

VŠB – Technická Univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Srovnání parametrů soustruhu SPT 16 NC

s ohledem na renovaci

Comparison of the Lathe SPT 16 NC Parameters in Regards to a Renovation

Student:

Petr Lisoněk

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Lisoněk**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma: Srovnání parametrů soustruhu STP 16 NC s ohledem na renovaci
Comparison of the Lathe STP 16 NC Parameters in Regards to a
Renovation

Zásady pro vypracování:

Pro potřeby této bakalářské práce zvolte vhodné metody technické diagnostiky a aplikujte je na obráběcí stroje. Věnujte pozornost zvláště vibrodiagnostice a tribodiagnostice. Proved'te potřebná vibrodiagnostická měření, odeberte provozní kapaliny a proved'te potřebná vyhodnocení a zpracování dat. Získaná data analyzujte a proved'te patřičné vyhodnocení a doporučení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proved'te konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce nebo firma
ČESKÁ ZBROJOVKA a.s.

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.

KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.

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

ČSN 01 6910 *Úprava písemností zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, 2007.48 s.

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

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

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

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

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

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



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

Místopřísežné prohlášení studenta

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

V Ostravě 16. 5. 2015



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že užití své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své 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: 16. 5. 2015


.....
podpis

Petr Lisoněk

1. Května 184, Uherský Brod 3, 68734

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

LISONĚK P. *Srovnání parametrů soustruhu SPT 16 NC s ohledem na renovaci*: bakalářská práce, Ostrava: VŠB - TUO, Fakulta strojní, katedra výrobních strojů a konstruování, 2015, 60 stran, vedoucí práce: Ing. Jan Blata Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá porovnání parametrů soustruhu SPT 16 NC s ohledem na renovaci. Ke zjištění technického stavu je použito dvou metod bezdemontážní technické diagnostiky a to vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky. Byly provedeny dvě kontroly technického stavu soustruhu. První měření se specializovalo na odběr mazacích kapalin a zjištění vibrací stroje SPT 16 NC 1 před generální opravou. Při druhém měření se zjišťovaly vibrace stroje SPT 16 NC 1 po renovaci a stroje SPT 16 NC 2. Na závěr je provedeno srovnání technického stavu diagnostikovaných soustruhů.

Klíčová slova: vibrodiagnostika, tribodiagnostika, SPT 16 NC, soustruh

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

LISONĚK P. *Comparison of the Lathe SPT 16 NC Parameters in Regards to a Renovation*: the bachelor thesis, Ostrava: VŠB - TUO, Faculty of mechanical engineering, department of production machines and design, 2015, 60 pages, thesis directive: Ing. Jan Blata Ph.D.

The bachelor thesis deals with comparison of the lathe SPT 16 NC parameters in regards to the renovation. To determine the technical condition is used two methods of technical diagnostics: vibrodiagnostics and tribodiagnosics. There were conducted two controls of the technical status of the lathe. The first measurement is focused on the consumption of lubricating fluids and vibration detection machine SPT 16 NC 1 before overhaul. In the second measurement is investigated vibration machine SPT 16 NC 1 after renovation and machine SPT 16 NC 2. In the final chapter is made comparison of the technical condition diagnosed lathes.

Key words: vibrodiagnostics, tribodiagnosics, SPT 16 NC, lathe

OBSAH

1. Úvod.....	10
2. Seznámení s firmou Česká zbrojovka Uherský Brod a.s.	11
2.1. Historický vývoj firmy.....	11
2.2. Odvětví výroby	12
3. Způsoby údržby.....	15
4. Metody technické diagnostiky	17
4.1. Vibrodiagnostika.....	17
4.1.1. Rozdělení snímačů vibrací	17
4.1.2. Umístění snímačů.....	18
4.1.3. Metody k vyhodnocení vibrací	19
4.2. Tribodiagnostika	20
4.2.1. Odběr vzorků.....	20
4.2.2. Rozdělení tribodiagnostických metod.....	21
5. Základní parametry stroje SPT 16 NC.....	25
5.1. Průběh renovace.....	26
6. Analýza a výsledky 1. měření	28
6.1. Vyhodnocení vibračního signálu	28
6.2. Tribodiagnostické rozbory	30
6.2.1. Kinematická viskozita.....	31
6.2.2. Číslo kyselosti	31

6.2.3. Obsah vody	32
6.2.4. Kód čistoty	33
6.2.5. Rentgenová spektrometrie.....	34
7. Analýza a výsledky 2. měření	36
7.1. Vyhodnocení vibrací stroje po generální opravě	36
7.2. Vyhodnocení vibrací nezrekonstruovaného zařízení	43
8. Srovnání parametrů soustruhů	50
8.1. Srovnání zrekonstruovaného stroje s původním	50
8.2. Srovnání zrekonstruovaného soustruhu s nezrekonstruovaným	53
9. Závěr	59

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

apod.	a podobně
např.	například
obr.	obrázek
tab.	tabulka
a.s.	akciová společnost
s	sekunda
mm	milimetr
g	gram
g	jednotka zrychlení
kW	kilowatt
ms	milisekunda
ot/min	otáčky za minutu
ČSN	Česká státní norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
RMS	efektivní hodnota vibrací
RPM	otáčky za minutu
ppm	částic na milion
mm/s	milimetr za sekundu
Hz	Hertz
μm	mikrometr

1. Úvod

S ohledem na snahu společností vyrábět své produkty s co nejmenšími náklady a nejvyššími zisky má technická diagnostika důležité místo ve výrobních procesech. Získáváme tím dokonalý přehled o technickém stavu strojních zařízení i mazivu. Při zjištění možné poruchy můžeme naplánovat odstávku nebo opravu stroje na dobu, kdy to ovlivní výrobu minimálním způsobem. Mezi nejpoužívanější metody diagnostiky patří vibrodiagnostika a tribodiagnostika.

U vibrodiagnostiky je měřenou veličinou rychlost a zrychlení vibrací rotujících strojních dílů. Z naměřených dat se zjišťuje nevývaha, nesouosost nebo špatný technický stav např.: hřídelí, ložisek, převodovek apod.

Dále tribodiagnostika, která používá maziva jako nosič informací o technickém stavu strojních zařízení. Skutečný technický stav stroje je zjišťován pomocí tribodiagnostických metod jako např.: zjištění kinematické viskozity (patří mezi nejzákladnější metody), obsah vody v mazivu, bod vzplanutí nebo celkové číslo kyselosti apod.

V bakalářské práci se budu zabývat zjištěním a porovnáním technického stavu soustružnického stroje SPT 16 NC ve firmě Česká zbrojovka Uherský Brod a.s. Pro soustruh byla naplánována generální oprava na únor 2015. Z časových a finančních úspor proběhla renovace výměnou formou, kdy byl stroj nahrazen již zrenovovaným zařízením stejného typu. Zjišťovala se změna technického stavu před renovací a po ní. Při diagnostice technického stavu bylo využito dvou metod vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky.

2. Seznámení s firmou Česká zbrojovka Uherský Brod a.s.

Pro tvorbu této kapitoly bylo využito literatury [1], [2], [3].



Obr. 1 Česká zbrojovka Uherský Brod a.s. [13]

2.1. Historický vývoj firmy

V polovině roku 1936 bylo rozhodnuto o výstavbě zbrojního komplexu v Uherském Brodě. Bylo tak učiněno po jednáních ministerstva národní obrany se zbrojařskými koncerny. Důvod přesunu byl strategicky umístit výrobu vojenského průmyslu blíže do bezpečného vnitrozemí z obavy před nacistickým Německem. Při obtížných jednáních o přesunu významných armádních projektů byla vybrána Česká zbrojovka Strakonice, kde byla produkce vojenských pistolí, leteckých kulometů vzoru LK30 a další vojenského vybavení. Rada Uherského Brodu schválila výstavbu nového komplexu 22. července 1936 a dne 28. července 1936 je zahájena stavba nového zbrojařského komplexu. Závod byl vybaven z prostředků České zbrojovky Strakonice, která nakupovala stroje domácí i zahraniční výroby. Zahájení výroby proběhlo 2. 1. 1937 (ani ne za půl roku od rozhodnutí o výstavbě).

Během německé okupace se výroba změnila především na německou techniku, výroba čítala především pěchotní a letecké kulometry. A poté letecké kulometry vzoru

MG17, které se staly hlavní částí výroby. Změny vedly ke zmodernizování výroby a zvýšení počtu zaměstnanců.

Po druhé světové válce byla v roce 1946 znárodněna a z důvodu nedostatku zakázek pro armádu se mění výroba na civilní zbraně (vzduchovky).

V roce 1958 je zbrojovka organizačně začleněna pod Závody říjnové revoluce, národní podnik Vsetín, závod 05 Uherský Brod.

Roku 1965 se opět mění začlenění podniku, nyní spadá pod generální ředitelství VHJ zbrojovka Brno. Název je změněn na Přesné strojírenství, národní podnik, Uherský Brod.

V sedmdesátých letech se zbrojovka poohlíží i po civilním sektoru a začíná vyrábět součásti pro letecký motor M601 (do kterého dělá strojní díly dodnes) a díly do traktorů.

1983 se mění název na Agrozet, koncernový podnik, Uherský Brod a začleňuje se do skupiny Agrozet Brno.

1988 je založen státní podnik Český zbrojovka, Uherský Brod.

V roce 1992 se z České zbrojovky stává akciová společnost.

2.2. Odvětví výroby

Rozdělení výroby v České zbrojovce se dělí do dvou základních odvětví: zbrojní produkce a nezbrojní produkce.

Zbrojní produkce

Zahrnuje výrobu zbraní pro sport, hobby (vzduchové zbraně), lov (kulovnice, brokovnice), produkci zbraní pro ozbrojené složky (automatické zbraně, pistole, odstřelovací pušky a granátometry), krátké zbraně a malorážky.

Zhotovují také okrasné rytiny nebo zdobení (zlacení, niklování) na krátké nebo lovecké zbraně.

Přehled některých vyrobených zbraní

Pistole: CZ P-09, CZ 75 SHADOW LINE, CZ 75 SP-01, CZ 85 COMBAT

Vzduchové zbraně: SLAVIA 630 STANDART, SLAVIA 631 LUX (Obr. 1), SLAVIA 634



Obr. 2 SLAVIA 631 LUX [10]

Ozbrojené složky: automatické zbraně: CZ 805 BREN A1, CZ SCORPION EVO 3 A1

sniper rifles: CZ 705 S1 M1

granátomet: CZ 805 G1

Sportovní zbraně: CZ 858 TACTICAL, CZ 805 BREN S1

Kulovnice: CZ 527 LUX, CZ 557 MAGNUM LUX

Nezbrojní produkceAutomobilová výroba

Podle požadavků zákazníka se specializuje na obrábění automobilových dílů na strojích Hydromat HB 45/12, výrobu dílů tvářením na hydraulických lisech, odmašťování vyrobených strojních součástí a kontrolou na měřících zařízeních.

Výroba nářadí

Řezné nástroje na výrobu otvorů (vrtáky, záhlubníky, apod.), závitů nebo frézovací nástroje. Nejrůznější běžné i speciální měřidla pro měření geometrických veličin, kalibry (válcové, závitové). Upínací přípravky pro obrábění dílů (frézování, vrtání, broušení), pro svařování, vodící pouzdra, rozpínací pouzdra nebo různé montážní přípravky. Formy lisovací, vstřikovací, kovové modely.

Letecká výroba

Produkce, oprava a montáž převodovek leteckých motorů Walter M601 a jeho modifikací. Nebo zhotovení ozubených kol (čelní ozubená kola s přímým, šikmým ozubením apod.).



Obr. 3 Převodovka k motoru Walter M601 [12]

Povrchové úpravy

Úprava povrchu strojních dílů dle výběru: černění, fosfátování, chromování, niklování nebo lakování polyuretanovými laky vysoké jakosti.

Tepelné zpracování

Možnost výběru z několika druhů tepelné úpravy jako kalení, cementování nebo žhání.

Ostatní produkce

Odlévání menších odlitků vysoké kvality (návrh odlitků, výroba forem, dohotovení odlitků, tepelné a povrchové úpravy).

3. Způsoby údržby

Pro tvorbu této kapitoly byly využity informace z literatury [4].

V dnešní době je stále v mnoha firmách zvykem šetřit na diagnostice a udržování strojních zařízení. Tento systém způsobuje, že po poruše stroje je nutné vynaložit větších finančních prostředků na opravu, než kdyby byl prováděn některý z následujících způsobů údržby.

Systém oprav po poruše

Používá se u zařízeních, která jsou většinou velmi levná (a tak by se u nich diagnostika finančně nevyplatila), která nejsou nezbytná pro chod podniku a u kterých v případě poruchy nedojde k újmě na zdraví obsluhy nebo ke škodám na majetku.

Systém plánované preventivní opravy

Provádí se v pravidelných intervalech, které jsou určeny předem naplánovaným časovým plánem a předchozími zkušenostmi se stejným, nebo podobným typem stroje bez ohledu na stav strojního zařízení.

Systém diferencované proporcionální péče

Strojní zařízení jsou rozdělena do skupin podle např.: významu strojního zařízení ve výrobě, složitosti, technického stavu, stáří stroje, apod. U těchto skupin se provádí systematická diagnostika a zjišťuje se aktuální technický stav stroje. Opravy se plánují, až stroj dochází ke konci své životnosti.

Systém diagnostické údržby

Určuje skutečný stav stroje pomocí metod technické diagnostiky. K odstávkám dochází při dosažení určité meze opotřebení. Měření jsou prováděna v časových cyklech nebo neustálým monitorováním.

Systém prognostické údržby

Vychází z předchozích metod diagnostiky, zjištěné údaje o stavu strojního zařízení jsou trendovány a slouží k provádění predikce (prognózy). Díky tomu je možné naplánovat odstávku a předejít havárii.

