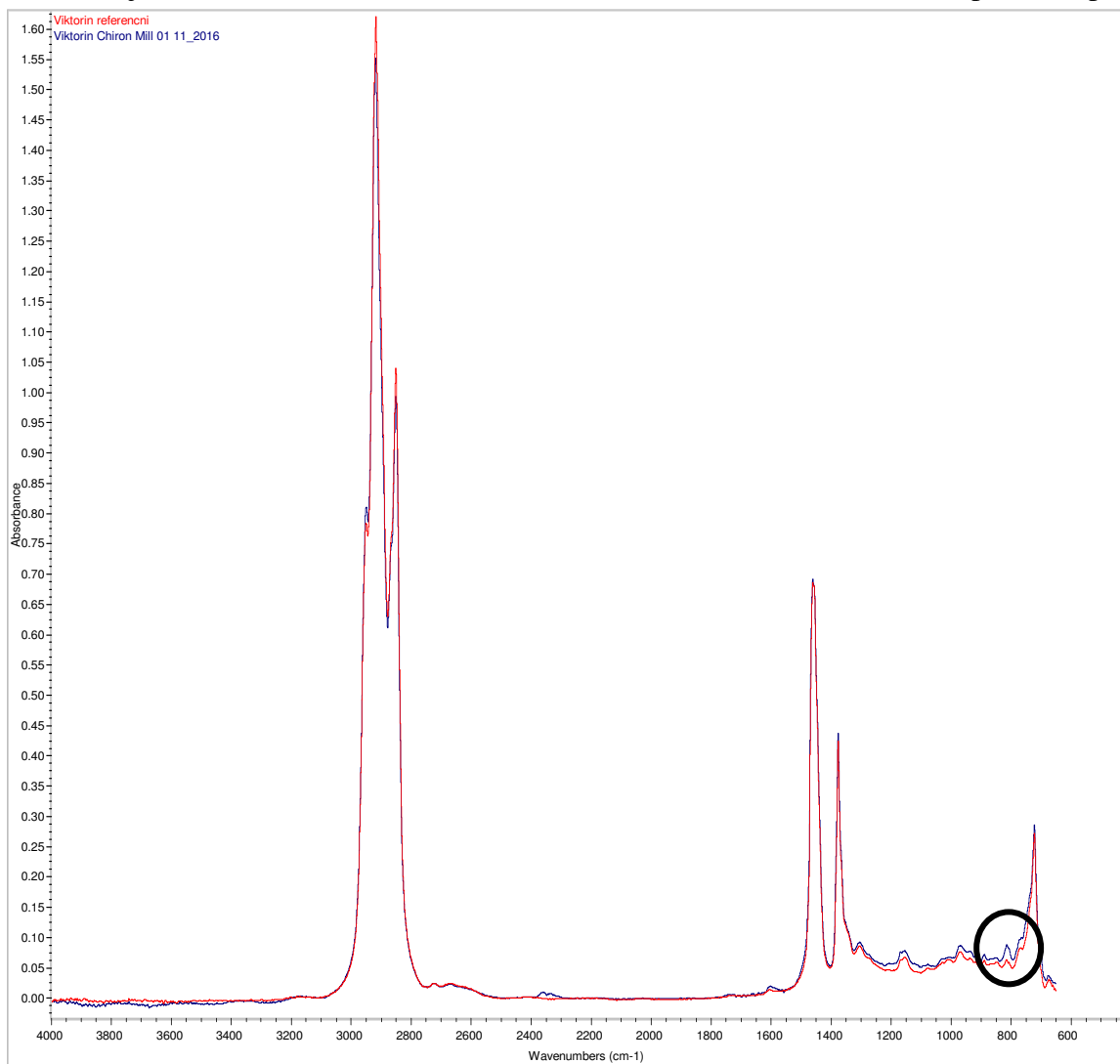
Navíc u stroje Chiron MILL 2 byl zaznamenán pokles kinematické viskozity z hodnoty 45,06 mm²/s na hodnotu 41,46 mm²/s, což je za necelých 5 měsíců provozu výrazné snížení, ke kterému nedojde bez přičinění jiných okolností.



Obr. 31 – Graf kinematické viskozity za období 5 měsíců

Proto jsem učinil odběr i chladicí kapaliny, neboť by se mohla dostávat do hydraulického systému. Později jsem vniknutí chladicí kapaliny vyloučil, protože se jedná o 10% roztok a zvýšení obsahu vody ve vzorku oleje nebylo potvrzeno. Zkouška spektrální analýzy později potvrdila, že chladicí kapalina se nedostává do hydraulického obvodu, protože má zcela jiné spektrum.

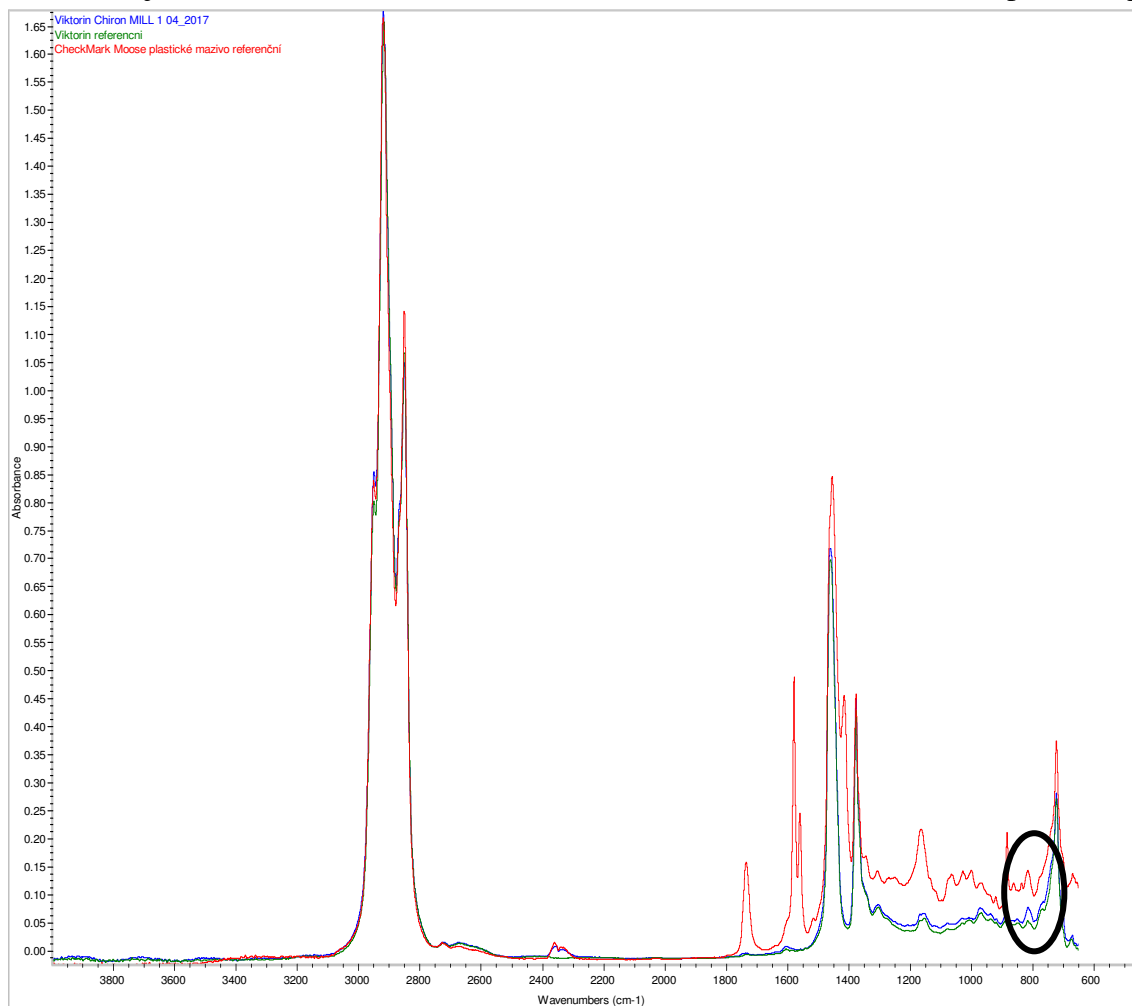
Spektrální analýza navíc odhalila u všech vzorků oproti referenčním vzorku výskyt blíže nespecifikovaných látek v našich aplikacích se může jednat o naftu. Na Obr. 32 je možné pozorovat červenou (spodní) čáru, která náleží referenčnímu vzorku hydraulického oleje, a modrou (horní) čáru, která patří vzorku č.1 hydraulického oleje.



Obr. 32 – spektrum 1: infračervené spektrometrie - červeně referenční vzorek č.5
hydraulického oleje, modře vzorek č.1 hydraulického oleje [autor]

Vyznačená část v kroužku se nachází ve vzdálenosti přibližně 818 cm^{-1} a v této vzdálenosti se objevují v našich aplikacích lehké uhlovodíky (nafta). Toto zjištění mě jen utvrdilo v přesvědčení, že se do hydraulického systému musí dostávat látka obsahující tyto blíže nespecifikované látky nebo muselo dojít k blíže neurčené změně v provozu stroje.

Další mazivo, které je ve stroji používáné, je plastické mazivo. Je součástí ztrátového mazání a nedá se odebrat přímo ze stroje, proto jsem odebral jen referenční vzorek a provedl u něho spektrální analýzu. Na Obr. 33 je vidět zelená (spodní) čára, která patří referenčnímu vzorku hydraulického oleje; modrá čára, která značí vzorek č.3 hydraulického oleje, a červená čára, které náleží plastické mazivo.

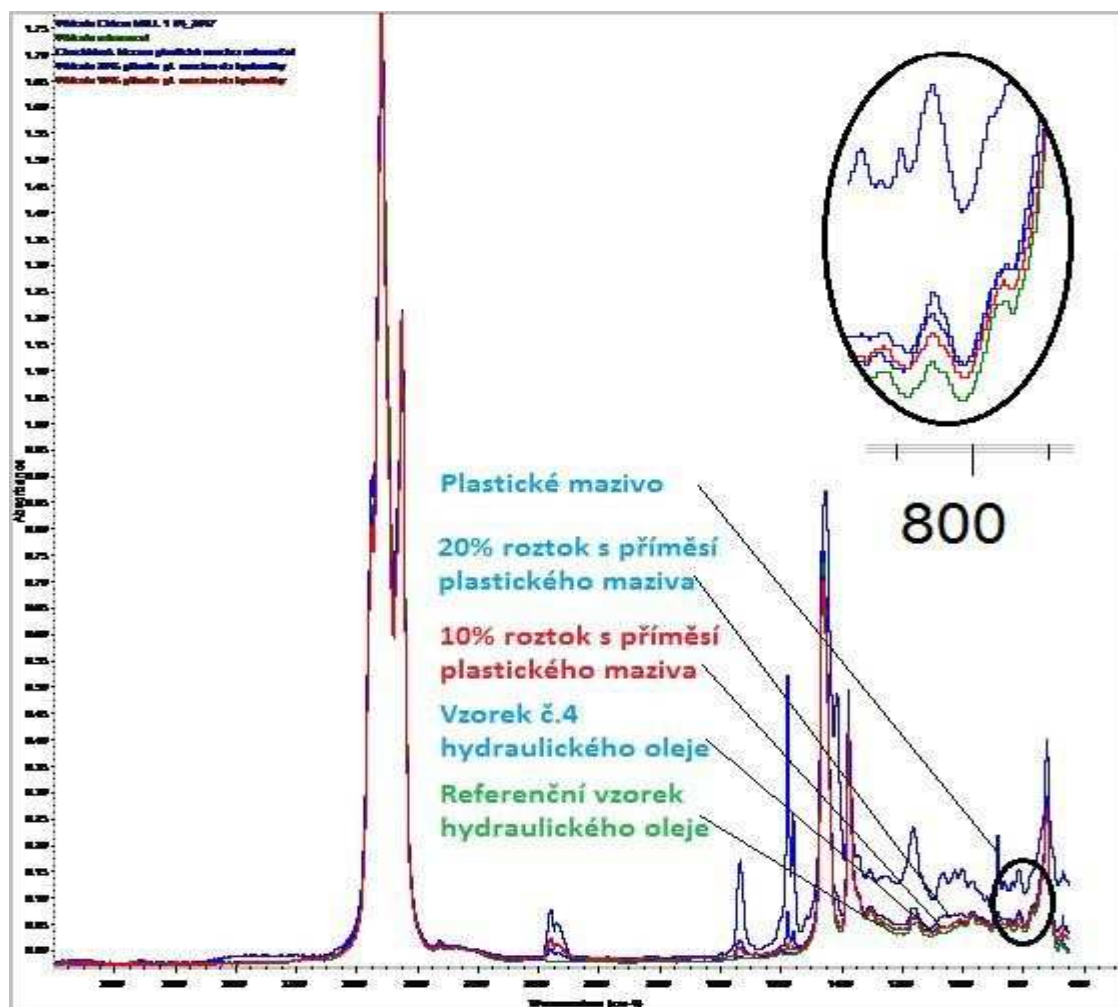


Obr. 33 – spektrum 2: infračervené spektrometrie - zeleně referenční vzorek č.5 hydraulického oleje, modře vzorek č.3 hydraulic. oleje, červeně plastické mazivo [autor]

Při zkoumání získaného spektra se nabízí možnost, že špička, která se vyskytuje ve spektru patří plastickému mazivu, což by mohlo ukazovat na přítomnost plastického maziva v hydraulickém systému. Protože plastické mazivo vizkozitu oleje zvyšuje, bylo nutno provést další test. Namíchal jsem dvě směsi hydraulického oleje a plastického maziva.