Systém automatizované údržby

Jsou kladeny velké nároky na kvalitu údržby a minimalizaci finančních nákladů. Systém údržby je začleněn do výrobních procesů a tak umožňuje řízení v reálném čase. Pro kvalitní fungování je nutno používat výpočetní techniku.

Systém totálně produktivní údržby TPM

Je jedna z možností automatizované údržby. Snaží se co nejlépe využívat výkonnost zařízení s minimálními odstávkami. Nutnost neustálého uklízení pracoviště (nečistoty, špína) a začlenění všech pracovníků výrobního procesu.

4. Metody technické diagnostiky

Při zjišťování technického způsobilosti strojů používáme různé metody. Každá metoda je vhodná pro jiné technické zařízení a je jí nutné proto správně zvolit na každé měřené zařízení zvlášť. V praxi se používá většinou multiparametrická diagnostika, která kombinuje více metod technické diagnostiky např.: tribodiagnostiku a vibrodiagnostiku tudíž dosahujeme při měření přesnějších výsledků.

4.1. Vibrodiagnostika

Pro tvorbu této podkapitoly byla využita literatura [4], [5], [6].

Z důvodu vhodné aplikace na většinu strojních zařízení je vibrodiagnostika jednou z nejvyužívanějších metod bezdemontážní technické diagnostiky. Hodně se využívá při určování stavu strojů, kdy nám pomáhá odhalit závadu, určit místo vznikající poruchy a včas stanovit dobu poruchy. Vhodným použitím umožňuje předejít poruše, fatálnímu poškození stroje nebo nečekaným odstávkám. Zvyšuje spolehlivost, účinnost a výkonnost strojního zařízení. A v neposlední řadě šetří finanční prostředky. Pro určení stavu stroje se vyhodnocuje naměřený vibrační signál, jenž je dále rozebírán a analyzován.

4.1.1. Rozdělení snímačů vibrací

Snímače slouží pro měření mechanických vibrací, které převádí na elektrickou veličinu, ta může být dále zpracovávána a analyzována. Abychom mohli dosahovat, co nejkvalitnějších výsledků je vytvořeno velké množství druhů snímačů, které jsou určeny pro různé podmínky měření a rozličné aplikace. Senzory se mohou lišit rozsahem frekvence, přesností měření, rezonančními vlastnostmi, dynamickým rozsahem, citlivostí, hmotností, nebo cenou.

Senzory vibrací lze rozdělit do dvou základních skupin na:

seismická zařízení, která jsou připevňována na konstrukci strojního zařízení a výstupní hodnotou jsou celkové vibrace stroje.

A **snímače relativní výchylky** snímají poměrnou vibrační výchylku mezi nerotující a rotující částí měřeného strojního zařízení.

Dále můžeme snímače rozdělovat podle měřené veličiny (rychlosti, výchylky, zrychlení).

Snímač rychlosti vibrací se skládá z cívky a magnetu, principem snímače rychlosti je indukce napětí v cívce díky pohybujícímu se magnetu, velikost napětí závisí na rychlosti změn magnetického pole. Senzor rychlosti se dá zařadit do skupiny seismických snímačů. Nevýhodou jsou větší rozměry snímače a vyšší cena.

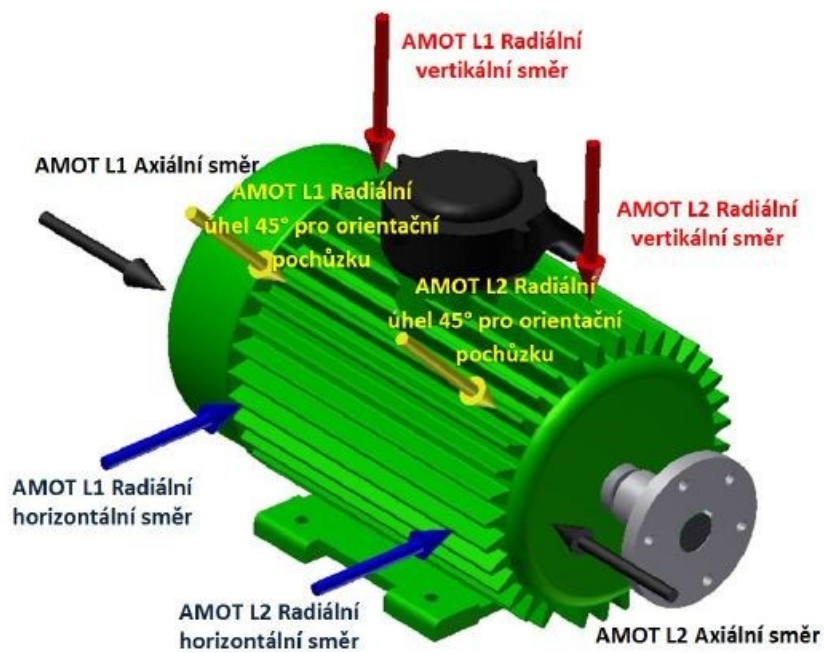
Snímání výchylky vibrací se v dnešní době provádí pomocí **bezdotykových sond**, které měří výchylku mezi rotující a nerotující částí zařízení. Větší část bezdotykových senzorů pracuje na principu vířivých proudů. Snímač je tvořen cívkou, kterou prochází generovaný vysokofrekvenční proud, ten vytváří vysokofrekvenční magnetické pole. Vyskytuje-li se v tomto magnetickém poli elektricky vodivý materiál např.: hřídel rotoru, jsou v tomto materiálu generovány vířivé proudy, které jsou dále měřeny a analyzovány. Využití těchto senzorů je převážně u větších turbínových strojů.

Akcelerometr je nejběžnějším snímačem rychlosti, naměřené hodnoty lze libovolně převádět na rychlost, zrychlení nebo výchylku vibrací. Akcelerometry se skládají z piezoelektrického krystalu (jednoho i více), kdy na krystal působí síla a na jeho stěnách se vytváří elektrický náboj, který se dále zpracovává a analyzuje. Tento druh senzoru je velmi rozšířen díky své jednoduchosti a nízké ceně. Můžeme je rozdělit dle směru, kterým působí síly na smykový, ohybový a tlakový.

4.1.2. Umístění snímačů

Při umístění snímačů musíme dbát na vhodný výběr měřicího místa, abychom předešli zkreslení výsledných veličin. Snímače umístíme na čistá místa, nelakované plochy a co nejbližší místa vzniku vibrací, protože se zvyšující se vzdáleností od místa vzniku vibrací dochází k jejich útlumu a zkreslení naměřených veličin. Sensory se neumísťují na přechody mezi materiály nebo na plechové kryty, ale měření provádíme na konstrukci, která je v bezprostředním kontaktu s ložiskem. Z toho důvodu je dobré znát konstrukční uspořádání stroje. Měření by měla být prováděna v pravidelných intervalech a senzory vibrací musí být umístěny vždy na stejná místa při zachování běžných provozních podmínek, jako jsou otáčky, zatížení, teploty zařízení apod., aby bylo možné správně porovnat zjištěné hodnoty s předchozími měřeními. Pro získání co nejpřesnějších výsledků měření snímače umístíme v každém měřicím bodě ve třech směrech: horizontální, vertikální, axiální. Při měření v horizontálním směru získáváme většinou

nejsilnější vibrace, to je zapříčiněno konstrukčním provedením strojního zařízení, můžeme zjistit např.: nevyváhu. V axiálním směru naopak bývají vibrace nízké, jsou způsobovány například nesouosostí. Při pochůzce můžeme použít měření pouze jedním snímačem pod úhlem 45° . Takovéto měření se používá pro rychlé zjištění stavu stroje a nedosahuje tak přesných výsledků jako měření ve třech směrech. Při instalaci senzorů musíme dbát na bezpečnost. Volit vhodně dostupná a bezpečná místa. Neumísťovat je příliš blízko rotujících částí zařízení.



Obr. 4 Směry umístění snímačů na motoru. [5]

4.1.3. Metody k vyhodnocení vibrací

Frekvenční Analýza FFT

Je základní a nejpoužívanější analytická metoda, která vyhledává periodické děje v průběhu vibračního signálu a poté je zobrazuje v souřadném systému. Je-li souřadným systémem určena amplituda na ose y a frekvence na ose x jedná se o frekvenční spektrum. Pokud je na ose x určen čas a na ose y amplituda jde o časový průběh. Frekvenčním analyzátořem vibrací jsou všechny naměřené hodnoty zaznamenávány, vyhodnocovány a můžeme je zobrazovat v podobě tabulek a grafů. Hlavní výhodou metody rychlé Fourierovy transformace (FFT) je její rychlost, přesnost a jednoduché nastavení parametrů.

Kepstrální analýza

Vyhledává opakující se děje ve frekvenčním spektru. Tedy rozdíly mezi opakujícími se frekvenčními čarami. Metoda je vhodná pro frekvenční spektrum, které má několik nosných frekvencí na které jsou namodulována boční pásma. Tato metoda je používána pro diagnostiku převodovek.

Obálková metoda

Využívá se k určování stavu ložisek a ozubených kol. Z důvodu opakujících se dějů, které vytváří mnohem menší vibrační signály s nižší amplitudou a vyšší frekvencí než u signálu vznikajících např.: otáčkami. Při vzniku závady na vnější dráze valivého ložiska vzniká malý opakující se signál, který je způsoben průchodem každého valivého elementu. Signál má tak malou energii, že se při měření v celkovém frekvenčním spektru ztratí v šumu a dalších budících otáčkových frekvencích.

4.2. Tribodiagnostika

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

Využívá se ke zjištění technického stavu strojního zařízení při současném zkoumání kvality samotného maziva. Mazivo je využíváno jako zdroj informací o změnách v technickém systému. Úkolem tribodiagnostiky je zjistit a určit výskyt nežádoucích látek v mazivu po kvalitativní nebo kvantitativní stránce a včas upozornit na možnost vyskytnutí poruchy popřípadě určit místo jejího vzniku.

4.2.1. Odběr vzorků

Odběr vzorků by měla provádět jedna osoba nebo musí být určeny přesné pokyny pro odběr na každém zařízení. Stroj musí být v provozu alespoň 20 minut z důvodu zahřátí a promíchání mazací náplně. Při odběru se nejprve odpustí mazivo do čisté nádoby a vrátí se zpět do stroje z důvodu propláchnutí vypouštěcího mechanismu. Mazivo se odebírá do čistých vzorkovnic. Vzorkovnice se musí přesně označit (název nebo číslo stroje,

druh maziva, datum odběru, jméno pracovníka, který prováděl odběry vzorků) a stanoví se požadované rozbory.

4.2.2. Rozdělení tribodiagnostických metod

Sledování degradace samotného maziva

Metody sloužící k vyhodnocování fyzikálních a chemických vlastností maziva.

Kinematická viskozita

Určuje mazivost olejů. Je hlavním ukazatelem stavu maziva v oblasti hydrodynamického tření. Z toho důvodu je prioritní zkušební metodou. Zjišťují se náhlé změny viskozity a to buď zvyšování, které může být zapříčiněno oxidačními produkty, nebo tvorbou emulze těchto produktů s vodou. A může tedy docházet ke zvyšování tření a energetickým ztrátám. Nebo snižování, které zapříčiňuje degradace aditiv nebo možné vniknutí pohonných hmot do motorových olejů. Může dojít až k zadření stroje.

Určení viskozity

Provádí se pomocí viskozimetrů většinou kapilárního typu. Měření je časově náročné, nejprve se olej zahřeje na teplotu 40°C. Poté se měří doba, za kterou proteče viskozimetrem. Výsledná kinematická viskozita se vypočítává pomocí vztahu:

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

kde: ν je výsledná kinematická viskozita

C je konstanta viskozimetru (uváděna ve zkušebním listě viskozimetru)

τ je doba za kterou proteče mazivo viskozimetrem

Obsah vody

Voda nebo vlhkost v oleji způsobuje rychlejší degradaci maziva a můžou způsobovat korozi součástí strojního zařízení, pění oleje, zvyšování viskozity, tvorbu emulze, degradaci aditiv. Maximální možný obsah vody v mazacím oleji je 0,2 % hmotnostního obsahu.

Určení množství vody

Kvalitativní metody:

- Vizualní zkouška

Posouzení množství vody v oleji po důkladném protřepání vzorku, pouhým vizuálním posouzením tato metoda požaduje velké zkušenosti a znalosti pracovníka. Je-li v oleji obsaženo alespoň 0,025 % hmotnostního procenta vody, dojde k jeho zakalení. Pokud vzorek vodu neobsahuje, zůstane čirý.

- Prskací zkouška

Ze vzorku se odeberou 2 až 3 kapky, které se kápnou na zkušební plochu vyhřátou na 180°C při obsahu vody 0,02 % tvorba několika mikrobublinek s vířivým pohybem uvnitř kapky. U obsahu vody 0,1 % vzniknou drobné bublinky o rozměrech přibližně 0,5 mm po dobu 1-2 s. Při obsahu 0,2 % vody vznikají bublinky veliké asi 1 mm po dobu přibližně 3 s. Pokud vzorek neobsahuje vodu ani vlhkost nevznikají žádné bublinky a povrch skvrny se nemění.

Kvantitativní metody:

- Coulometrická metoda

V titrační nádobě se uvolňuje průchodem proudu jódu, který reaguje s vodou obsaženou ve vzorku oleje (1 mol jódu reaguje s 1 molem vody). Po zreagování veškeré vody s jodem je určeno zbylé množství přebytečného jódu.

- Destilační zkouška

Určení množství vody v oleji destilací s rozpouštědlem (např.: xylenem) s menší přesností (od 0,02 %) než jakou umožňuje Coulometrická metoda.

Číslo kyselosti a alkality

Celkové číslo kyselosti

Vyjadřuje množství hydroxidu draselného v mg upotřebeného k neutralizaci všech kyselých složek přítomných v 1 g vzorku oleje.

Celkové číslo alkality

Vyjadřuje množství kyseliny chloristé určené množstvím mg hydroxidu draselného potřebného k neutralizaci všech zásaditých složek obsažených v 1 g vzorku oleje.

Určení čísla kyselosti a alkality

- Určení čísla kyselosti potenciometrickou titrací

Pro určení čísla kyselosti a alkality se používá potenciometrická titrace, která funguje na principu reakce zkušební vzorku oleje s titračním činidlem. Pomocí dvou elektrod a elektrického proudu. Sleduje se spotřeba titračního roztoku.

- Určení čísla kyselosti přibližnou metodou

Stanovuje, jestli číslo kyselosti překročilo nebo nepřekročilo zvolenou mez. Principem zkoušky je neutralizace kyselých složek oleje hydroxidem alkalického kovu. Při této metodě se smíchá stejné množství odebraného vzorku oleje a zkušební roztoku. Nechají se spolu asi 15 minut reagovat. Během této doby se roztok rozdělí na dvě složky. Ke stanovení výsledku se bere v úvahu barva vrchní vrstvy kapaliny. Jestliže je barva modrá až modrozelená, je číslo kyselosti oleje menší než mez určená koncentrací hydroxidu ve zkušebním vzorku. Pokud se barva změní na zelenou, číslo kyselosti oleje je shodné s určenou mezí. Jestli se vzorek zabarví do zelenožluté až žluté barvy je číslo kyselosti větší než daná mez. Metodu lze rychle využívat přímo v provozu nebo v laboratoři a její výsledky jsou dostatečně přesné.

Sledování stavu opotřebení strojního zařízení

Metody pro zjišťování celkového stavu maziva a strojního zařízení.

Atomová spektrometrie

Zjišťuje kvalitativní popřípadě kvantitativní složení odebraného vzorku maziva rozborem spektra. Umožňuje určit přítomnost a koncentraci většiny prvků z periodické soustavy. Atomová spektrometrie se rozděluje na absorpční (jednodušší a levnější technika) a emisní (jedno měření určí kvantitativní i kvalitativní jakost vzorku).

- Atomová absorpční spektrometrie

Vychází z Kirchhoffova zákona, že každý prvek je schopen absorbovat záření stejné vlnové délky jakým vyzařuje. Měří se zeslabení paprsku při prostupu analytickým prostředím. Při procesu atomové absorpce dochází k vstřebávání volných atomů prvku na vlnové délce charakteristické pro tento prvek. Pro sledování atomového spektra je nutno měřený prvek převést do plynného stavu.

- Atomová emisní spektrometrie

Pozoruje záření, které vyšlou vzbuzené molekuly nebo atomy, které do tohoto stavu uvedeme dodáním energie. Pozoruje se kvalitativní i kvantitativní složení spektra.

5. Základní parametry stroje SPT 16 NC

K tvorbě této kapitoly bylo použito informací z literatury [9].

Soustružnický poloautomat SPT 16 NC se ve firmě Česká zbrojovka a.s. nachází v nezbrojní výrobě, odvětví letecké výroby. Vyrábí převážně menší díly do leteckých převodovek k motorům Walter M601.



Obr. 5 Soustružnický poloautomat SPT 16 NC [11]

Stroj SPT 16 NC je soustružnický číslicový poloautomat určený pro obrábění tvarově složitějších dílů a při použití speciálního příslušenství disponuje i možností pro obrábění složitých součástí z tyče. Kromě obrábění povrchových, čelních, vnitřních, válcových, kulových nebo kuželových ploch umožňuje stroj vrtat a soustružit otvory. Řezat vnitřní i povrchové závity. A při použití zvláštního příslušenství umožňuje frézovat a vrtat mimo osu obrobku. Ke stroji je připojen řídicí systém, který využitím podprogramů zjednodušuje technické programování a umožňuje změnu programů přímo ve stroji. V automatickém stavu stroj ovládá všechny hlavní i pomocné funkce zařízení. Můžou to být např.: pohyby obráběcích nástrojů po ose vřetena nebo kolmo na osu vřetena. Dále to mohou být posuvy, rychloposuvy, natáčení nástrojových hlav nebo otáčky vřetena. Stroj je konstruován tak, že všechny jeho součásti tvoří jeden celek, který je zakrytován odnímatelnými plechovými díly. Krytem je zajištěn i pracovní prostor stroje, který je možno odsunout. Na tomto krytu je umístěno bezpečnostní sklo, aby bylo umožněno sledování postupu výroby obráběného dílu. Účel je ochránit obsluhu stroje proti odletujícím třískám a chladicí kapalině.

5.1. Průběh renovace

S ohledem na horší technický stav stroje, kdy již nebylo možné provádět povrchovou úpravu obráběných dílů s takovou přesností a kvalitou jaká byla požadována, bylo usouzeno, že je nutné provést generální opravu. Z důvodu úspory finančních prostředků a snahou o nejkratší odstávku výrobního procesu probíhala oprava výměnou formou. Původní stroj byl odvezen a nahrazen již zrenovovaným strojem stejného typu.

Rozsah oprav: Na stroji byl vyměněn řídicí systém za moderní Siemens 840 D. Byly zrenovovány nebo vyměněny veškeré elektrické části jako např.: rozvaděče, pohony, kabeláž, spínače. Oprava, přetěsnění a výměna ložisek nástrojové hlavy. Renovace, broušení a výměna kluzných hmot na vodorovných plochách stroje. Renovace koníku zahrnovala výměnu ložisek, přetěsnění, výrobu nové hydraulické kostky, nový seřizovací mechanismus a ustavení do geometrie. Oprava komutátoru, výměna ložisek na hlavním pohonu. Výměna ložisek a seřízení kuličkových šroubů. Modernizace hydrauliky, oprava rozvodů mazání a mazacího agregátu. Přetěsnění upevňovacího válce. Oprava vřeteníku a převodovky – náhon vřetene na přímo bez převodovky (výměna uložení, přetěsnění, vyčištění, přebroušení vřetene a výroba nových distančních kroužků). Seřízení veškeré geometrie stroje, oprava vnějších krytů, bezpečnostních skel a nanesení nového nátěru. Změna hlavních parametrů stroje jako zvýšení kroutícího momentu vřetene, otáček a rychlosti posuvů.



Obr. 6 Stroj SPT 16 NC 1 před renovací



Obr. 7 Stroj SPT 16 NC 1 po renovaci

Tab. 1 Technické parametry stroje SPT 16 NC

Parametr	Jednotky	Před renovací	Po renovaci
Výkon motoru	kW	16	39
Max. kroutící moment vřetene	Nm	550	2500
Rozsah otáček vřetena	min ⁻¹	40 - 4000	100 - 5000
Rychloposuv podélný	mm.min ⁻¹	6000	20000
Rychloposuv příčný	mm.min ⁻¹	6000	22000
Max. posuvná síla podélně	N	20000	25000
Max. posuvná síla příčně	N	15000	17900
Max. délka obráběné hřídele	mm	500	
Max. délka obráběné příruby	mm	120	
Max. průměr obráběné tyče	mm	40	
Max. hmotnost obrobku	kg	50	
Rozměry stroje	mm	3200 x 1250 x 1870	
Hmotnost stroje	kg	4200	

6. Analýza a výsledky 1. měření

Zjišťování technického stavu stroje SPT 16 NC 1 probíhala formou multiparametrické diagnostiky, kdy bylo použito dvou nejvyužívanějších metod tribodiagnostiky a vibrodiagnostiky.

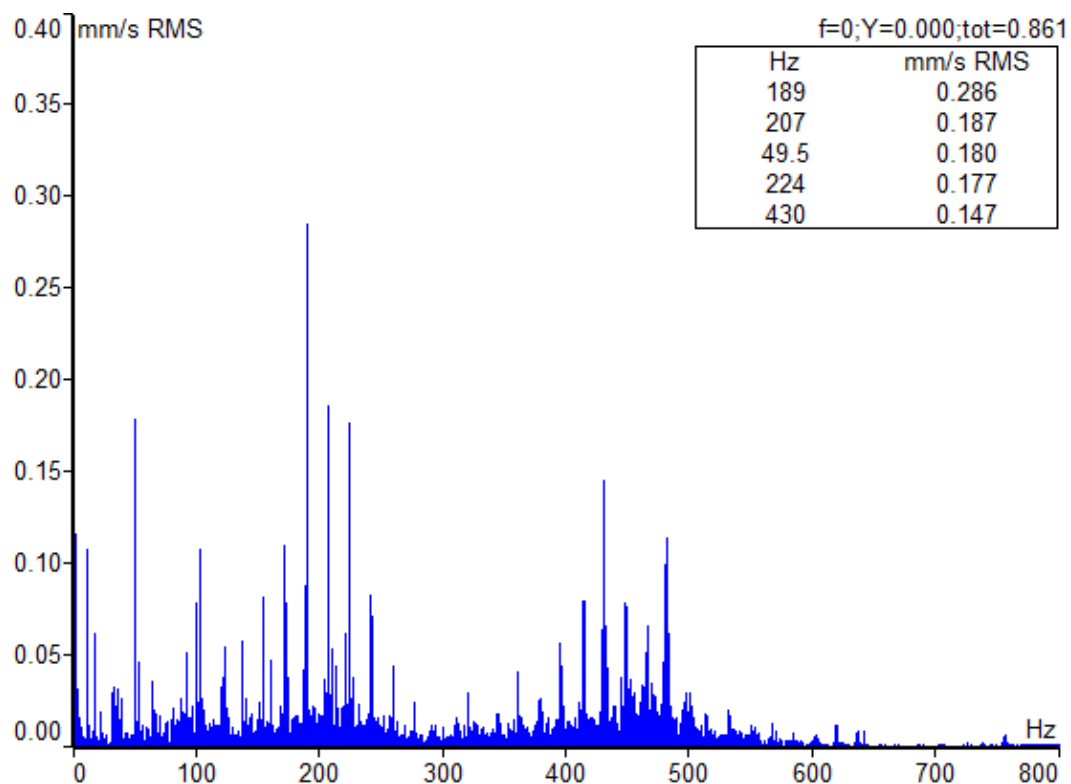
6.1. Vyhodnocení vibračního signálu

Měření vibrací bylo uskutečněno 24. 10. 2014. Vibrace byly měřeny přístrojem ADASH A4400 VA4 Pro, nejprve při otáčkách 400 ot/min a poté 1000 ot/min. Pro analýzu naměřeného signálu bylo využito softwaru Virtual Unit Va4Pro. Mezní hodnoty vibrací byly určeny dle normy ČSN 20 0065.

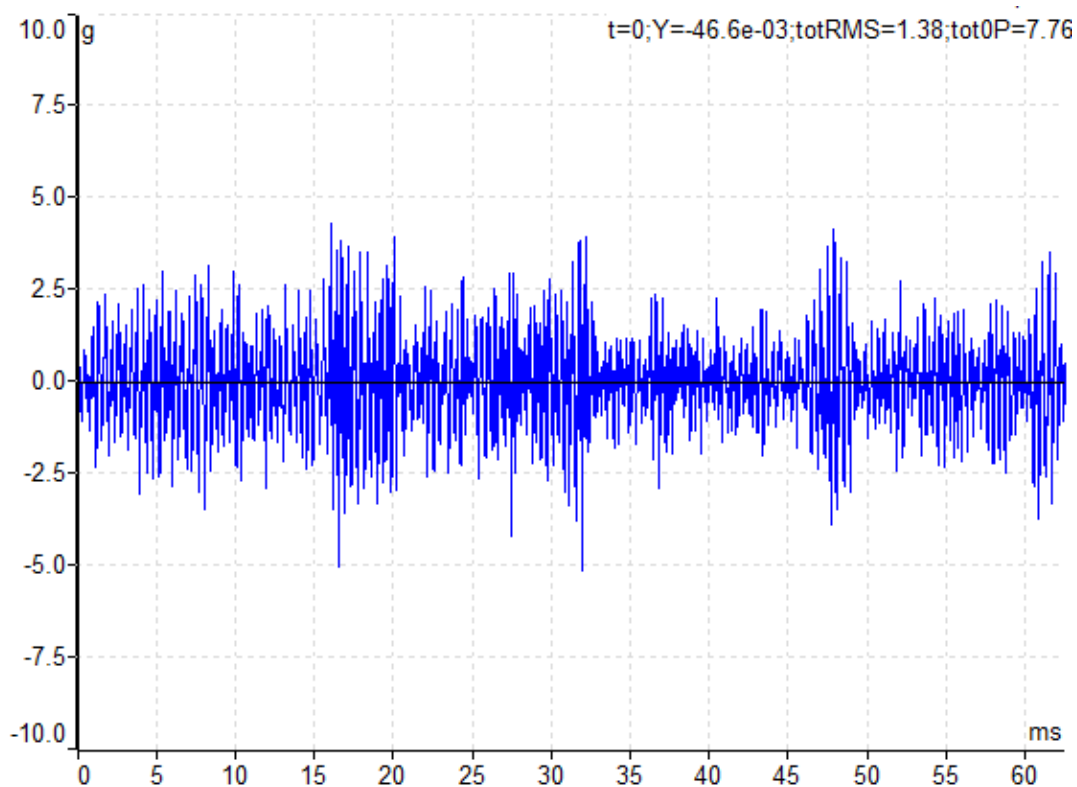
Tab. 2 Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS}) stroje SPT 16 NC 1.

		Směr umístění snímačů		
otáčky		Vertikální	Horizontální	Axiální
400 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,09 mm/s	0,09 mm/s	0,15 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,16 g	0,18 g	0,12 g
1000 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,89 mm/s	0,65 mm/s	0,59 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	1,35 g	1,31 g	1,24 g

Zjištěné efektivní hodnoty rychlosti vibrací měřené na nezrekonstruovaném soustruhu jsou při nízkých otáčkách téměř zanedbatelné. Mírně zvýšené jsou efektivní hodnoty zrychlení vibrací při 1000 ot/min.