- Směs (roztok) č.1 obsahovala 90% referenčního vzorku hydraulického oleje a 10% plastického maziva.
- Směs (roztok) č.2 obsahovala 80% referenčního vzorku hydraulického oleje a 20% plastického maziva

Na Obr.34 náleží zelená čára referenčnímu vzorku hydraulického oleje, modrá čára nad ní vzorku číslo 4 hydraulického oleje, červená čára (prostřední) 10% roztoku s příměsí plastického maziva, modrá čára nad ní patří 20% roztoku s příměsí plastického maziva a horní modrá čára je plastické mazivo.



Obr. 34 – spektrum 3: infračervené spektrometrie - referenční vzorek č.5 hydraulic. oleje, vzorek č.4 hydraulic. oleje, 10% roztok, 20% roztok, plastické mazivo [autor]

Jelikož jsou ve spektru i jiné rozdíly špiček, které by se měli u hydraulického oleje taky projevit, kdyby se do něho dostávalo plastické mazivo, a není ani moc pravděpodobné, že by se plastické mazivo dostávalo do hydraulického systému v takovém množství. Navíc by nemělo plastické mazivo snižovat viskozitu, ale naopak ji zvyšovat. Tím jsem vyloučil i možnost proniknutí plastického maziva do hydraulického systému.

Na základě analýzy olejů a důkladném prozkoumání, co by mohlo zapříčinit snížení viskozity a výskyt cizích látek ve spektru, jsme vyvodil závěr, že muselo dojít k chybě při doplňování hydraulického oleje v průběhu provozování zařízení. Osoba, která doplňovala hydraulický olej nalila nejspíše do zařízení jiný hydraulický olej s podobnými vlastnostmi a příměsí, ale nižší viskozitou. Ve firmě mi bylo sděleno, že při průběžném doplňování oleje mohlo k této chybě dojít. Strojní zařízení nepoužívá žádné další provozní kapaliny, kromě hydraulického oleje, chladicí kapaliny a plastického maziva, takže možnost vniknutí jiné kapaliny do hydraulického systému při běžném provozování stroje je velmi málo pravděpodobná.

6. Měření vibrací

V následující kapitole se budu zabývat měřením vibrací na strojích, které nesou názvy Chiron MILL 1 a Chiron MILL 2. Pro měření vibrací jsem používal analyzátor vibrací Adash A4400 (viz kap.6.1) a naměřená data jsem dále zpracovával softwarem A4410 Virtual Unit (viz kap. 6.1). Měření vibrací jsem provedl ve dvou termínech s časovým rozestupem, který mi umožnil jak porovnat naměřená data tak i sledovat jejich vývoj v čase.

6.1 Použitý měřicí přístroj AdashA4400

Pro měření vibrací jsme vybral přístroj Adash – VA4Pro, který se ve vibrační diagnostice strojů často používá. Jedná se o špičkový profesionální 4kanálový rekordér signálu používající se hlavně pro provozní vyvažování a pro servisní a inspekční činnost. Zařízení pracuje se základními moduly analyzátoru, datakolektoru a rekordéru měřených signálů, navíc je vybaven moduly pro provozní vyvažování, měření rozběhů a doběhů, ultrazvuku, pro akustická měření, pro měření rázových testů, další moduly jsou určeny pro kontrolu mazání, poslech vibračního signálu a pro analýzu provozních tvarů kmitů. Jeho součástí je rovněž unikátní expertní systém pro automatickou detekci poruch strojů. Pro zpracování dat má k dispozici vnitřní paměť s kapacitou 120 GB, která umožňuje 35 hodin nepřetržitého nahrávání 4kanálového signálu s frekvenčním rozsahem 90 kHz.

Jako snímače byly zvoleny tři akcelerometry pro vertikální, horizontální a axiální směr s citlivostí 100mV/g. K vřetenu stroje byly připevněny pomocí magnetu. Tento způsob upevnění je považován za pohotovný, rychlý a jednoduchý, předpokládá ovšem pečlivé očištění povrchu dosedací plochy a optimální umístění snímačů. [5]



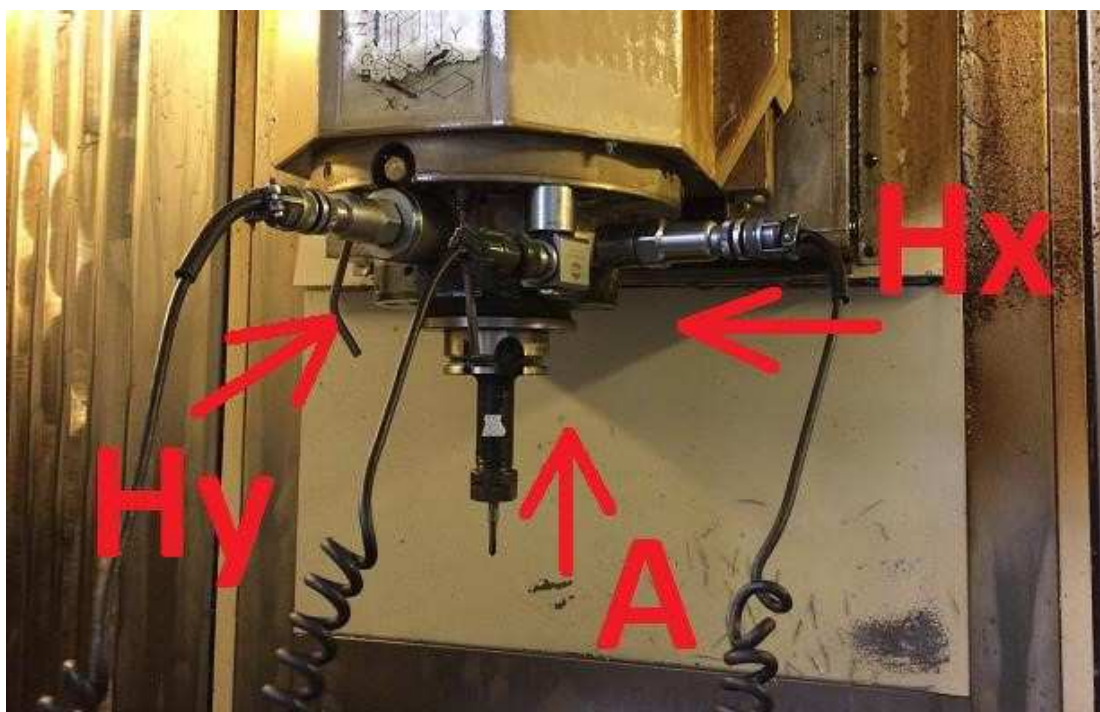
Obr. 35 – Analyzátor Adash A4400 - VA4Pro [5]

A4400 VA4 PRO - TECHNICKÉ PARAMETRY:	
Vstupní kanály:	4 AC, ICP® napájení (0/1) 4 DC pro procesní veličiny 1 TACHO pro externí spouštění
Vstupní rozsah:	AC +/- 12 V špička-špička DC +/- 24V
AD převodník:	24 bitů, 64 bitů zpracování signálu nevyžaduje AutoGain
Dynamický rozsah S/N:	120 dB
Frekvenční rozsah:	maximální rozsah: 1 Hz - 90 kHz (1 Ch, 194 kHz vzorkování) maximální rozsah: 1 Hz - 25 kHz (4 Ch, 64 kHz vzorkování) minimální rozsah: 1 Hz - 25 Hz (4 Ch, 64 Hz vzorkování)
Způsob vzorkování:	plně synchronní pro 4 kanály
Rozlišení FFT:	min. 100 čar max. 3 276 800 čar
Módy měření:	analýzátor - analytická měření sběrač dat - měření pochůzky vyvažování - provozní vyvažování strojů rozběhy / doběhy rekordér - nahrávání signálu stetoskop - poslech vibračního signálu FASIT - expertní systém pro detekci poruch oktávová analýza - akustická měření rázový test - bump test ADS - provozní tvary kmitů Ultrazvuk
Procesor:	Intel Atom 1.6 GHz
Paměť, pochůzka:	120 GB, max. 4 GB pro jednu pochůzku, počet pochůzek je limitován pouze volnou pamětí
Zpracování dat:	FFT v reálném čase DEMODO - ENVELOPE analýza ACMT - analýza pomaloběžných ložisek řádová analýza uživatelská definice pásem měření RPM měření DC (procesních veličin) měření orbit
Rekordér signálu:	vzorkovací frekvence 64 kHz 4 Ch - spotřeba paměti 3 GB/hod 4 Ch celková doba nahrávání - 35 hod
Triger (spouštění):	manualní, externí, úrovní signálu, časem spouštění záznamu (rekordu) změnou otáček, časovým intervalem
Displej:	barevný 800 x 600 bodů, LCD
Rozhraní:	USB
Provozní teplota:	-10°C až +50°C
Napájení:	bateriové - 5 hodin provozu, AC 230 V
Pouzdro:	hliníkové odolné
Rozměry a váha:	230 x 140 x 60 mm, 2200 g

Tab. 8 – Parametry Adash A4400 - VA4Pro[5]

6.2 Volba měřicích míst

Pro měření vibrací a sledování stavu vřetenových ložisek je umístění snímačů rozhodující. Při správné volbě míst upevnění se zabráňuje zkreslování výsledků měření. Proto se snímače upevňují na stroj tak, aby cesta signálu byla co nejkratší a aby nedocházelo k jeho přerušení nebo ztrátám při průchodu různými materiály. Při svých měřeních jsem upevnil snímače co nejblíže k ložiskům vřetene, přičemž bylo nutné brát ohled na přístup k vřetenu stroje. Vibrace se měřily ve třech směrech: horizontálním ve směru osy x, horizontálním ve směru y a axiálním směru. Měření probíhalo při nezatíženém procesu vřetene a pro čtyři úrovně otáček: 2500 ot/min, 5000 ot/min, 7500 ot/min, 10000ot/min. U obou strojů se umístění snímačů shodovalo.



Obr. 36 – Měřicí místo na stroji Chiron MILL [autor]

6.3 Výpočet frekvencí

Protože se testované stroje Chiron MILL nalézaly v záručním servisu, nebyly dostupné informace o typu vřetenových ložisek a nemohly být tedy spočítány budící frekvence uvedených strojů. Přistoupil jsem proto k výpočtu otáčkových frekvencí. Ty se počítají dle známých vztahů z otáček vřetene. Na těchto frekvencích se ve frekvenčním spektru budou zobrazovat základní závady, jako jsou nevyváha a nesouosost.

Výpočet otáčkových frekvencí f :

$$f = \frac{n}{60} = \frac{2500}{60} = 41,67 \text{ Hz (pro } n = 2500)$$

$$f = \frac{n}{60} = \frac{5000}{60} = 83,34 \text{ Hz (pro } n = 5000)$$

$$f = \frac{n}{60} = \frac{7500}{60} = 125 \text{ Hz (pro } n = 7500)$$

$$f = \frac{n}{60} = \frac{10000}{60} = 166,67 \text{ Hz (pro } n = 10000)$$

6.4 Doporučené hodnoty vibrací

Při hodnocení naměřených dat pro toto zařízení jsme vycházeli z normy ČSN ISO 10 816 - 3. Po konzultaci s vedoucím diplomové práce jsem zvolil meze, které jsou uvedeny v Tab.9.

Měřenou a vyhodnocovanou veličinou je efektivní hodnota rychlosti vibrací v_{RMS} [mm/s] a efektivní hodnota zrychlení vibrací a_{RMS} [g].

Rozhraní pásem	Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s]	Efektivní hodnota zrychlení vibrací [g]
A/B	-	0,5 g
B/C	0,6 mm/s	2 g
C/D	1,8 mm/s	4g

Tab. 9 – Doporučené efektivní hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací

Pásmo A: Pásmo vibrací nových přejímaných strojů.

Pásmo B: Pásmo vibrací strojů, které se mohou provozovat po neomezenou dobu.