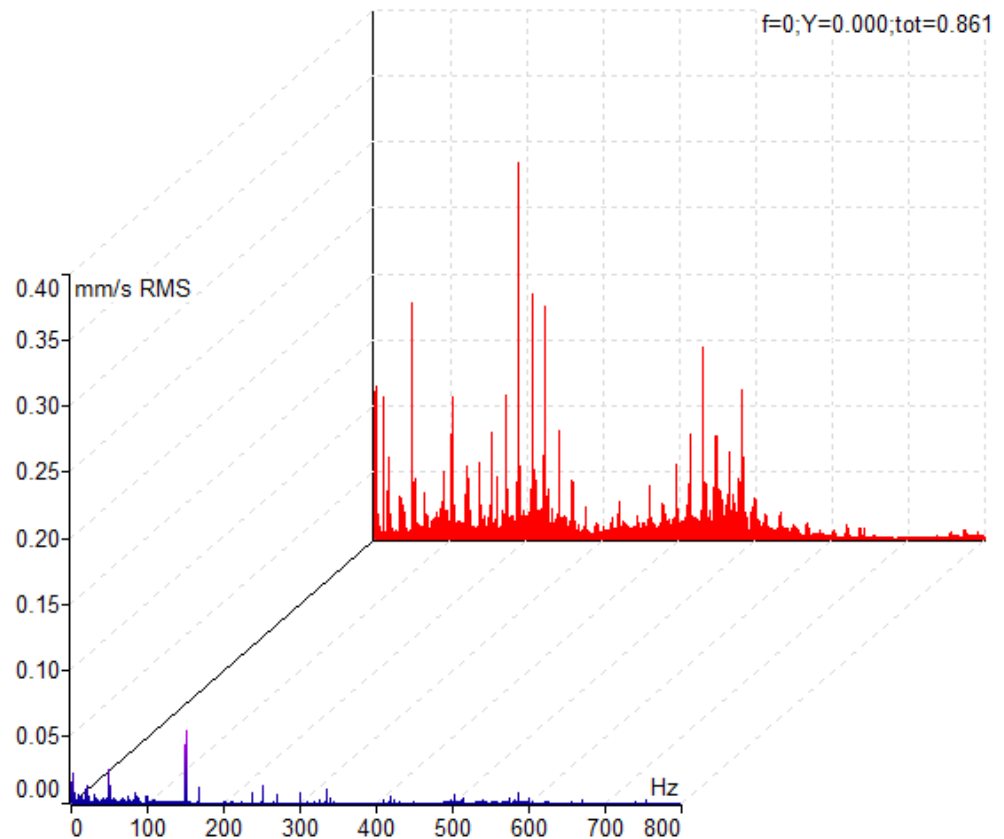


Obr. 8 Frekvenční spektrum efektivní hodnoty vibrací stroje SPT 16 NC 1 ve vertikálním směru při otáčkách 1000 ot/min, měřeno v bodě L1.



Obr. 9 Časový signál efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu SPT 16 NC 1, měřeno v bodě L1 ve vertikálním směru při 1000 ot/min.

Při době jedné otáčky 60 ms se na grafu časového průběhu zobrazují vysoké hodnoty zrychlení vibrací. Tyto špičky jsou nárazy valivých elementů na poškozené vnitřní nebo vnější kroužky ložiska. U ložisek je rozvinut pitting.



Obr. 10 Frekvenční spektrum efektivních hodnot vibrací stroje SPT 16 NC 1 ve vertikálním směru, porovnání při 400 ot/min (modře) a 1000 ot/min (červeně), měřeno v bodě L1.

6.2. Tribodiagnostické rozbor

První odebrání vzorku oleje ze soustruhu SPT 16 NC 1 proběhlo 27. ledna 2015 (těsně před odstavením soustruhu a odvezením jej na renovaci). Byl odebrán vzorek hydraulického oleje Paramo OH-HM 46. A poté v laboratorních podmínkách podroben rozboru. Zkoumala se kinematická viskozita, číslo kyselosti, obsah vody, kód čistoty a byla provedena rentgenová spektrometrie.

Tab. 3 Charakteristické parametry nového oleje Paramo OH-HM 46

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15°C	kg/m ³	867
Kinetická viskozita při 40°C	mm ² /s	46
Viskozitní index	°C	110
Bod vzplanutí	°C	215

6.2.1. Kinematická viskozita

Postup pro určení viskozity kapilárními viskozimetry je dán normou ČSN 65 6216. Protřepaný vzorek oleje (asi 15 ml) byl aplikován do viskozimetru, který byl umístěn do vodní lázně, kde se asi po dobu 30 minut zahřál na teplotu 40°C. Po dosažení požadované teploty bylo provedeno měření.

Kinematická viskozita byla stanovena podle vzorce $v = C \cdot \tau$ [mm²s⁻¹]

Kde konstanta viskozimetru $C = 0,09408$.

Doba τ je aritmetický průměr doby měření (477s)

$$v = 44,8 \text{ mm}^2/\text{s}$$

Při porovnání naměřené viskozity s viskozitou nového oleje, můžeme zjistit její nepatrný pokles (asi o 1,2 mm²/s). Takováto malá změna viskozity nebude mít na chod provozovaného zařízení vliv.

6.2.2. Číslo kyselosti

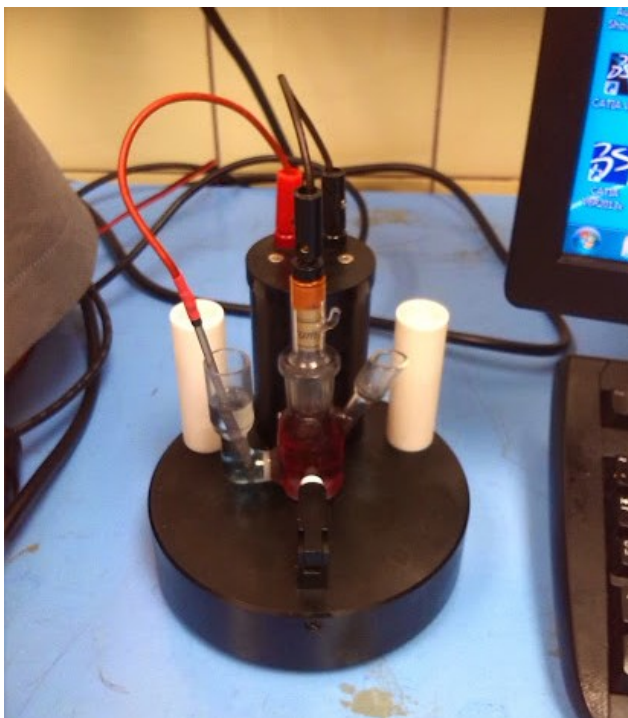
Zjišťování čísla kyselosti bylo prováděno metodou titrace na barevný indikátor dle normy ČSN ISO 6618 (ČSN 65 6070). Kdy se titrují kyselé sloučeniny vpravené se vzorkem oleje do zkušební roztoku KOH. Navážka zkušební oleje se volí velmi malá do obsahu 1 ml a musí být zaznamenána pro další výpočty. Následně byl proveden výpočet čísla kyselosti roztoku z přesné navážky vzorku oleje, spotřeby titračního činidla a jeho koncentrace.

Číslo kyselosti jsme měřili vícekrát, aby bylo dosaženo nejpřesnějšího výsledku.

Jeho následné určení bylo vypočítáno aritmetickým průměrem všech naměřených čísel kyselosti.

Výsledné číslo kyselosti je $0,191 \frac{\text{mg KOH}}{\text{g}}$

S ohledem na hraniční číslo kyselosti $0,5 \frac{\text{mg KOH}}{\text{g}}$ je možno olej nadále používat.



Obr. 11 Zjišťování čísla kyselosti metodou titrace na barevný indikátor.

6.2.3. Obsah vody

Množství vody ve vzorku oleje bylo zjištěno Coulometrickou metodou (dle normy ČSN 65 0300). Za použití Coulometrického přístroje Coulometr WTD. Do titrační nádoby s roztokem vpraví olejová navážka (asi 3 ml). U množství použitého oleje musí být přesně určena hmotnost pro další zadání do přístroje. Voda ve vzorku oleje se nechá průchodem proudu zreagovat s uvolňovaným jódem. Po zreagování veškeré vody Coulometrický přístroj umožní zadat přesné množství použitého oleje a vyhodnotí, kolik procent vody obsahuje analyzovaný vzorek.



Obr. 12 Měření obsahu vody (Coulometr WTD)

Hmotnostní podíl vody u analyzovaného vzorku hydraulického oleje stroje SPT 16 NC 1 je 0,0047 %

Vzhledem k maximálnímu povolenému množství vody v hydraulickém oleji 0,05 % můžeme konstatovat, že analyzovaný vzorek splňuje z hlediska obsahu vody podmínky pro stabilní a bezproblémový chod stroje.

6.2.4. Kód čistoty

Znečištění hydraulického oleje se provádělo na automatickém čítači nečistot dle normy ČSN ISO 4406/99, kdy první kódové číslo udává částice $\geq 4 \mu\text{m}$ v 1 ml maziva, druhé číslo kódu určuje počet částic $\geq 6 \mu\text{m}$ v 1 ml oleje a třetí kódové číslo stanovuje částice $\geq 14 \mu\text{m}$ v 1 ml oleje.

Zjištěné číslo kódu čistoty u měřeného maziva je 12/10/7, což je poměrně nízké znečištění oleje.

6.2.5. Rentgenová spektrometrie

Při vyhodnocování hydraulického oleje pomocí rentgenové spektrometrie na přístroji Spectro Xepos, byl zjištěn mírně zvýšený výskyt dvou otěrových prvků a to: hliníku a železa.

Tab. 4 Chemické látky obsaženy v hydraulickém oleji analyzovány rentgenovou spektrometrií.

Z	Značka	Prvek	Norm. Int.	Koncentrace	Absolutní chyba
16	S	Síra	6536,9499	3428ppm	3ppm
11	Na	Sodík	12,3514	1099ppm	31ppm
15	P	Fosfor	228,1781	273,3ppm	1,0ppm
30	Zn	Zinek	3425,4161	234,8ppm	0,5ppm
20	Ca	Vápník	19,1104	52,9ppm	0,6ppm
73	Ta	Tantal	67,5568	14,5ppm	0,3ppm
27	Co	Kobalt	11,9043	11,4ppm	0,9ppm
13	Al	Hliník	13,5401	11,2ppm	0,3ppm
26	Fe	Železo	91,5702	10,1ppm	0,1ppm
24	Cr	Chrom	15,6814	9,3ppm	0,5ppm
72	Hf	Hafnium	20,8812	4,6ppm	0,2ppm
74	W	Wolfram	21,9355	3,3ppm	0,3ppm
29	Cu	Měď	30,1549	2,8ppm	0,1ppm
25	Mn	Mangan	11,9453	2,4ppm	0,2ppm
28	Ni	Nikl	22,2835	1,9ppm	0,1ppm

Strojní zařízení		VZOREK				
SPT 16 NC 1		Číslo				46
		Typ oleje				hydraulický
		Název				OH-HM 46
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ		Specifikace DIN				
Název	SPT 16 NC 1	Specifikace ISO				
Typ-číslo stroje	SPT 16 NC 1	Specifikace SAE				
výrobní číslo		Jiná specifikace				
Strojní uzel	Hydraulický obvod					
Množství provozní náplně		Místo odběru				
Doba provozu od posl. výměny		Datum převzetí				
Doba provozu celkem		Dodal:				
V průběhu provozu doplněno		Datum vypracování				
VÝSLEDKY ZKOUŠEK						
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	ČSN EN ISO 3104	41,4	50,6		44,8
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		0,3	0,5	0,191
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0,05	0,0047
Mechanické nečistoty	mg/100cm ³	ČSN 65 6220		20	50	10
Kód čistoty	třída	ČSN ISO 4406		21/18/15		12/10/7
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm	metodika		25	50	10,1
obsah Cu	(mg/kg)			30	40	2,8
obsah Cr					10	9,3
obsah Sn					15	< 3,0
obsah Si				20	40	< 5,1
Aditiva, degradace						hodnota
obsah S	ppm	metodika				3428
obsah P	(mg/kg)					273,3
obsah Mg						<101
obsah Mo						<1
obsah Zn						234,8
obsah Ca						52,9

Tab. 5 Výsledné hodnoty analyzovaného vzorku hydraulického oleje.

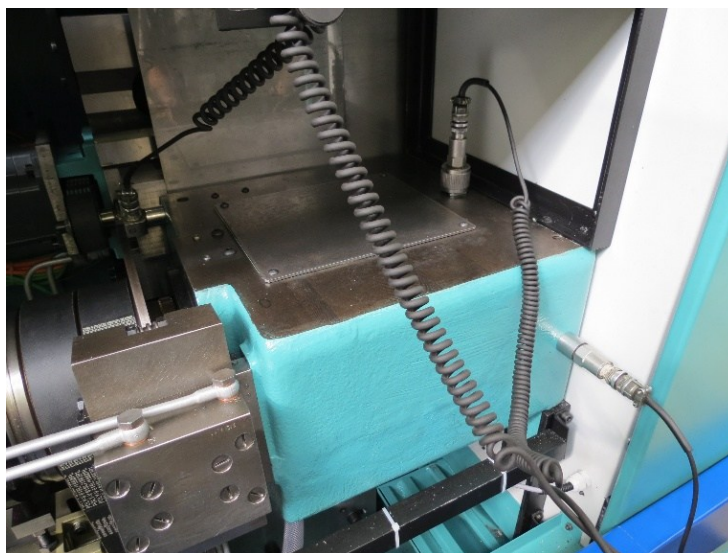
7. Analýza a výsledky 2. měření

Druhé měření se uskutečnilo 27. 4. 2015. Došlo k možnému odhalení horšího technického stavu zrenovovaného stroje a tak byl k porovnání stavu vybrán ještě druhý nezrekonstruovaný stroj stejného typu (SPT 16 NC 2). Měřily se vibrační signály obou soustružnických zařízení. Jelikož nový stroj nebyl ještě uveden do výroby, odběr vzorků maziva nebyl proveden.

7.1. Vyhodnocení vibrační stroje po generální opravě

Měření vibrační na zrenovovaném soustruhu SPT 16 NC 1 probíhalo na třech měřicích místech při různých hodnotách otáček. V bodě L1 a L2 se měřilo ve třech osách (vertikální, horizontální a axiální). V místě L3 se proběhlo měření pouze vertikálním směrem (na třech místech) z důvodu materiálu strojní části, na který nebylo možno připevnit magnet snímače.

- Měření v bodě L1

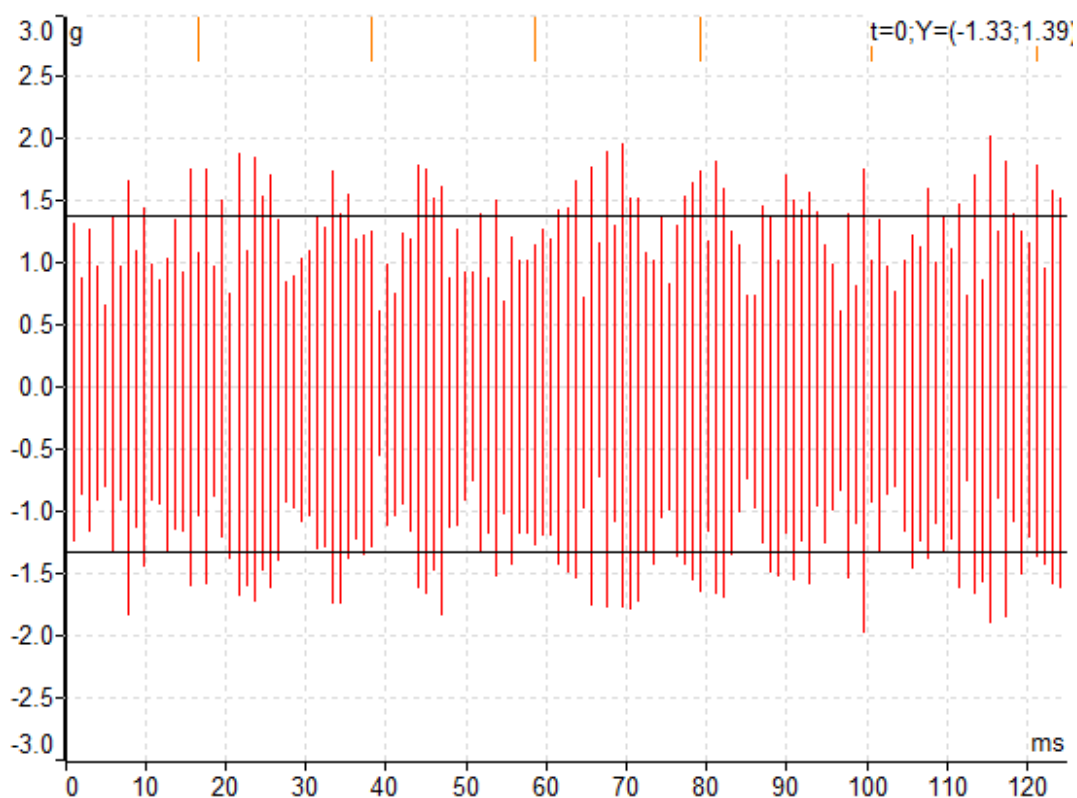


Obr. 13 Umístění snímačů na stroji SPT 16 NC 1 v měřicím bodě L1.

Tab. 6 Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS}) stroje SPT 16 I, měřené v místě L1.

otáčky		Směr umístění snímačů		
		Vertikální	Horizontální	Axiální
400 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,05 mm/s	0,14 mm/s	0,03 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,02 g	0,02 g	0,05 g
1000 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,12 mm/s	0,15 mm/s	0,12 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,09 g	0,11 g	0,16 g
2100 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	1,02 mm/s	0,18 mm/s	0,12 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,22 g	0,29 g	0,35 g
3000 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	1,36 mm/s	1,52 mm/s	0,27 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,8 g	0,69 g	0,83 g

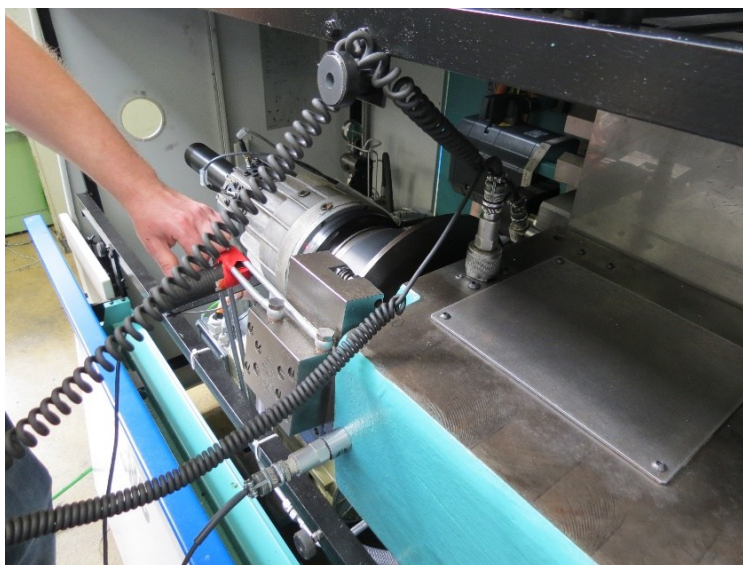
Při nízkých otáčkách jsou vibrace v povolených mezích. Při zvýšení otáček na 3000 ot/min stoupne rychlost vibrací ve vertikálním směru na 1,36 mm/s a horizontálním směru až na hodnotu 1,52 mm/s co už podle doporučených hodnot ukazuje zvýšené vibrace.



Obr. 14 Časový signál efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu SPT 16 NC 1, měřeno v bodě L1 v horizontální směru při 3000 ot/min.

Na grafu je zobrazen časový průběh vibrací, kde jedna otáčka trvá 20 ms. Na ose zrychlení vibrací se nevyskytují žádné špičky ani projevy nějakého poškození. Lze tedy říct, že ložiska stroje SPT 16 NC 1 jsou v pořádku.

- Měření v místě L2

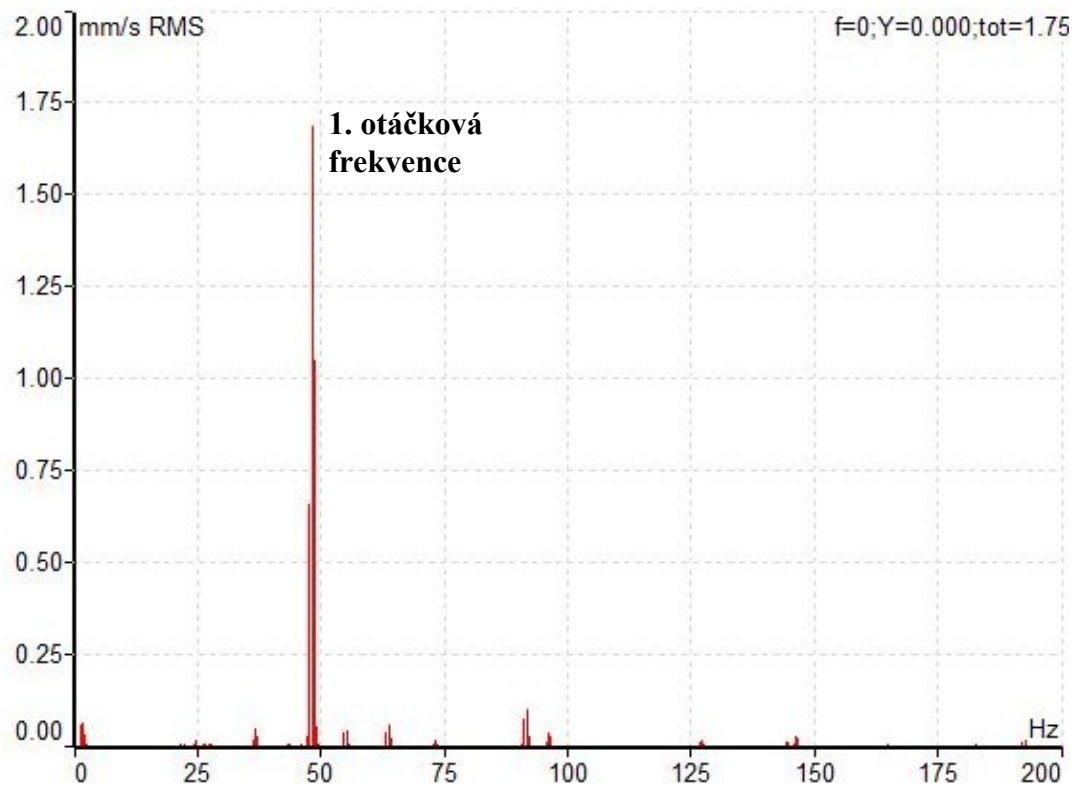


Obr. 15 Umístění snímačů na stroji SPT 16 NC 1 v měřicím bodě L2.

Tab. 7 Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS}) stroje SPT 16 1, měřené v místě L2.

otáčky		Směr umístění snímačů		
		Vertikální	Horizontální	Axiální
400 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,04 mm/s	0,04 mm/s	0,02 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,06 g	0,03 g	0,04 g
1000 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,18 mm/s	0,12 mm/s	0,13 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,24 g	0,13 g	0,14 g
2100 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	1,16 mm/s	0,3 mm/s	0,11 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,58 g	0,27 g	0,33 g
3000 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	1,6 mm/s	1,74 mm/s	0,28 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	1,03 g	0,518 g	0,673 g

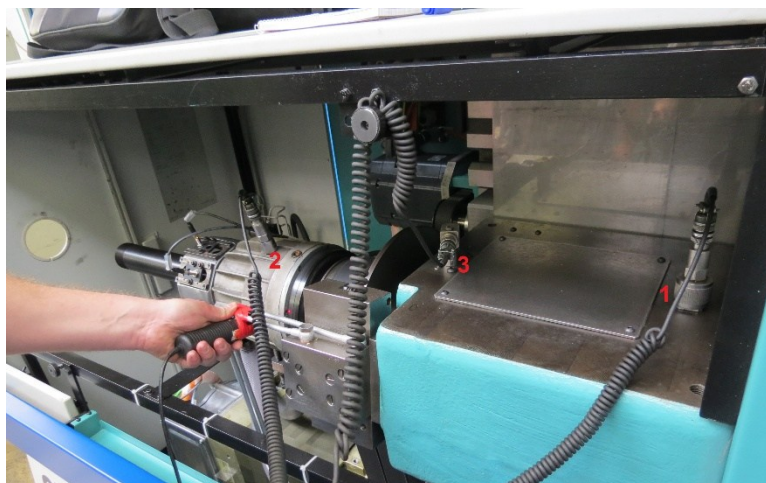
Při zvyšování otáček opět vzrůstá rychlost vibrací. Při 3000 ot/min jsou rychlosti vibrací v horizontálním směru na hodnotě 1,74 mm/s a vertikálním na 1,6 mm/s.



Obr. 16 Frekvenční spektrum efektivní hodnoty vibrací stroje SPT 16 NC 1 v horizontálním směru při otáčkách 3000 ot/min měřeno v bodě L2.

Na grafu frekvenčního spektra jdou vidět projevy vibrací na první otáčkové frekvenci 50Hz (3000 ot/min) a poté její násobky. Takový průběh rychlosti vibrací na frekvenčním spektru bývá projevem nevyváženosti stroje.

- Měření v bodě L3 probíhalo pouze vertikálním směrem.



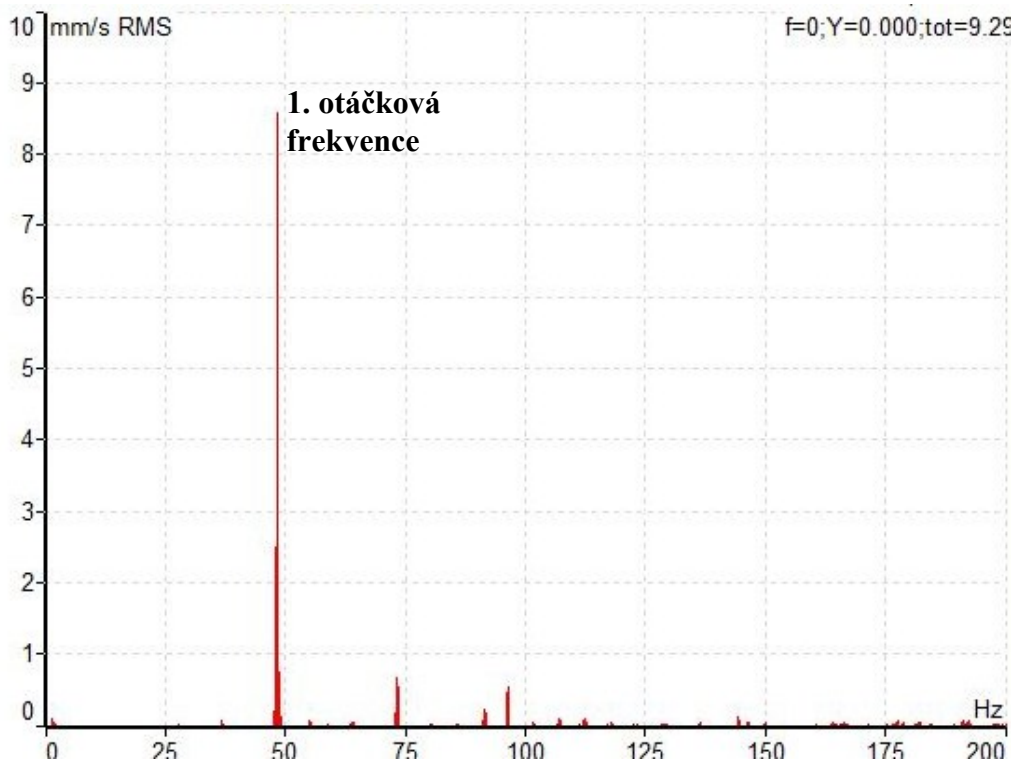
Obr. 17 Umístění snímačů na stroji SPT 16 NC 1 v měřicím bodě L3.