Pásmo C: Pásmo vibrací strojů provozovaných podmíněčně (než se nalezne vhodná náprava)

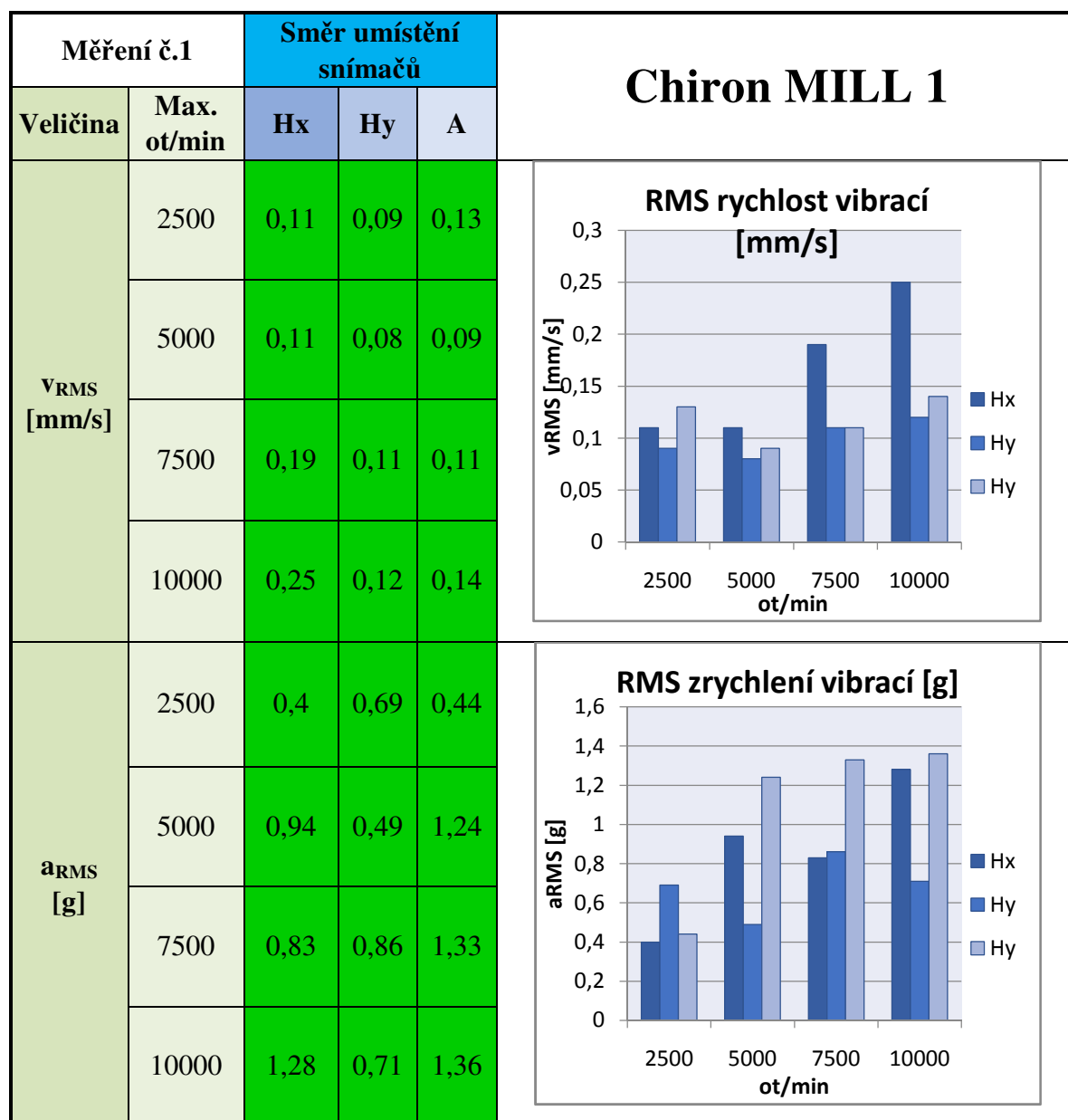
Pásmo D: Pásmo vibrací strojů, které jsou pro další provoz nebezpečné a mohou vyvolat jejich poškození

6.5 Vyhodnocení prvního měření

Vibrace měřených strojů byly naměřeny bez zátěže, při konstantních otáčkách vřetene. Pro měření byl využit analyzátor vibrací ADASH VA4 PRO včetně snímačů vibrací a laserového triggru pro snímání rychlosti otáček. Měření bylo provedeno 11.11.2016.

Naměřená data pro Chiron MILL 1 jsou uvedena v Tab.10 včetně sloupcových grafů, z nichž lze vyčíst efektivní hodnoty rychlosti vibrací a efektivní hodnoty zrychlení vibrací.

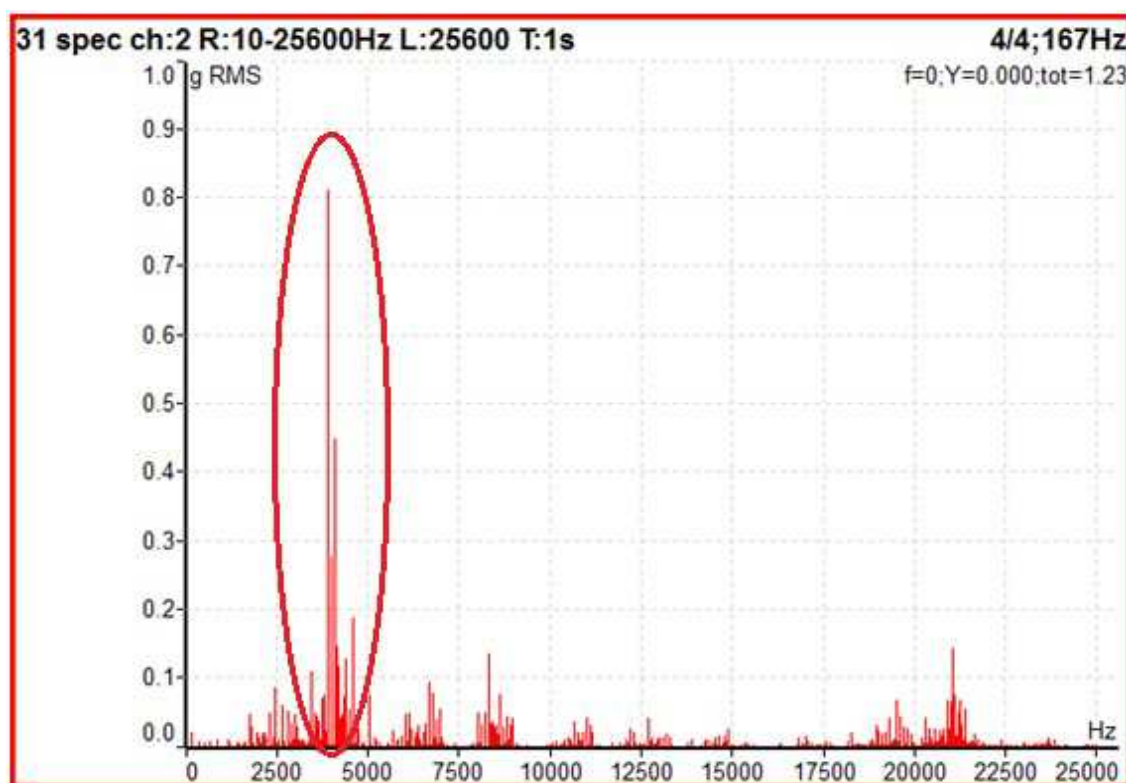
Na konci kapitoly jsem provedl srovnání obou strojů. Pro srovnání strojů jsem naměřené data porovnal v tabulkách (Tab. 12, Tab. 13) a znázornil grafy.



Tab. 10 – Měření č.1: Naměřené hodnoty na stroji Chiron MILL 1

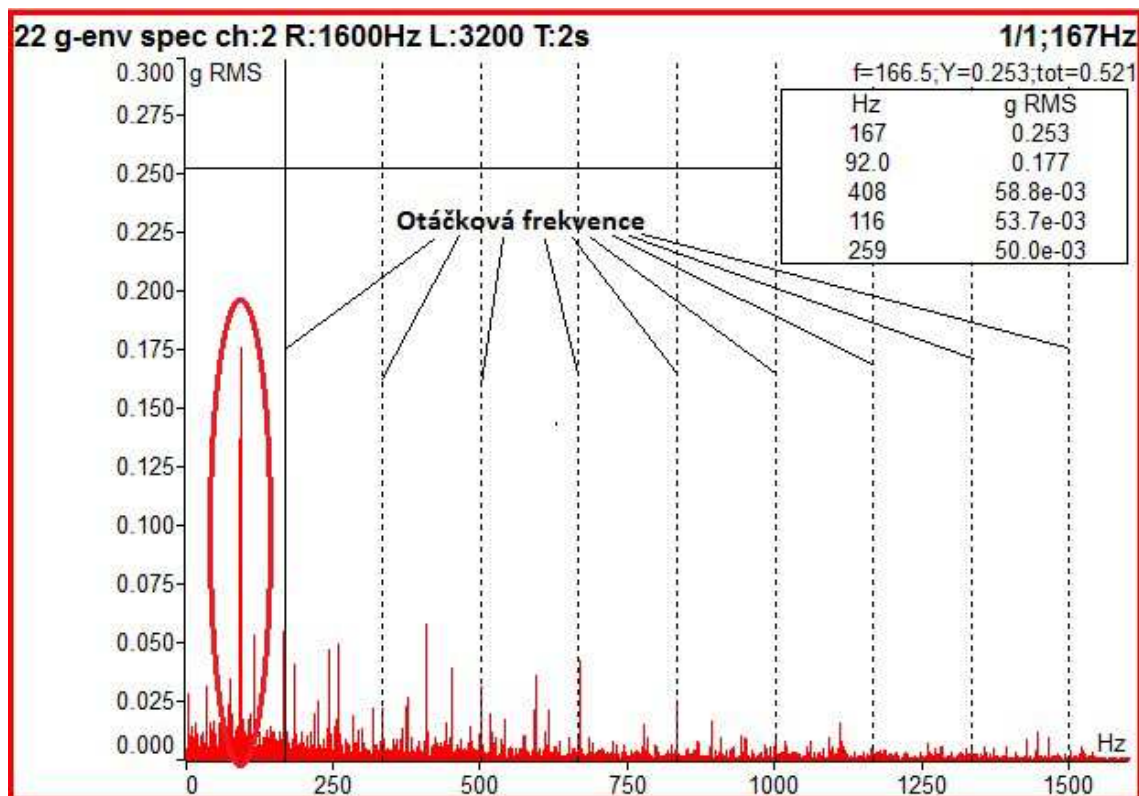
Na stroji Chiron MILL 1 je vidět, že všechny naměřené hodnoty se nalézají v doporučených hodnotách pásma A a B. Za poněkud alarmující lze považovat hodnoty zrychlení 1,28g a 1,36g při 10000ot/min. Může jít o projev začínajícího poškození ložiska.

Na Obr. 37 je vidět frekvenční spektrum hodnoty zrychlení v horizontálním směru x. V oblasti 2500 - 5000 Hz se objevují poškození ložisek a na daném spektru je vidět nárůst vibrací právě v této oblasti.