Tab. 8 Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS}) stroje SPT 16 1, měřené v místě L3.

otáčky		Směr umístění snímačů		
		Vertikální 1	Vertikální 2	Vertikální 3
400 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,03 mm/s	0,16 mm/s	0,02 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,03 g	0,03 g	0,05 g
1000 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,12 mm/s	2,65 mm/s	0,12 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,09 g	0,09 g	0,16 g
2100 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	1,03 mm/s	6,9 mm/s	1,08 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,19 g	0,29 g	0,57 g
3000 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	1,4 mm/s	9,26 mm/s	1,55 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,415 g	0,928 g	1,02 g

Při měření vibrací pouze jedním směrem jde z tabulky vypočítat, že se rychlosti vibrací zvyšují směrem od uchycení vřetene. U otáček 2100 ot/min se zjistili zvýšené hodnoty rychlosti vibrací v měřeném bodě 2, kde jejich velikost dosahuje hodnot 6,9 mm/s.

Ale při zvýšení otáček na 3000 ot/min vibrace vzrůstají až na 9,26 mm/s. Při takových hodnotách může hrozit poškození stroje.

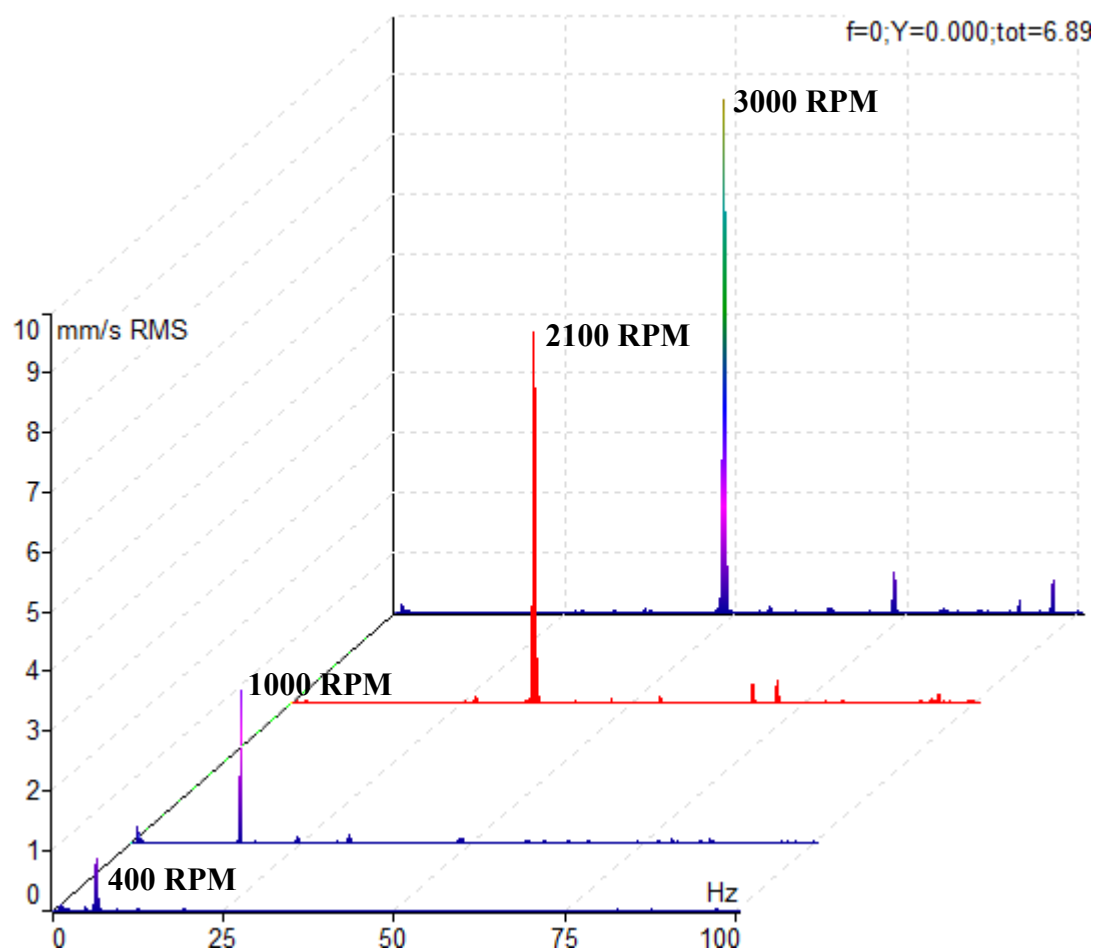


Obr. 18 Frekvenční spektrum efektivní hodnoty vibrací stroje SPT 16 NC 1 v horizontálním směru při otáčkách 3000 ot/min, měřeno v bodě L3.

Z grafu frekvenčního spektra můžeme určit, že rychlosti vibrací způsobuje nevyváženost stroje SPT 16 NC 1. Nevývaha se projevuje velmi vysokými hodnotami na první otáčkové frekvenci a její násobky se zobrazují dále na 100Hz.

Velké změna rychlosti vibrací mezi 1000 ot/min, 2100 ot/min a 3000 ot/min může být projevem rezonance, kterou může zaviňovat chyba konstrukce stroje.

Vysoké efektivní hodnoty rychlosti vibrací se dále přenáší do ložisek, které jsou více namáhány a poškozovány.



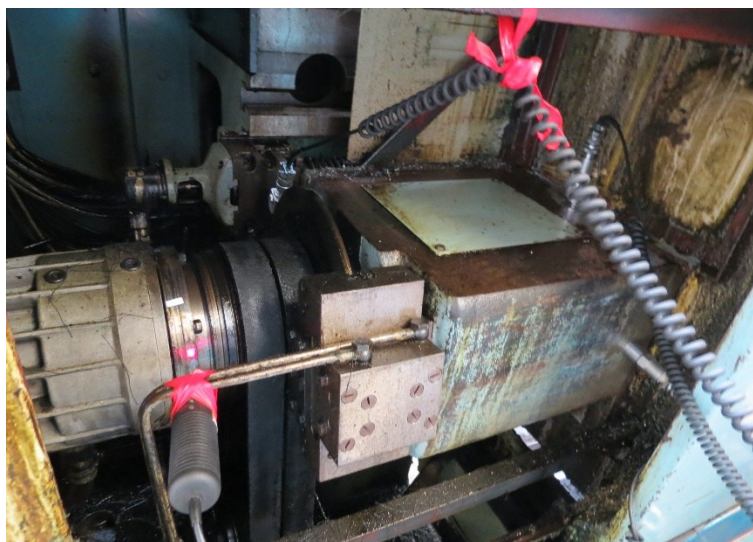
Obr. 19 Frekvenční spektrum efektivních hodnot rychlosti vibrací stroje SPT 16 NC 1 ve vertikálním směru 2, porovnání při různých otáčkách. Vpředu 400 ot/min, dále 1000 ot/min, 2100 ot/min a 3000 ot/min, měřeno v bodě L3.

Na grafu frekvenčního spektra jde pozorovat zvyšující se vibrace na první otáčkové frekvenci při různých otáčkách. Při nejnižších otáčkách 400 ot/min je velikost vibrací 0,16 mm/s. Dále při zvyšování otáček se také zvyšují hodnoty vibrací, kdy u nejvyšších otáček 3000 ot/min dosahují hodnot až 9,26 mm/s. Takto vysoké hodnoty rychlosti vibrací můžou způsobit poškození ložisek, do kterých se vibrace přenášejí.

7.2. Vyhodnocení vibrací nezrekonstruovaného zařízení

Měření na nezrenovovaném soustruhu SPT 16 NC 2 probíhalo stejným způsobem jako na stroji po generální opravě. Opět byly snímače umístěny na třech místech v bodě L1, L2 ve třech směrech. V bodě L3 pouze vertikálním směrem z důvodu vyhotovení části stroje z hliníku. Rozdíl byl pouze u maximálních hodnot otáček, které byly 2100 ot/min z důvodu nemožnosti dosažení tak vysokých jako u zrekonstruovaného zařízení.

- Měření vibrací v bodě L1

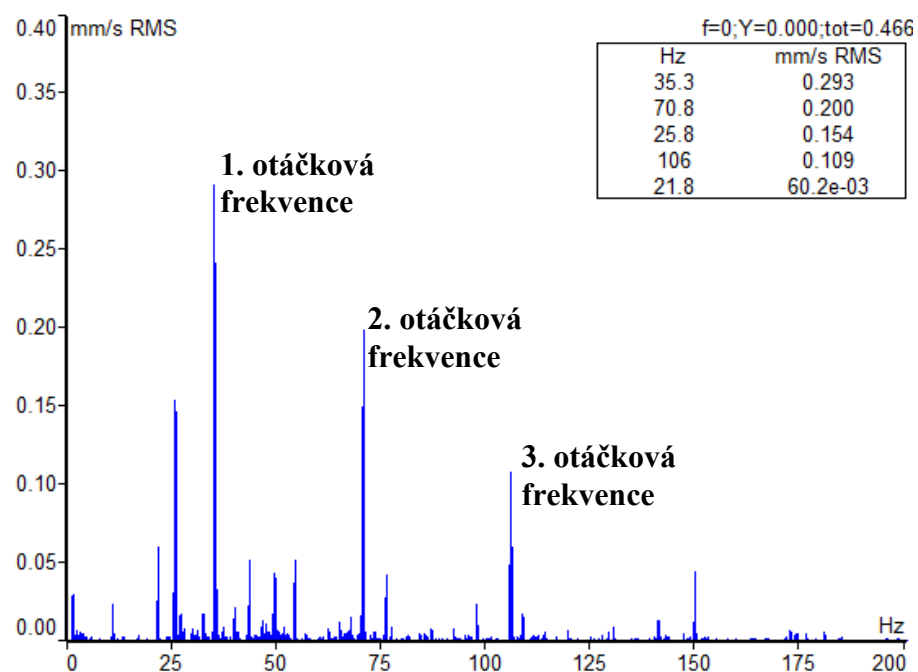


Obr. 20 Umístění snímačů na stroji SPT 16 NC 2 v měřicím bodě L1.

Tab. 9 Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS}) stroje SPT 16 2, měřené v místě L1.

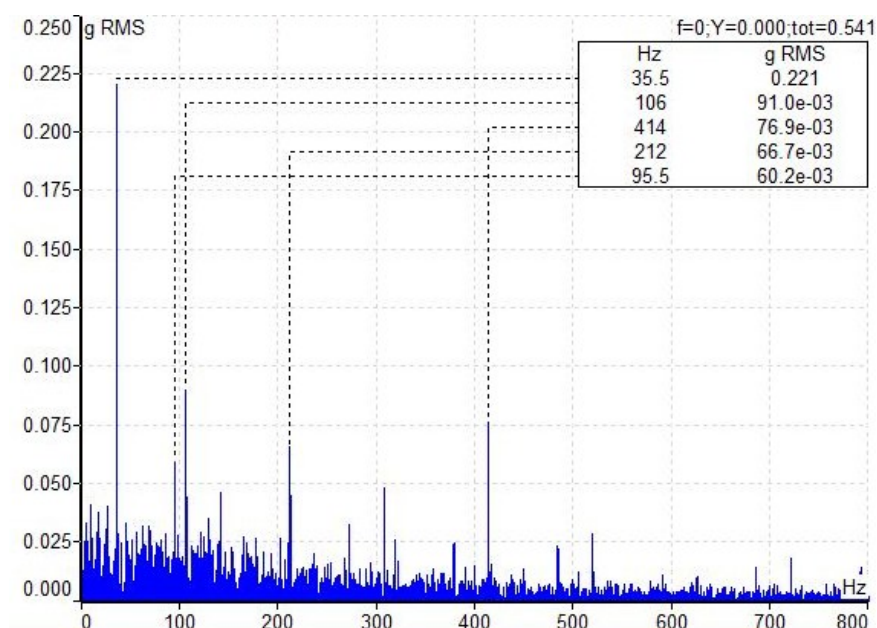
		Směr umístění snímačů		
otáčky		Vertikální	Horizontální	Axiální
400 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,11 mm/s	0,1 mm/s	0,07 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,11 g	0,1 g	0,16 g
1000 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,17 mm/s	0,16 mm/s	0,16 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,38 g	0,33 g	0,48 g
2100 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,46 mm/s	0,44 mm/s	0,17 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,83 g	0,9 g	0,9 g

Naměřené efektivní rychlosti vibrací v bodě L1 nabývají poměrně nízkých hodnot. Nejnižší hodnoty jsou v axiálním směru, kdy při nejvyšších otáčkách (2100 ot/min) narůstají na hodnotu 0,17 mm/s. Naopak nejvyšší jsou ve vertikálním směru 0,46 mm/s a horizontálním směru 0,44 mm/s.



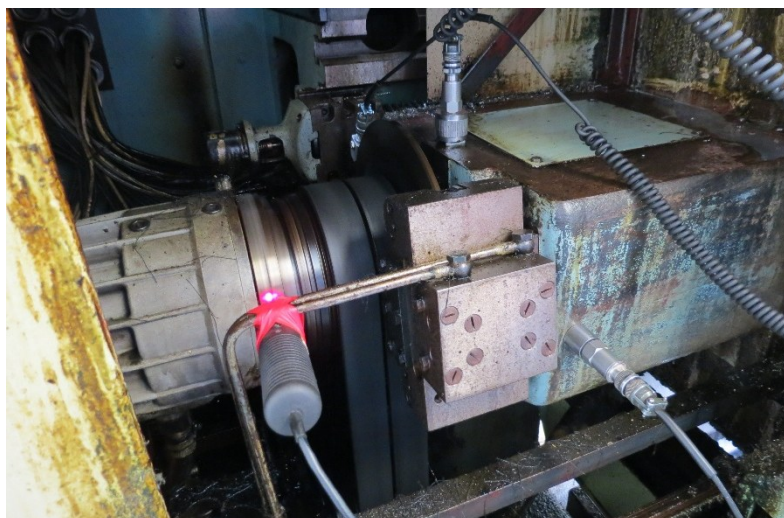
Obr. 21 Frekvenční spektrum efektivní hodnoty vibrací stroje SPT 16 NC 2 ve vertikálním směru při otáčkách 2100 ot/min, měřeno v bodě L1.

Na grafu frekvenčního spektra při otáčkách 2100 ot/min jdou vidět mírné projevy nevyváženosti. Projevuje se na 35 Hz, což je otáčková frekvence. Dále jdou vidět její násobky na 70 Hz a 105 Hz.



Obr. 22 Obálková metoda měřena ve vertikálním směru při otáčkách 2100 ot/min, v bodě L1 na stroji SPT 16 NC 2.

- Měření vibrací v bodě L2

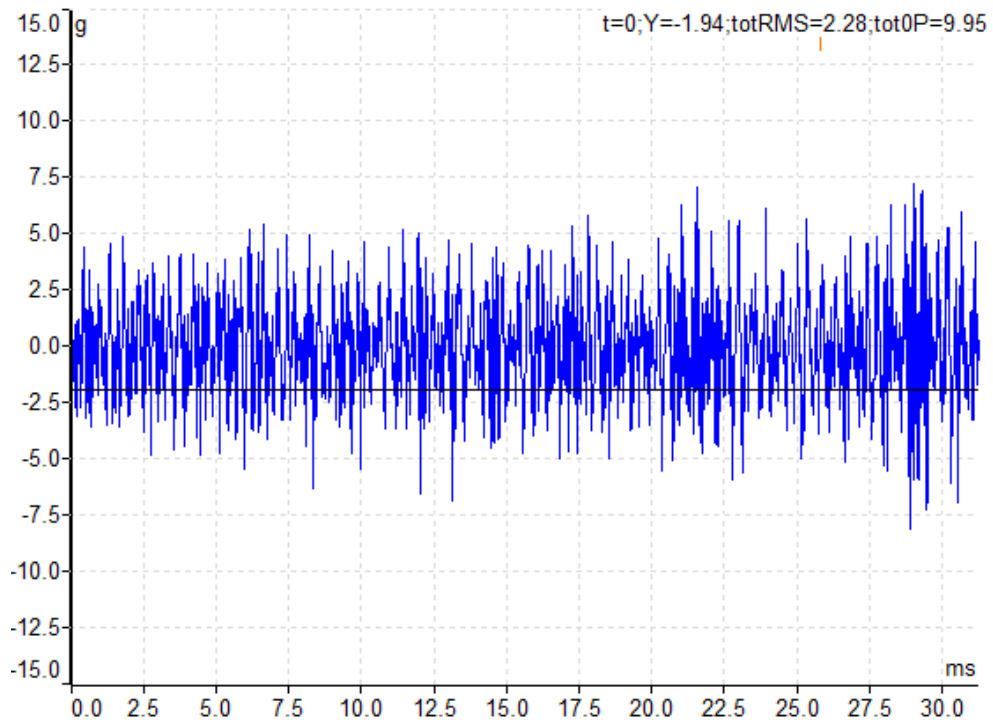


Obr. 23 Umístění snímačů na stroji SPT 16 NC 2 v měřicím bodě L2

Tab. 10 Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS}) stroje SPT 16 2, měřené v místě L2.

otáčky		Směr umístění snímačů		
		Vertikální	Horizontální	Axiální
400 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,14 mm/s	0,1 mm/s	0,07 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,35 g	0,24 g	0,15 g
1000 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,25 mm/s	0,16 mm/s	0,16 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	1,3 g	0,69 g	0,45 g
2100 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,46 mm/s	0,51 mm/s	0,17 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	2,27 g	1,32 g	0,94 g

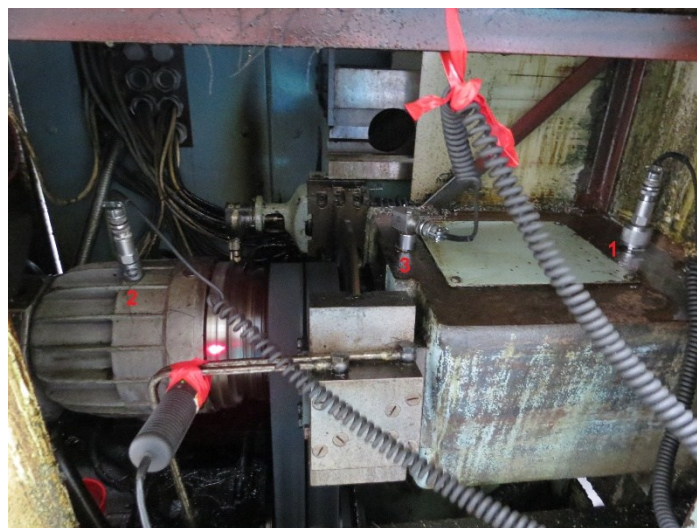
Hodnoty rychlosti vibrací dosahují podobných hodnot jakou u měření v bodě L1. Zvýšilo se zrychlení vibrací, což může signalizovat poškození ložisek. Ve vertikálním směru při 2100 ot/min dosahuje zrychlení vibrací 2,27 g což už je zvýšená hodnota.



Obr. 24 Časový signál efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu SPT 16 NC 2, měřeno v bodě L2 ve vertikálním směru při otáčkách 3000 ot/min.

Na grafu časového průběhu, kdy jedna otáčka proběhne za 28 ms, jdou vidět vysoké velikosti zrychlení vibrací. Tyhle špičky jsou způsobeny nárazy valivých elementů na vnější nebo vnitřní kroužky ložiska, u kterých je rozvinut pitting.

- Měření vibrací v bodě L3 pouze vertikálním směrem

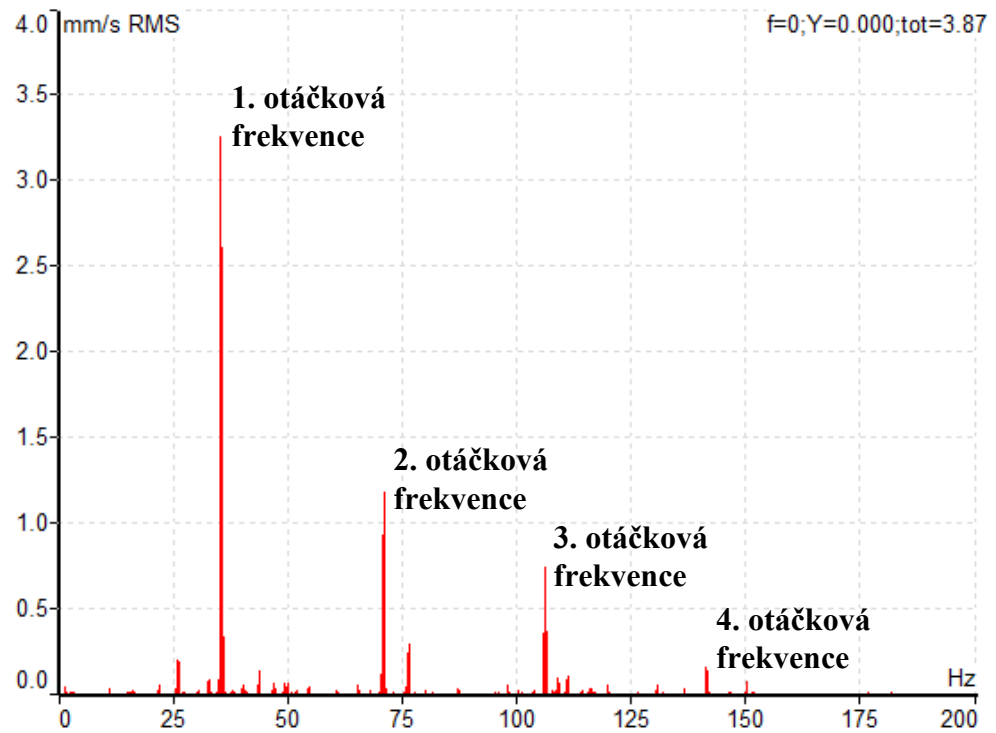


Obr. 25 Umístění snímačů na stroji SPT 16 NC 2 v měřícím bodě L3

Tab. 11 Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS}) stroje SPT 16 2, měřené v místě L3.

		Směr umístění snímačů		
otáčky		Vertikální 1	Vertikální 2	Vertikální 3
400 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,1 mm/s	0,55 mm/s	0,13 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,11 g	0,11 g	0,37 g
1000 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,19 mm/s	2,01 mm/s	0,25 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,35 g	0,26 g	0,82 g
2100 RPM	Rychlost vibrací v_{RMS}	0,48 mm/s	3,89 mm/s	0,49 mm/s
	Zrychlení vibrací a_{RMS}	0,72 g	0,62 g	1,9 g

Průběh rychlosti vibrací je podobný jako u soustruhu po generální opravě. Největší hodnoty vibrace nabývají v měřicím místě 2. Jejich hodnota při 2100 ot/min dosahuje hodnot 3,89 mm/s. Při takto vysokých rychlostech vibrací by měl být stroj používán jen po nezbytně nutnou dobu a v nejbližším možném období opraven.



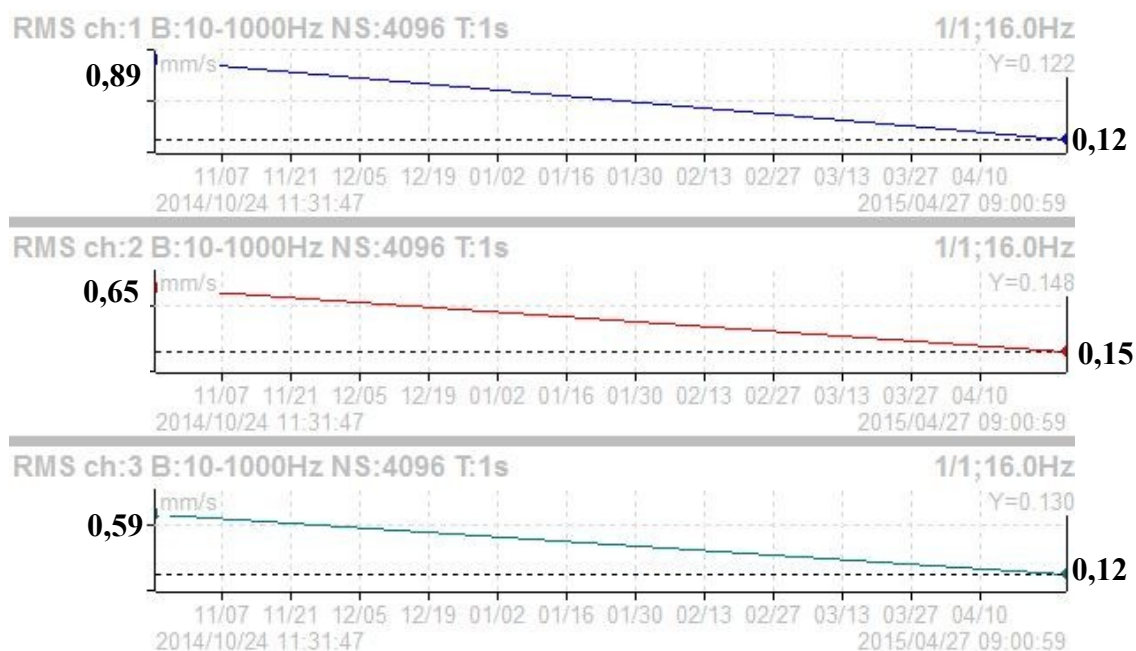
Obr. 26 Frekvenční spektrum efektivní hodnoty vibrací stroje SPT 16 NC 2 ve vertikálním směru při otáčkách 2100 ot/min, měřeno v bodě L3.

Ukázka vysokých rychlostí vibrací na frekvenčním spektru. Velká dynamická nevývaha na první otáčkové frekvenci (35 Hz) s dalšími násobky 70 Hz, 105 Hz 140 Hz.

8. Srovnání parametrů soustruhů

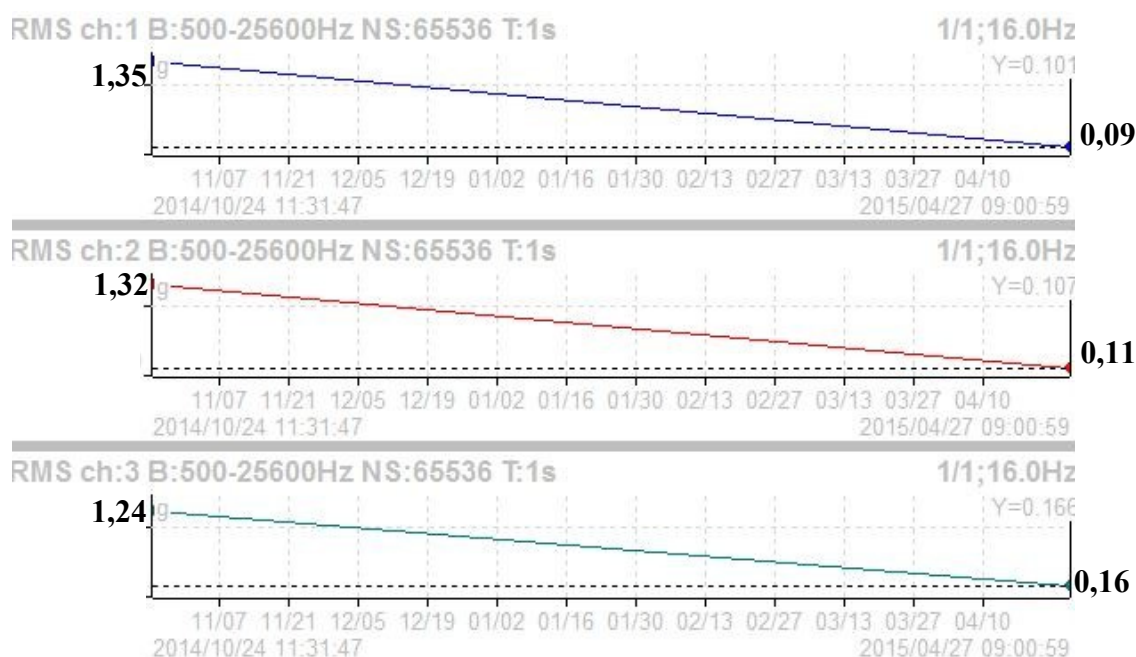
8.1. Srovnání zrekonstruovaného stroje s původním

Pro získání lepší představy jak se změnil stav soustruhu SPT 16 NC 1 před a po renovaci bylo provedeno srovnání. Porovnání proběhlo při stejných otáčkách 1000 ot/min.