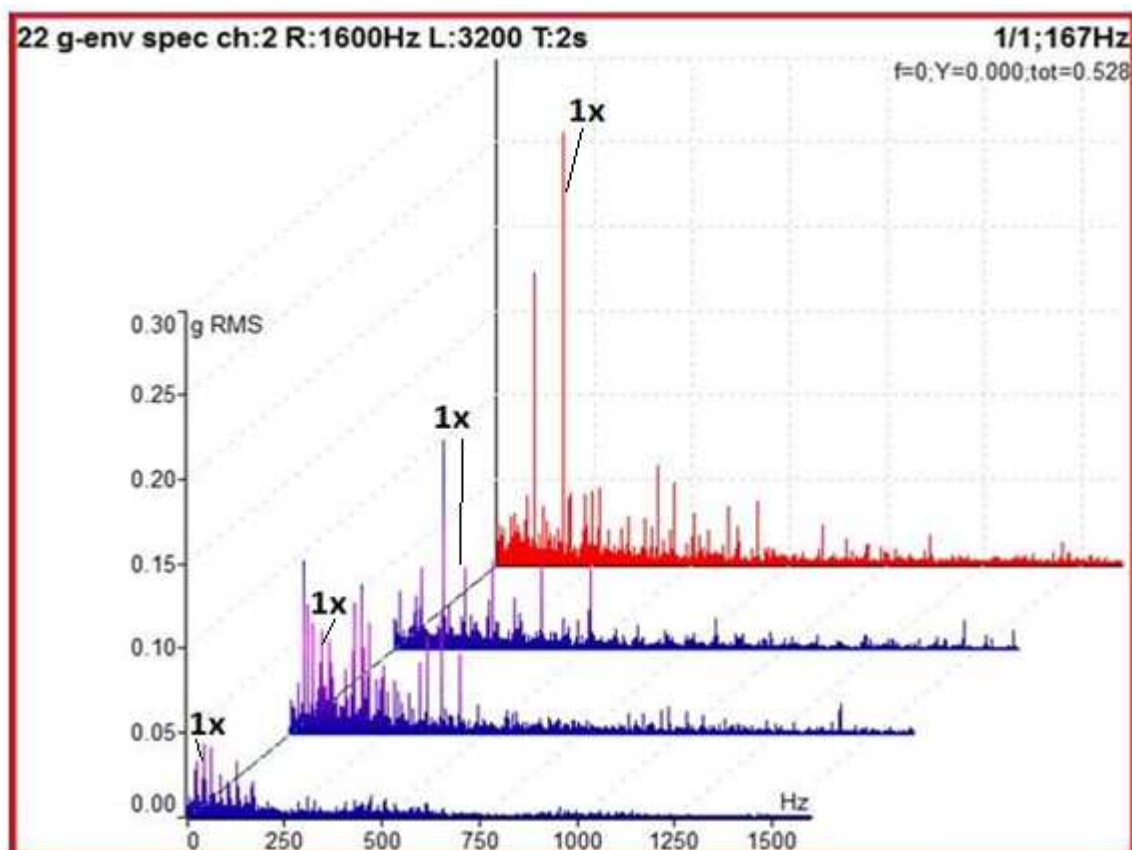


Obr. 37 – Frekvenční spektrum efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 10 - 25600 Hz, měřeno na Chiron MILL 1 v horizontálním směru x při 10 000 ot/min

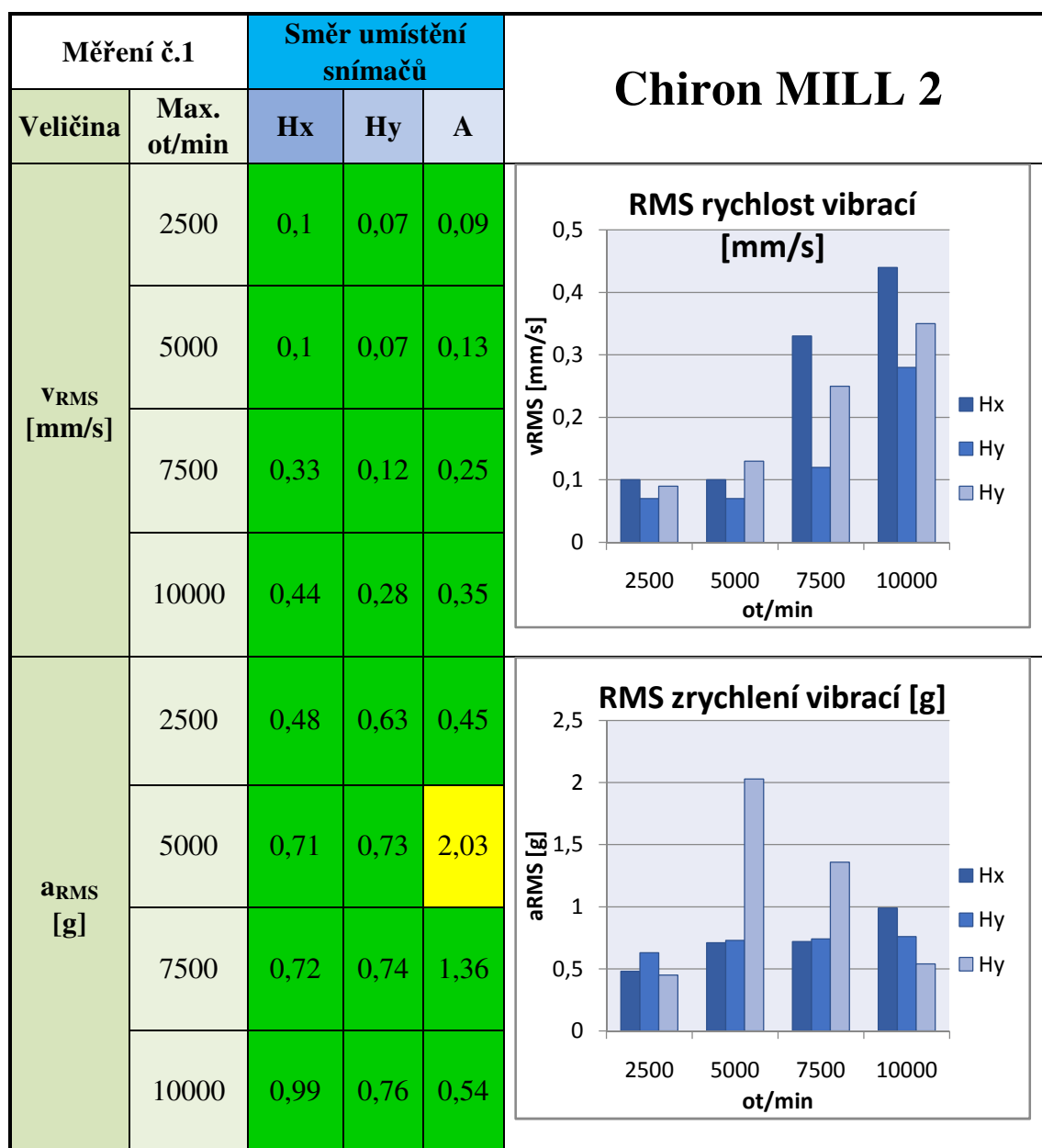
Pro analýzu ložiska vřetene jsem zvolil obálkovou metodu. Výsledky analýzy jsou patrné z Obr. 38. V analyzátoru jsou harmonickým kurzorem vyznačeny násobky otáčkové frekvence 166,67Hz při rychlosti vřetene 10000 ot/min. Výchyly frekvence mimo násobky otáčkové frekvence mohou indikovat poškození ložiska. Zvýrazněná část spektrogramu ukazuje na možnost začínajícího poškození klece nebo valivých elementů ložiska. Jedná se však jen o odhad a pro přesnější určení je potřebná znalost typu ložiska a jeho poruchových frekvencí. Navíc ložiska jsou předepnuté, proto mohou generovat větší hodnoty vibrací.



Obr. 38 – Obálková metoda měřena v horizontálním směru x na stroji Chiron MILL 1 při otáčkách 10 000 ot/min



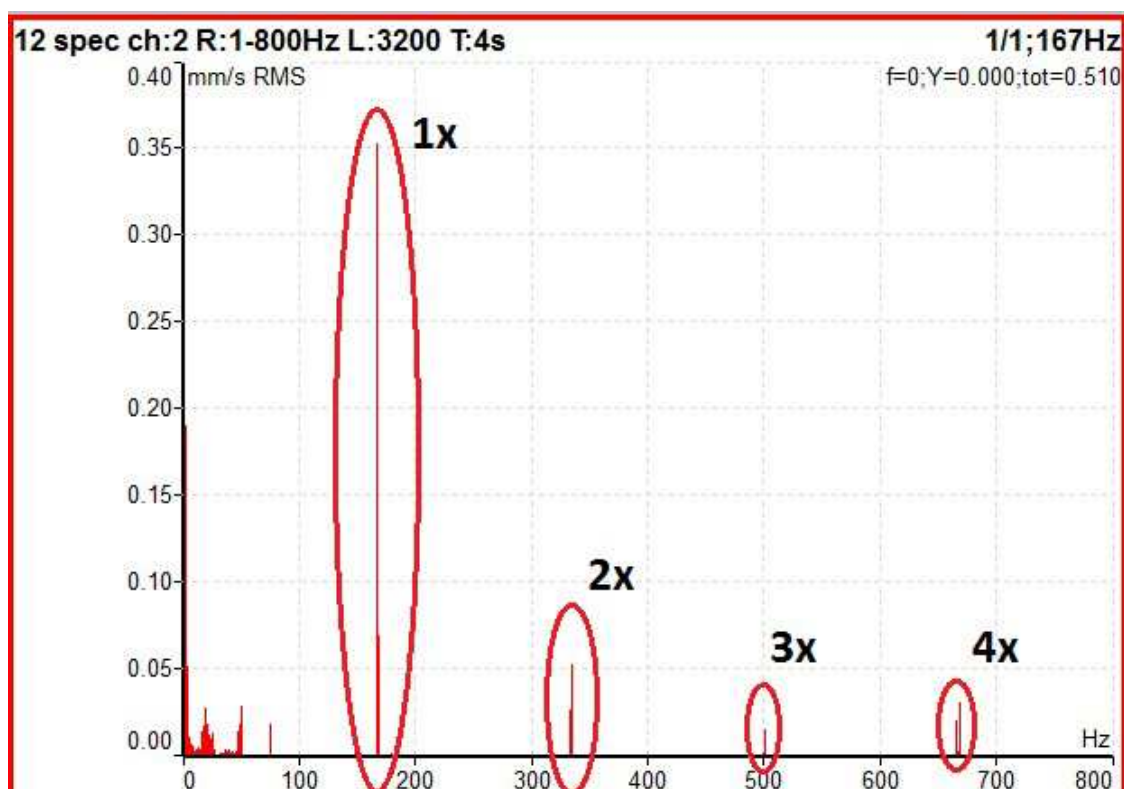
Obr. 39 – Trend obálkové metody, měřeno na Chiron MILL 1 v horizontálním směru x při 2 500 (v přední části), 5 000, 7 500, 10 000 (v zadní části) ot/min



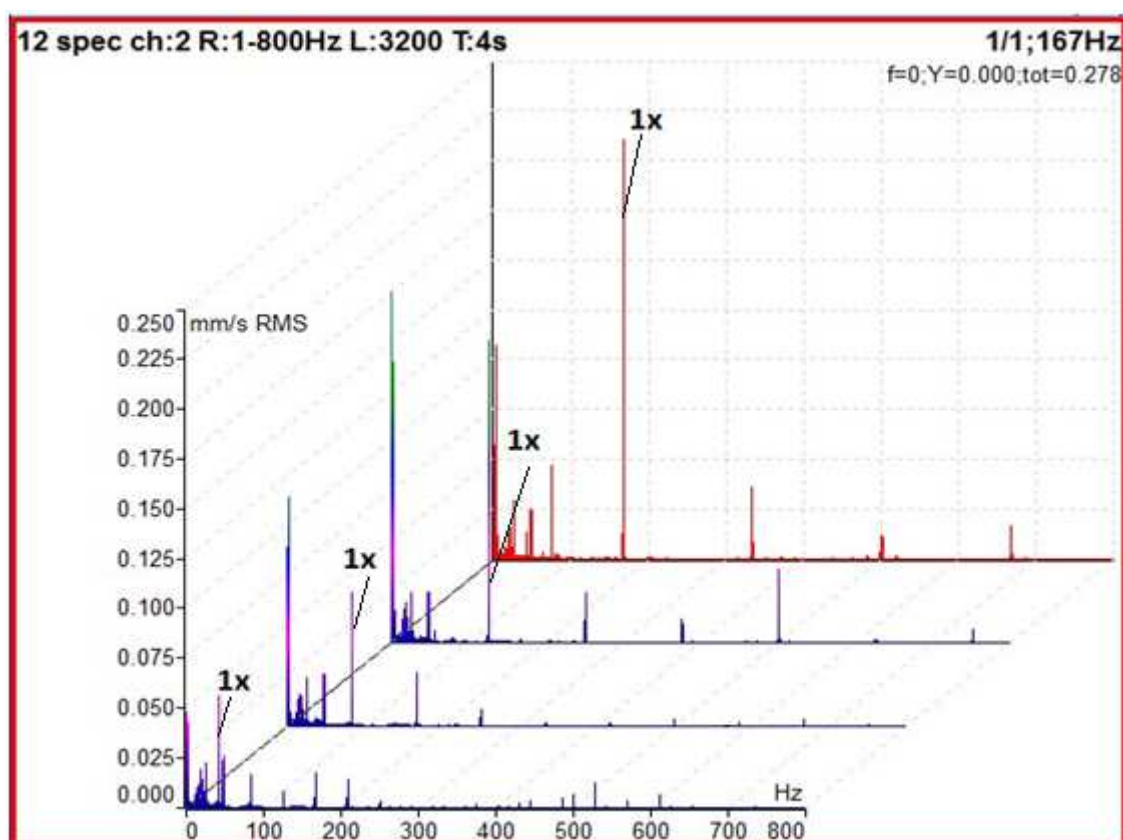
Tab. 11 – Měření č.1: Naměřené hodnoty na stoji Chiron MILL 2

Na stoji Chiron MILL 2 jsou naměřené hodnoty nízké, tak jako u prvního stroje. Většina hodnot vibrací na vřetenu se nachází v blízkém okolí doporučených hodnot. Vzbuzují pozornost jen zvýšené hodnoty rychlosti 0,44mm/s a 0,35mm/s při 10000ot/min. Může docházet k lehké nevývaze, která se projevuje na první otáčkové frekvenci (Obr. 40).

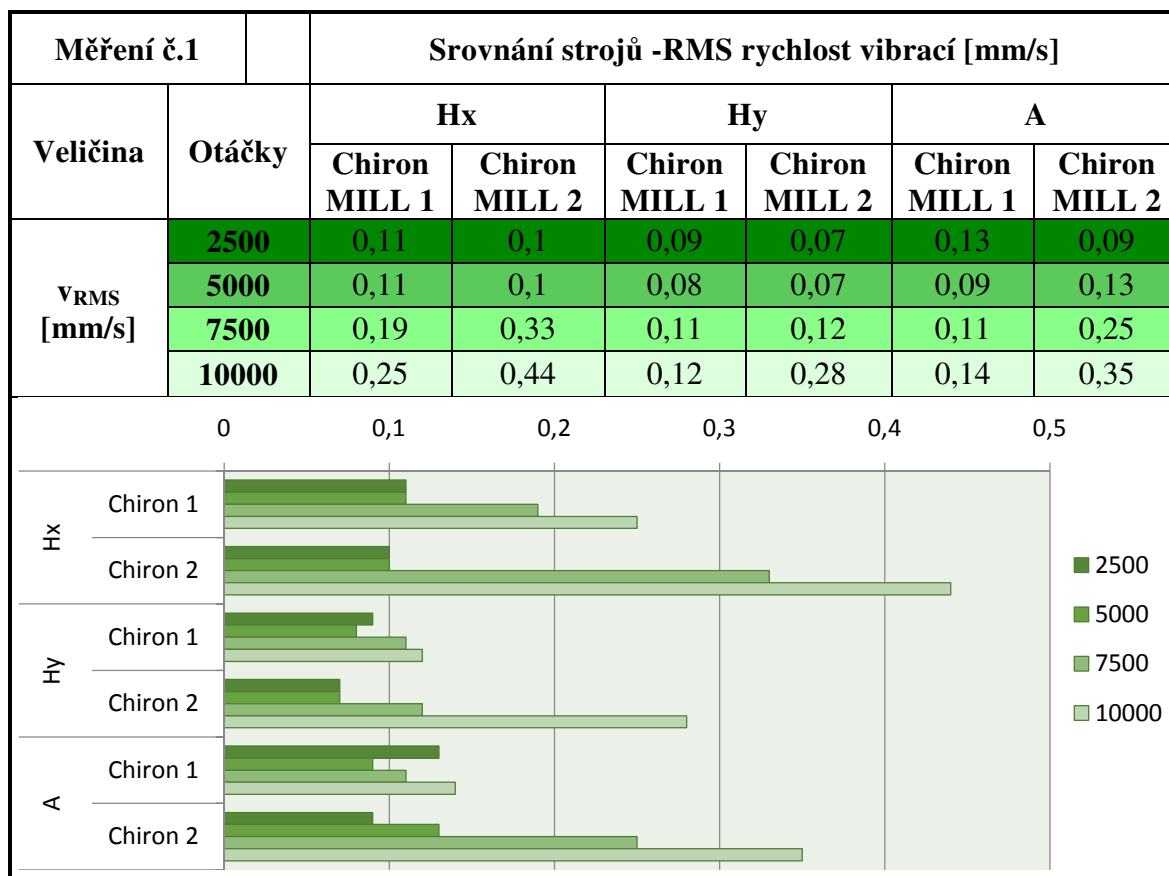
Zvýšené hodnoty zrychlení v axiálním směru při 5000 ot/min a 7500 ot/min mohou být způsobeny chybnou kalibrací měřicího snímače z důvodů jeho pozdější kalibrace. Může jít také o náhodný jev, protože při vyšších otáčkách byly hodnoty zrychlení v normě, ačkoliv právě při 10000 ot/min lze očekávat nejvyšší naměřené hodnoty.



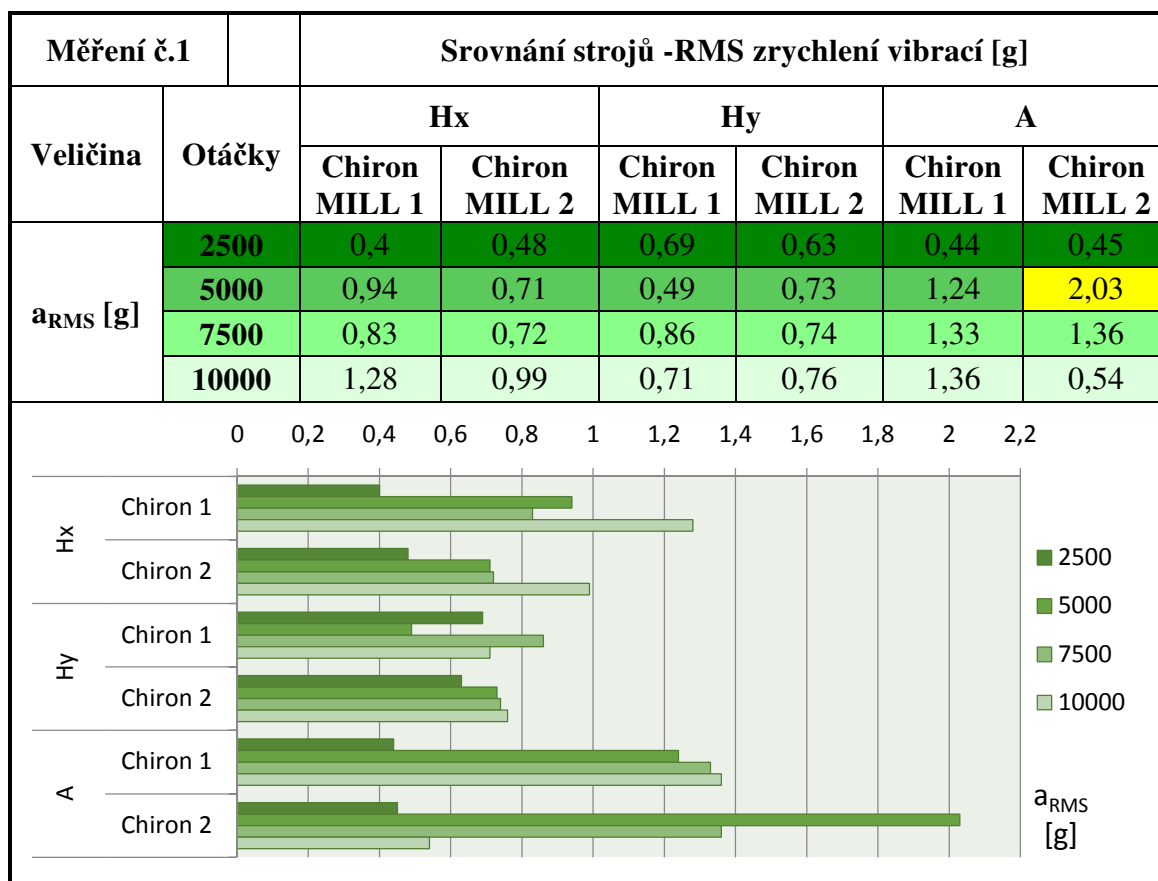
Obr. 40 – Frekvenční spektrum efektivní hodnoty rychlosti vibrací v horizontálním směru x na stroji Chiron MILL 2 při 10 000 ot/min



Obr. 41 – Trend frekvenčního spektra, měřeno na Chiron MILL 2 v horizontálním směru x při 2 500(v přední části), 5 000, 7 500, 10 000 (v zadní části) ot/min



Tab. 12 – Měření č.1: Srovnání strojů - efektivní hodnoty rychlosti vibrací



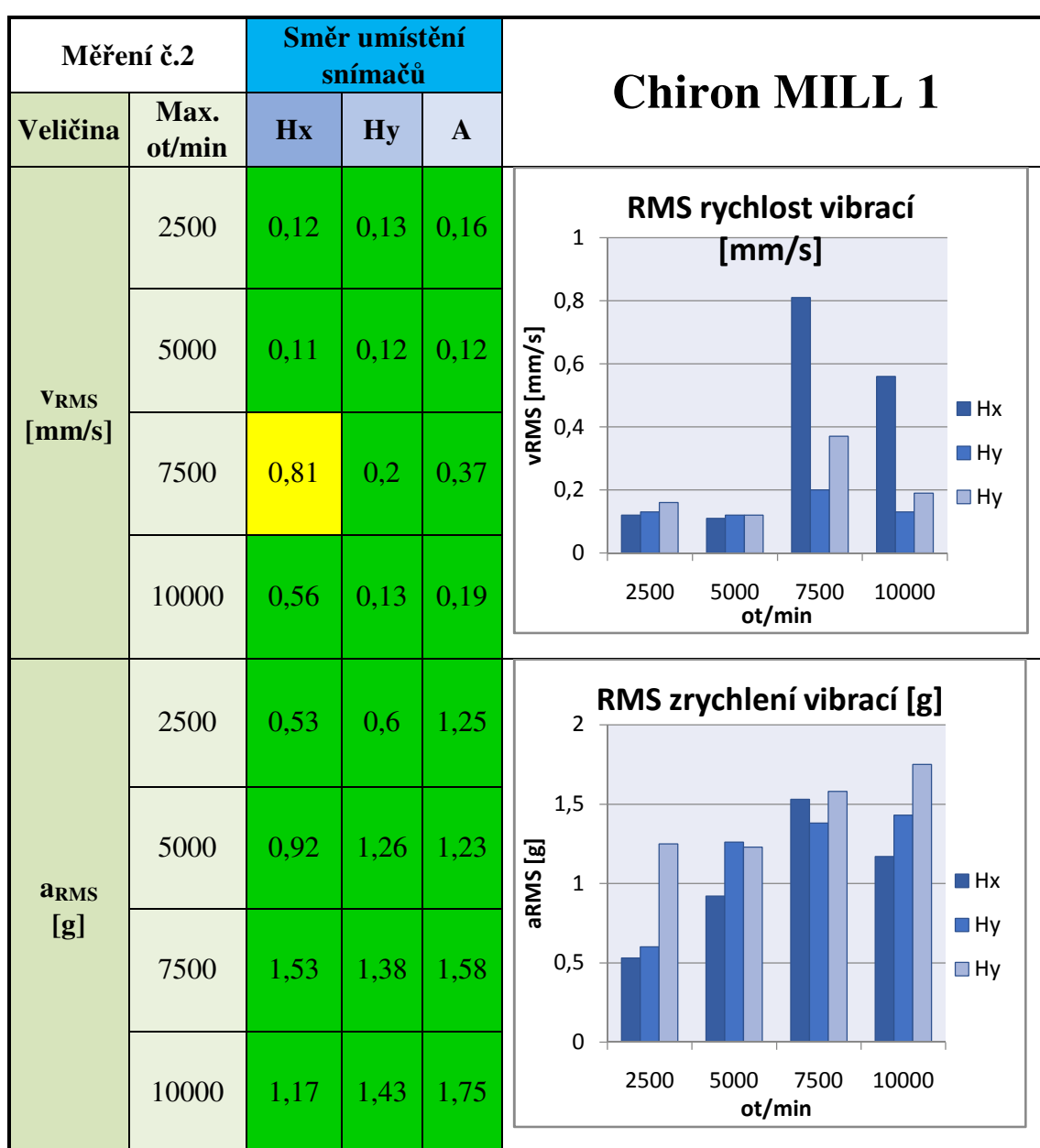
Tab. 13 – Měření č.1: Srovnání strojů – efektivní hodnoty zrychlení vibrací

Dále jsou z prvního měření uvedena na ukázkou další časová a frekvenční spektra zrychlení a rychlosti a trend obálkové metody pro různé otáčky v příloze A.

6.6 Vyhodnocení druhého měření

Druhé měření jsem vykonal 7.4.2017. Jako u prvního měření jsem pro analýzu technického stavu strojů použil veličiny rychlosti (v) a zrychlení (a) v jejich efektivních hodnotách.

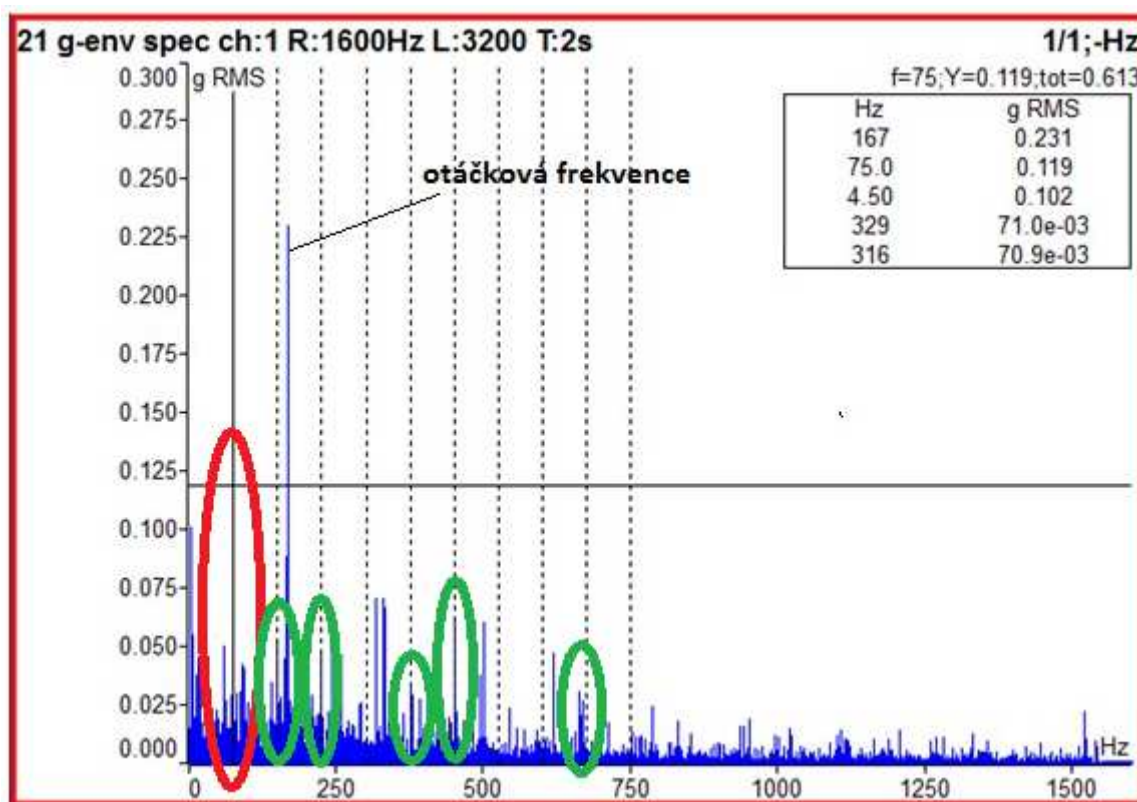
Všechny naměřená data jsou uložena ve formě tabulek a názorných grafů. V závěru kapitoly je uvedena tabulka, v níž se srovnávají naměřená data obou strojů.



Tab. 14 – Měření č.2: Naměřené hodnoty na stoji Chiron MILL 1

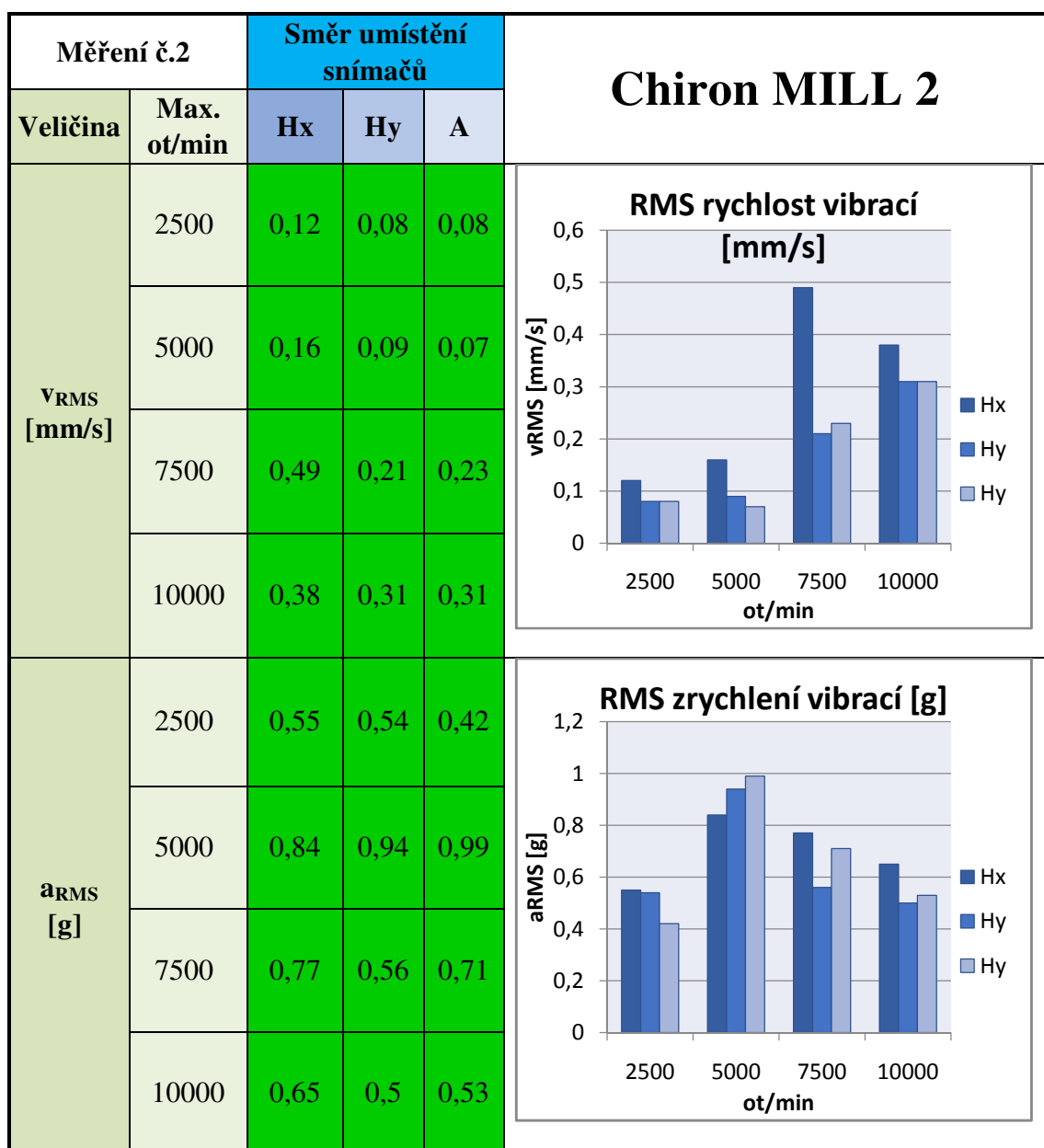
Zvýšená hodnota rychlosti v horizontálním směru x při 7500 ot/min může být náhodná chyba. Mohl se například pohnout nástroj nebo mohlo dojít k jinému náhodnému jevu, který lze jen obtížně objevit nebo vysvětlit.

Zajímavějšími se jeví hodnoty zrychlení, které se naměřili při prvním a druhém měření. Druhé měření potvrdilo zvýšené hodnoty, a navíc se zjistila i tendence k narůstání hodnot zrychlení vibrace v čase. Tato skutečnost vede k domněnce, že ve stroji Chiron MILL 1 vzniká porucha ložiska a je pravděpodobné, že se stav stroje bude zhoršovat.



Obr. 42 – Měření č.2: Obálková metoda měřena v horizontálním směru y na stroji Chiron MILL 1 při otáčkách 10 000 ot/min

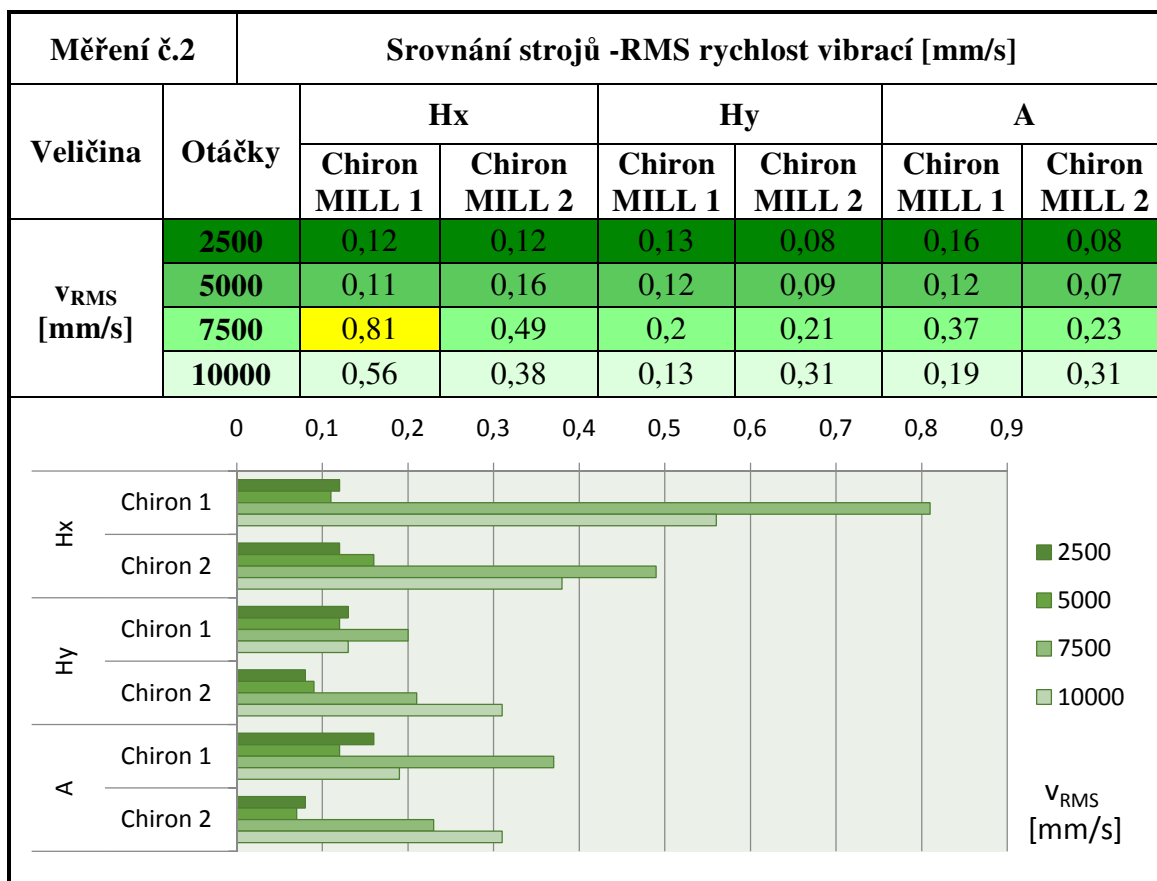
Na Obr. 42 jsou vidět výsledky analýzy při použití obálkové metody. V analyzátoru jsem použil harmonický kurzor a najel jsem s ním na výchylku frekvence, kterou jsem vyznačil červeně. Tato výchylka frekvence je ještě před otáčkovou frekvencí a mohla by znamenat začínající poruchu ložiska. Při použití harmonického kurzoru vidím její nepatrné násobky, které jsem vyznačil zeleně. Tyto násobky, které se začínají objevovat mi moji domněnku potvrzují. Ale poruchou si stále nemohu být jistý, protože naměřené hodnoty vibrací jsou zatím jen malé a nespádají ani do výstražného pásma C. Ale i přesto je patrné na vibracích, že ložisko nebude zcela v dobrém stavu. Proto by bylo dobré, udělat více měření a sledovat naměřené hodnoty, jak se vyvíjí dál.



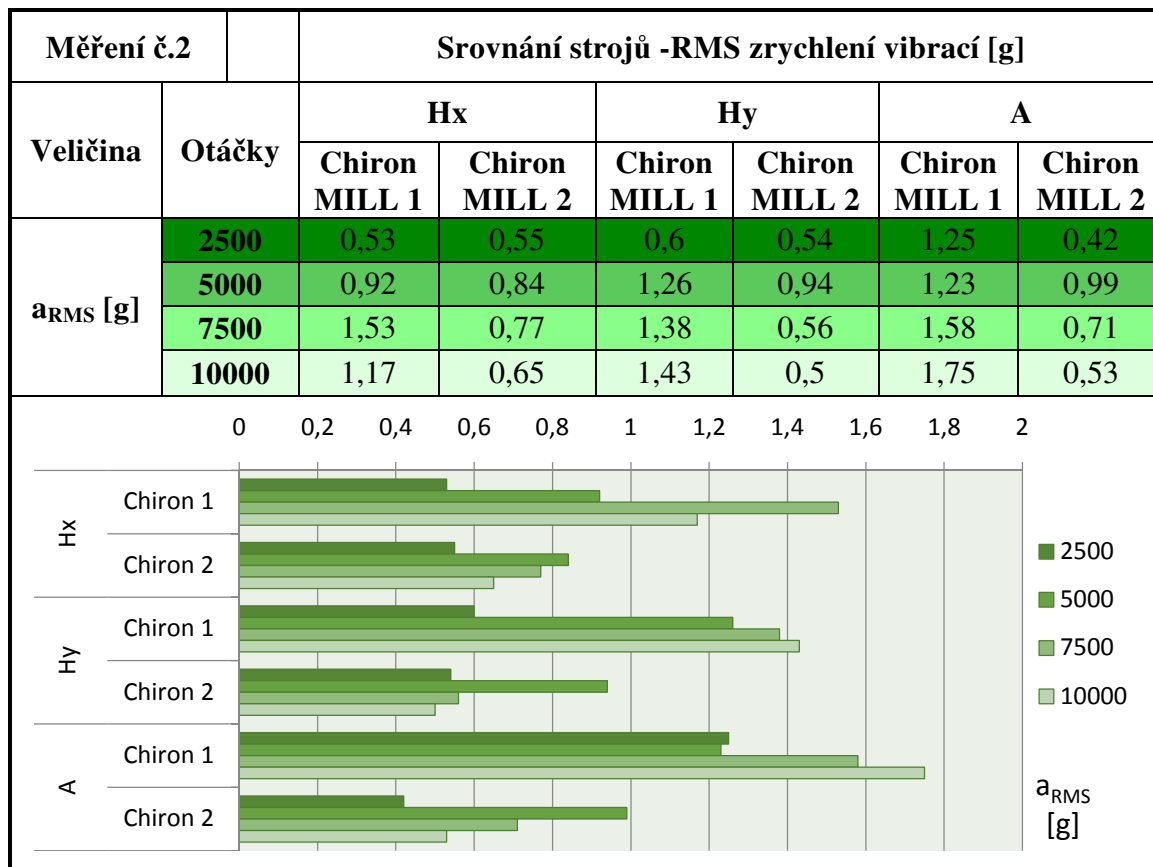
Tab. 15 – Měření č.2: Naměřené hodnoty na stoji Chiron MILL 2

Všechny hodnoty vibrací vyhovují doporučeným hodnotám. Celkové vibrace u stroje Chiron MILL 2 je možno považovat za vyhovující. Další spektra z druhého měření je možné najít v příloze B.

Z grafu v Tab. 17 lze vyčíst rozdíl ve strojích týkající se hodnot zrychlení vibrací. Na první pohled je zřejmé, že u stroje Chiron MILL 1 se objevily vyšší hodnoty zrychlení vibrací ve srovnání s hodnotami stroje Chiron MILL 2 a to ve všech směrech.



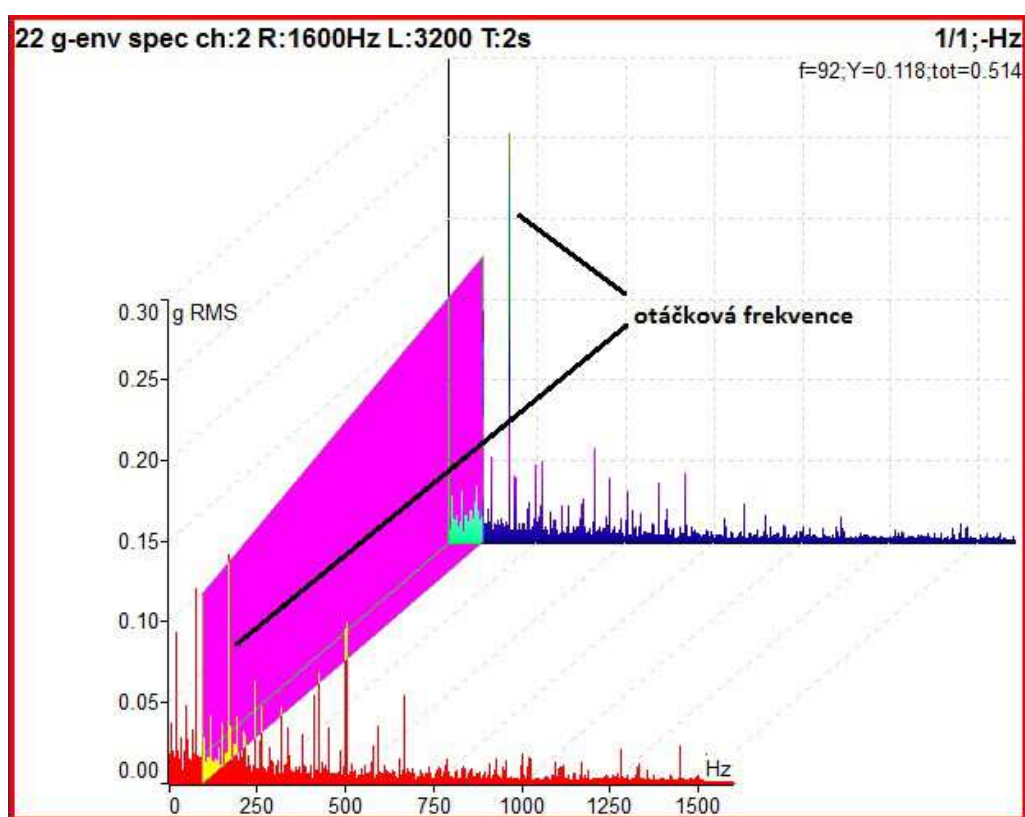
Tab. 16 – Měření č.2: Srovnání strojů - efektivní hodnoty rychlosti vibrací



Tab. 17 – Měření č.2: Srovnání strojů – efektivní hodnoty zrychlení vibrací

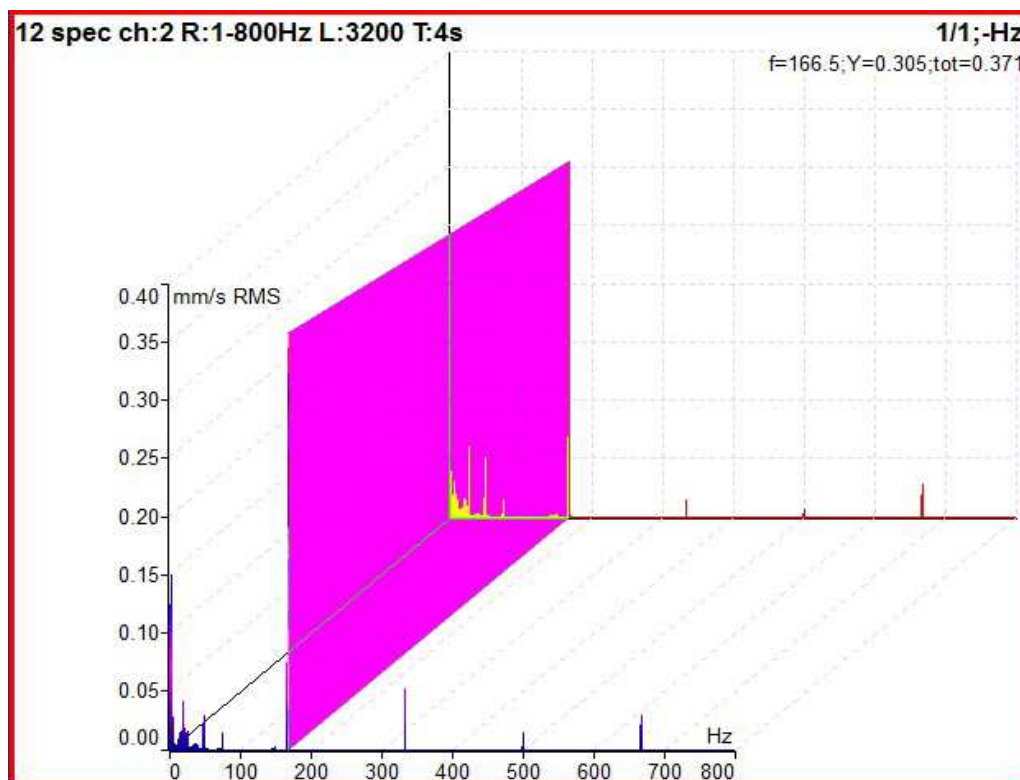
6.7 Srovnání dvou měření v čase

Na Obr. 43 jsem se pokusil o grafické srovnání výsledků aplikace obálkové metody zrychlení vibrací. V grafu jsou hodnoty naměřených vibrací v horizontálním směru x u prvního měření zobrazeny v popředí (červené podbarvení) a stejná data z druhého měření v pozadí (modré podbarvení). Kurzor v analyzátoru ukazuje na frekvenci možné začínající poruchy ložiska. Došlo ke zvýšení měřené hodnoty v čase, což vede k možnému závěru, že jde o začínající poruchu ložiska. Odtud lze vyvodit doporučení věnovat zvýšenou pozornost stroji Chiron MILL 1 i četnost měření vibrací. Naměřené hodnoty jsou zatím malé a nelze s jistotou tvrdit, že jde skutečně o poruchu ložiska a o jaký rozsah poškození se jedná.



Obr. 43 – Trend obálkové metody, měřeno na Chiron MILL 1 v horizontálním směru x při 10 000ot/min, první měření v popředí, druhé měření v pozadí

Trend frekvenčního spektra rychlosti vibrací měřeného na stroji Chiron MILL 2 je zobrazen na (Obr. 44). První měření, které proběhlo 11.11.2016 je zobrazeno v popředí (červené podbarvení) a druhé měření, které proběhlo 7.4.2017, je zobrazeno v pozadí s modrým podbarvením.

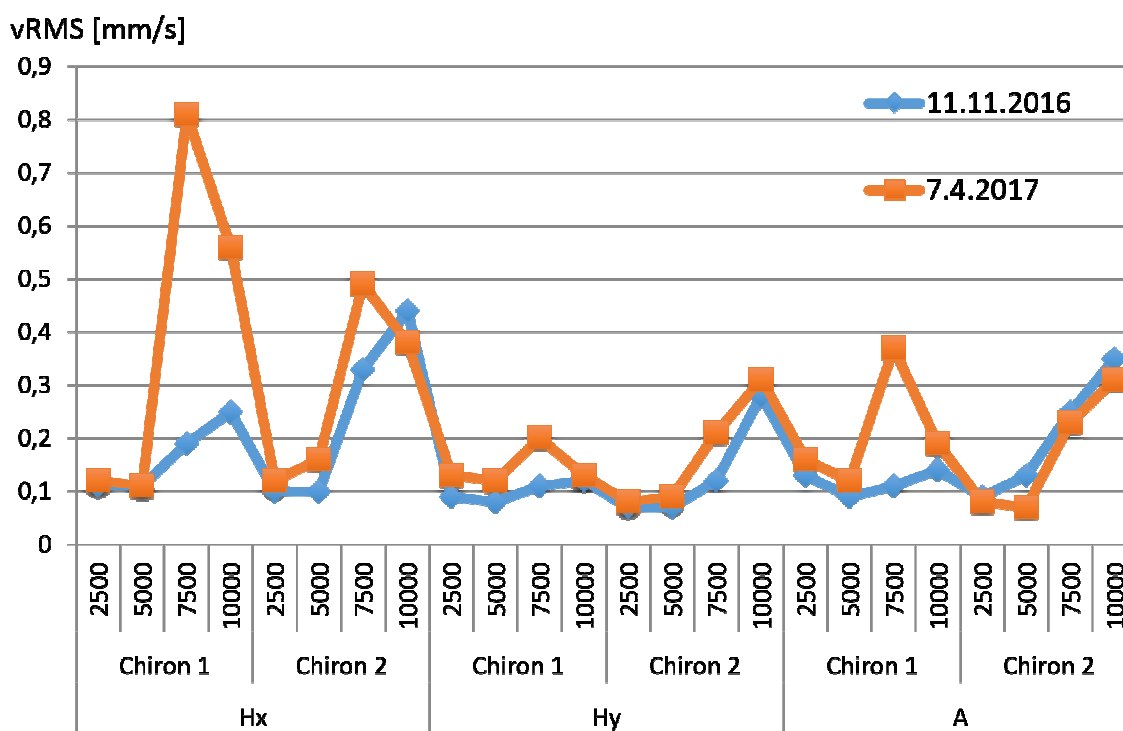


Obr. 44 – Trend frekvenčního spektra, měřeno na Chiron MILL 2 v horizontálním směru x při 10 000ot/min, první měření v popředí, druhé měření v pozadí

Obr. 45 představuje grafické vyjádření efektivních hodnot **rychlosti vibrací** u obou strojů, ve všech měřených směrech a při čtyřech variantách otáček. Graf srovnává první a druhé měření.

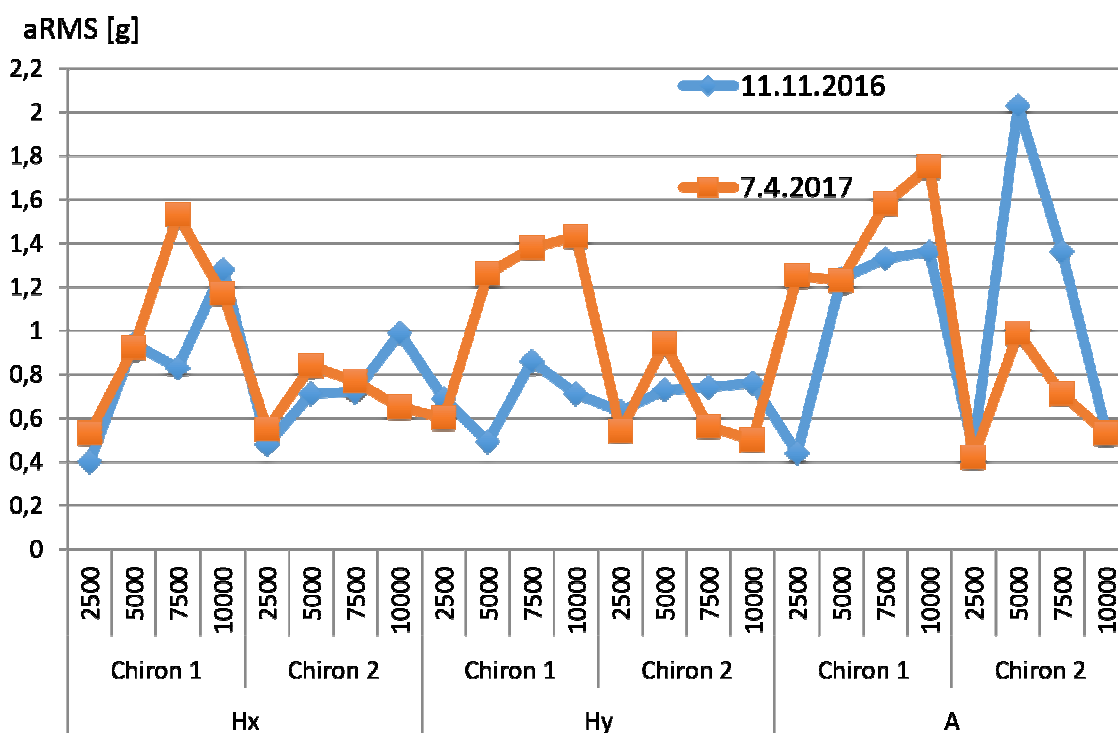
Graf na Obr. 46 je věnován grafickému znázornění efektivních hodnot **zrychlení vibrací** na strojích Chiron MILL 1 a Chiron MILL 2. Opět ve směru horizontálním (osa x , osa y) a axiálním při otáčkách 2500 ot/min, 5000 ot/min, 7500 ot/min a 10000 ot/min. K dispozici je srovnání měření vykonané 11.11.2016 s měřením, které proběhlo 7.4.2017.

RMS rychlost vibrací [mm/s]



Obr. 45 – Srovnání měření v čase - měřená veličina rychlost

RMS zrychlení vibrací [g]



Obr. 46 – Srovnání měření v čase - měřená veličina zrychlení

7. Celkové vyhodnocení měření a doporučení

U analyzovaného vzorku hydraulického oleje u stroje Chiron MILL 1 se zjistila nízká hodnota kinematické viskozity. U nového oleje se předpokládá hodnota kinematické viskozity $46 \text{ mm}^2/\text{s}$. Při provozu stroje by se neměla naměřená hodnota kinematické viskozity od této hodnoty odchýlit o více jak 10% (viz Tab.6). Vzorky ze stroje Chiron MILL 1 však požadovanou hodnotu odchyly překročily jak u prvního, tak i u druhého měření. (viz Tab.7)

U stroje Chiron MILL 2 byla při prvním měření zjištěna vyhovující hodnota viskozity. V případě druhého měření se objevil výrazný pokles viskozity, a to z hodnoty $45,06 \text{ mm}^2/\text{s}$ na hodnotu $41,46 \text{ mm}^2/\text{s}$. Naměřená hodnota je na hraně požadované odchyly. K tak velkému poklesu viskozity nemůže dojít za dobu necelých 5 měsíců běžného provozu.

Spektrální analýza navíc objevila u všech vzorků oproti referenčnímu vzorku výskyt blíže nespecifikovaných látek. V našich aplikacích by se mohlo jednat o naftu (lehké uhlovodíky). Toto zjištění vedlo k závěru, že se do hydraulického systému dostala cizí látka nebo došlo k nějaké záměně při běžném provozování stroje. Protože po dalším důkladném zkoumání včetně odběru a rozboru provozních kapalin se nepřišlo na žádnou substancii, která by se mohla dostávat do hydraulického systému a obsahovala tyto látky, je zřejmé, že muselo k chybě s největší pravděpodobností dojít při doplňování hydraulického oleje v průběhu provozování zařízení. Je docela možné, že do zařízení byl doplněn jiný hydraulický olej s podobnými vlastnostmi a příměsí, ale s nízkou viskozitou.

Pokles viskozity způsobí mezní tření, a tím taky následně vysoké opotřebení mechanismu, proto je třeba dbát na doplňování správného oleje s odpovídající hodnotou kinematické viskozity. Autor diplomové práce po konzultaci s pracovníky řízení výroby informoval o chybě, která v provozu nastala a varoval, aby už nedošlo k záměně oleje. V průběhu dalšího provozování doporučuji doplňovat správný olej a hodnotu kinematické viskozity sledovat, měla by se při opakovaném doplnění vyrovnat na správnou hodnotu.

Na stroji Chiron MILL 2 není potřeba provádět žádné jiné zásahy údržby. Postačí dále provádět pravidelná měření. Naměřené nízké hodnoty vibrací vřetena ukazují na dobrý technický stav.

Hodnoty zrychlení vibrací naměřené na stroji Chiron MILL 1 vzbuzují podezření na vznikající poruchu. Podrobnější analýza měření u tohoto stroje prozradila, že by mohlo jít

o začínající poruchu ložiska. Trend vývoje efektivní hodnoty zrychlení je pozvolna stoupající. Proto autor diplomové práce doporučuje zkrátit interval provádění prohlídek ze standardního měsíčního na čtrnáctidenní, případně i kratší.

Naměřené hodnoty vibrací zatím nepřekročili ani výstražné pásmo C. Protože příčinou naměřených zvýšených hodnot vibrací může být předeprnutí ložisek ve vřetenu, nelze s určitostí tvrdit, že jde o vadné ložisko a případný rozsah jeho poškození. Přesto je nutné věnovat zvýšenou pozornost při měření zrychlení vibrací. Pokud následující měření vykáží trend k překročení hodnot zrychlení je zapotřebí včas naplánovat odstávku stroje a provést výměnu ložiska.

Co se týká naměřených efektivních hodnot rychlosti, tak ty jsou nízké a neindikují možné problémy.

8. Závěr

V souladu s cílem diplomové práce jsem aplikoval metody technické diagnostiky na frézovací centra Chiron MILL 1 a Chiron MILL 2.

Pro zjištění aktuálního technického stavu uvedených strojů jsem vykonal vibrodiagnostická měření a odebral vzorky hydraulických olejů, které jsem podrobil rozboru v laboratoři Vysoké školy báňské. K měření vibrací jsem vybral analyzátor vibrací ADASH VA4 PRO včetně snímačů vibrací a laserového triggru. Měření strojů byla provedena ve dvou termínech s necelým pěti měsíčním rozestupem. Správná vyhodnocení vykonaných měření a analýz dává možnost zabránění vzniku poruch strojů, přispívá k vyloučení neplánovaných odstávek a pomáhá optimalizovat plánovanou činnost údržby stroje.

U odebraných vzorků olejů byly vykonány rozboru, které určily jejich kinematickou viskozitu, obsah vody, číslo kyselosti a celkové znečištění. K rozboru olejů byly zvoleny rentgenová spektrometrie a spektrální analýza. Díky rozborům jsem získal poznatky nejen o kvalitě a čistotě maziva, ale i o probíhajících dějích ve strojích.

Pomocí spektrální analýzy s analýzy referenčního vzorku jsem zjistil u všech vzorků hydraulického oleje přítomnost cizích blíže nespecifikovaných látek, které se v našich aplikacích objevují jako nafta. Nízká kinematická viskozita, resp. její pokles, vedl k závěru, že do hydraulického systému buď vniká cizí substance nebo ke změně viskozity dochází při běžném provozu strojů. Odběr a následná analýza chladicí kapaliny a mazacího tuku tyto látky vyloučila z možnosti znečištění oleje. Po důkladném zkoumání a hledání příčin změny viskozity byly vyloučeny i další možné cesty a způsoby jejího poklesu. To vše vedlo k logickému závěru, že k chybě došlo pravděpodobně při doplňování hydraulického oleje, že byl použit olej s nižší viskozitou, než jaká je vyžadována. Doporučuji tedy dbát na doplňování správného oleje zvýšenou pozorností, aby už nedošlo k záměně oleje.

Z analýzy frekvenčních spekter naměřených u stroje Chiron MILL 1 vychází mé podezření na začínající poškození ložisek ve vřetenu. Ve smyslu tohoto závěru zněla i má informace pro vedoucího údržby a upozornění na možnost vzniku poruchy, a to i v blízké době. Doporučuji zvýšit četnost provádění měření vibrací tohoto stroje, navrhuji měření ve čtrnáctidenních intervalech. Pokud bude zaznamenán nárůst efektivní hodnoty zrychlení vibrací a mé podezření se potvrdí, pak doporučuji neprodleně naplánovat odstávku stroje a provést výměnu poškozeného ložiska.

Na stroji Chiron MILL 2 není potřeba kromě výměny olejové náplně provádět žádné jiné zásahy údržby. Naměřené nízké hodnoty vibrací včetně ukazují na dobrý technický stav stroje. Postačí do budoucna provádět pravidelná měření a při indikaci vznikající poruchy doporučuji snížit interval provádění prohlídek oproti standardním jednoměsíčním prohlídkám na měření minimálně po čtrnácti dnech.

Metody technické diagnostiky mají své nezastupitelné místo při sledování a hodnocení technického stavu strojů a tím i na snižování výrobních nákladů. Hlavním přínosem technické diagnostiky je prodloužení životnosti strojů, včasné odhalování vznikajících poruch a minimum neplánovaných odstávek.

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Blatovi, Ph.D., za potřebné konzultace a profesionální vedení při vypracovávání mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Tomáši Tinkovi z firmy Česká Zbrojovka a.s. Uherský Brod za cenné rady, vstřícnost a poskytnutí podkladových materiálů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Podklady firmy Česká zbrojovka a.s. Uherský Brod
- [2] *DASH A4400 VA4 Pro* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:
<http://www.reliabilitydirectstore.com/Adash-A4400-VA4-Pro-for-Vibration-Monitoring-p/cms-va4pro-cms.htm>
- [3] *Česká Zbrojovka Uherský Brod* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:
www.czub.cz
- [4] HELEBRANT, František. *Technická diagnostika a spolehlivost IV: Provoz a údržba strojů*. 1. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1690-6.
- [5] *Analyzátor vibrací Adash* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:
<http://adash.com/cs/prenosne-merici-systemy/a4400-va4-vibracni-analyzator>
- [6] ZUTH, Daniel a František VDOLEČEK.
Měření vibrací ve vibrodiagnostice [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:
<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40375.pdf>
- [7] *Snímače vibrací* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:
https://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/330/.content/files/EXPME_4.pdf
- [8] VOJÁČEK, Antonín. *Měření vibrací pro diagnostiku opotřebení strojů* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/mereni-vibraci-pro-diagnostiku-opotrebeni-stroju.html>
- [9] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost II: Vibrodiagnostika*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0650-9.
- [10] KREIDL, Marcel a Jiří ZIEGLER. *Diagnostické systémy.: Vibrodiagnostika*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02349-4.
- [11] TŮMA, J. *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Praha: Sdělovací technika Praha, 1997. ISBN 80-901936-1-7.
- [12] NAVRÁTIL, P. *Vibrodiagnostika ložisek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. ISBN 80-901936-1-7.

- [13] *Diagnostika valivých ložisek* [online]. [cit. 2017-05-03].
Dostupné z: http://adash.cz/doc/ApplicationNotes/diag_val_lozisek_man_cz.pdf
- [14] *Chiron* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <https://chiron.de/en>
- [15] JANOUŠEK, I, J KOZÁK a O TARABA. *Technická diagnostika*. 1. Praha: SNTL, 1988. ISBN 04-236-88.
- [16] ZIEGLER, J, F HELEBRANT a D MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost I: Tribodiagnostika*. 1. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. ISBN 80-7078883-6.
- [17] HELEBRANT, F. *Technická diagnostika a spolehlivost IV: Provoz a údržba strojů*. 1. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1690-6.
- [18] TURAN, Tomáš a Vladimír NOVÁČEK. Analýza oleje - prostředek pro sledování stavu olejů. *Tribotechnika* [online]. Techpark vydavatelství, 2008 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/>
- [19] HELEBRANT, František, Jan BLATA a Ladislav HRABEC. *PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ: Tribodiagnostika kapalných maziv a strojních součástí*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3028-5.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Frekvenční a časová spektra z prvního měření

Příloha B: Frekvenční a časová spektra z druhého měření

Příloha C: Výsledky rozboru olejů

Příloha D: Celkové výsledky rentgenové spektrometrie

Příloha E: Výsledky spektrální analýzy