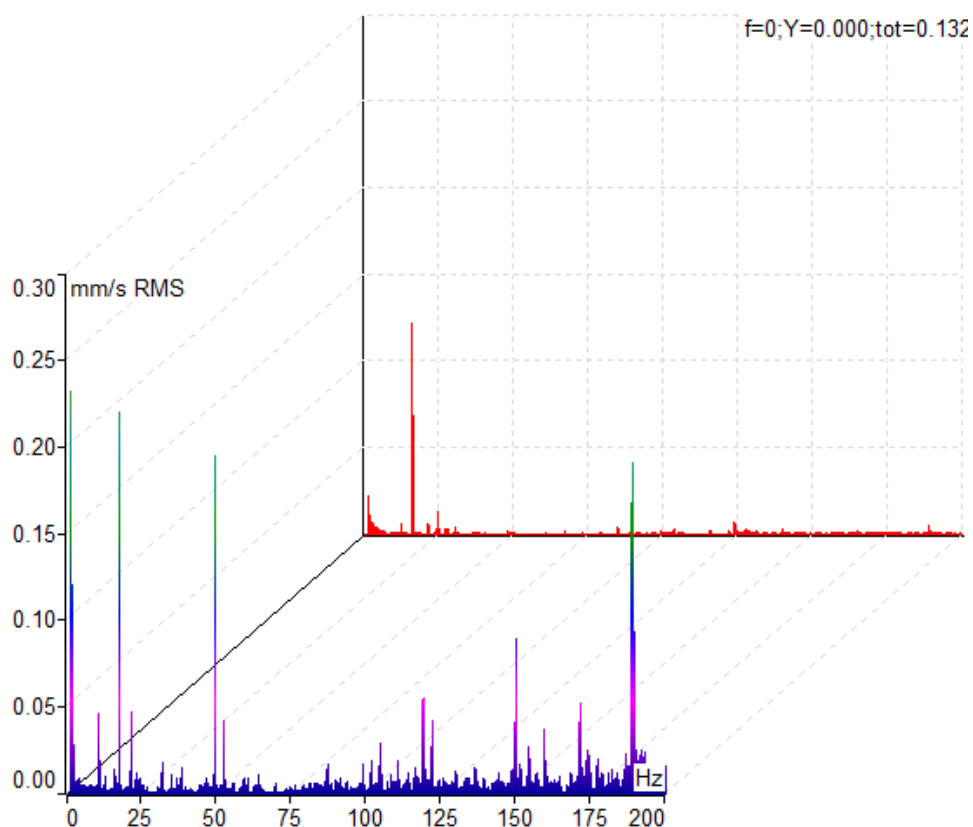
Obr. 27 Efektivní hodnoty rychlosti vibrací stroje SPT 16 NC 1 ve všech směrech při otáčkách 1000 ot/min, měřeno v bodě L1. Vlevo před renovací, vpravo po opravě.

Ze všech tří grafů můžeme pozorovat zmenšení rychlosti vibrací u zrekonstruovaného stroje ve všech měřených směrech (vertikálním, horizontálním i axiálním). Největší pokles vibrací je u vertikálního směru, kdy je změna skoro o 1 mm/s což je pokles o 87 %.



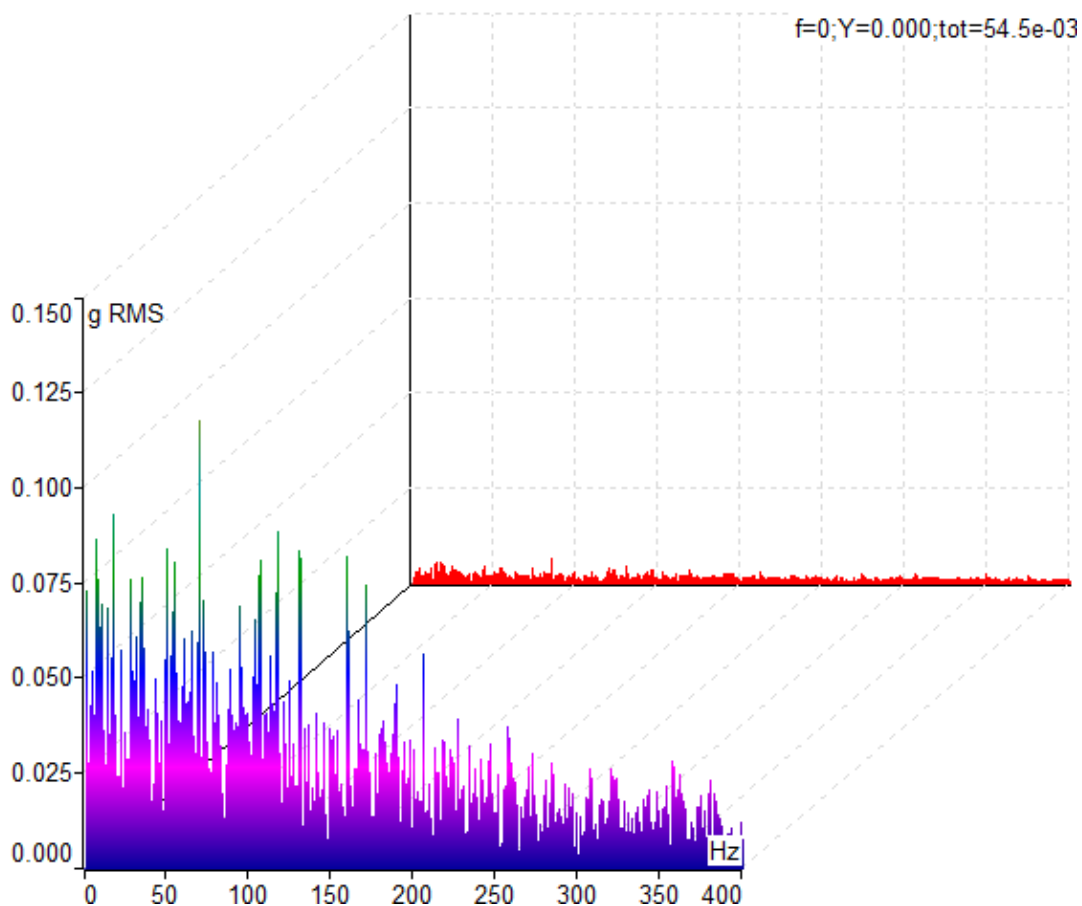
Obr. 28 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací stroje SPT 16 NC 1 ve všech směrech při otáčkách 1000 ot/min, měřeno v bodě L1. Vlevo před renovací, vpravo po opravě.

Stejně jako poklesly všechny hodnoty rychlosti vibrací tak i hodnoty zrychlení vibrací klesly na minimum. Hodnoty vibrací se před renovací pohybovali ve všech osách kolem 1,3 g. Po generální opravě poklesly na hodnotu přibližně 0,1 g. Celkový pokles efektivních hodnot zrychlení vibrací je o 91 %.



Obr. 29 Obr. 9 Frekvenční spektrum efektivních hodnot vibrací, porovnání stroje SPT 16 NC 1 v axiálním směru při otáčkách 1000 ot/min, v bodě L1. Modře stroj před renovací, červeně stroj po renovaci.

Porovnání frekvenčního spektra nezrenovovaného stroje vpředu se strojem po generální opravě. U nového zařízení se projevuje nevývaha na první otáčkové frekvenci (16Hz). Při nižších otáčkách jsou hodnoty nevývahy na nízkých hodnotách.

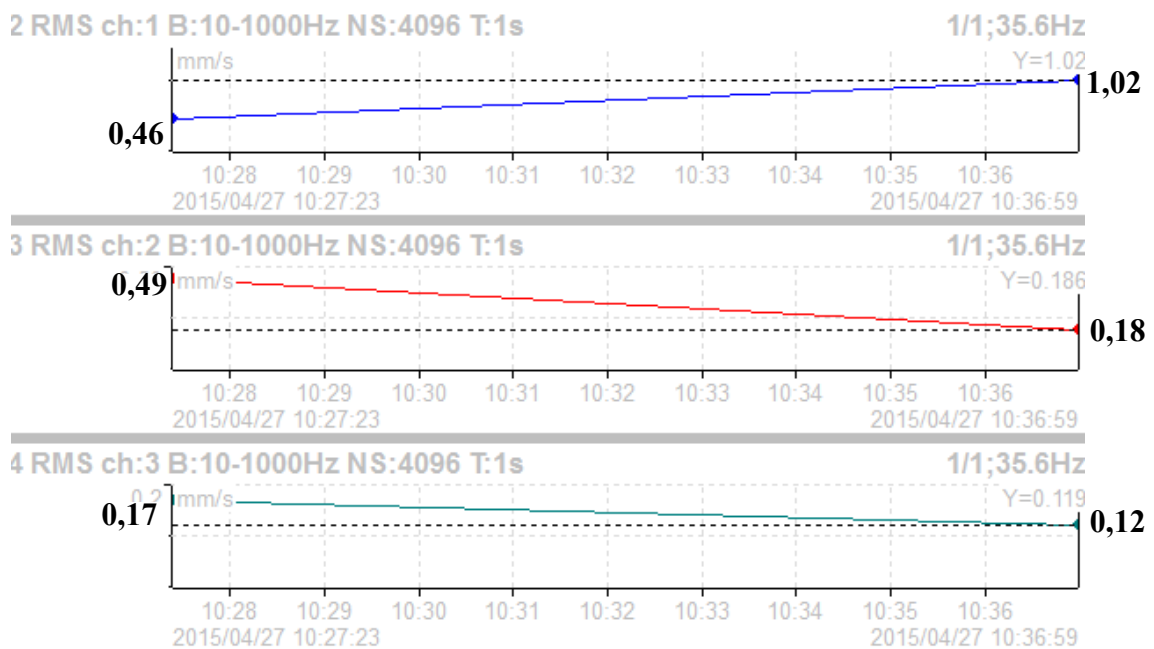


Obr. 30 Srovnání efektivních hodnot zrychlení vibrací stroje SPT 16 NC 1, obálková metoda měřena ve vertikálním směru při otáčkách 1000 ot/min, v bodě L1. Vpředu původní stroj před renovací, červeně stroj po opravě.

8.2. Srovnání zrekonstruovaného soustruhu s nezrekonstruovaným

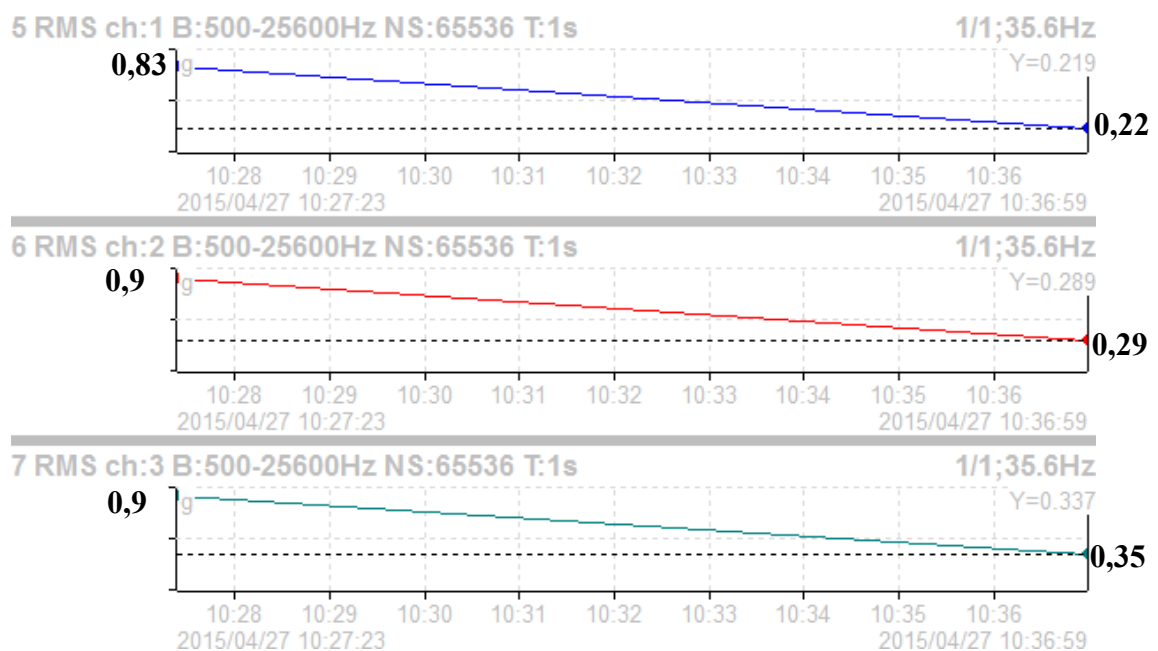
Porovnání stavu soustruhů bylo prováděno při vyšších otáčkách (2100 ot/min), kdy se vibrační signály projevují více než u menších otáček. Srovnával se stroj SPT 16 NC 1, který v únoru prošel generální opravou se strojem SPT 16 NC 2.

- Srovnání vibrací v měřicím bodě L1.



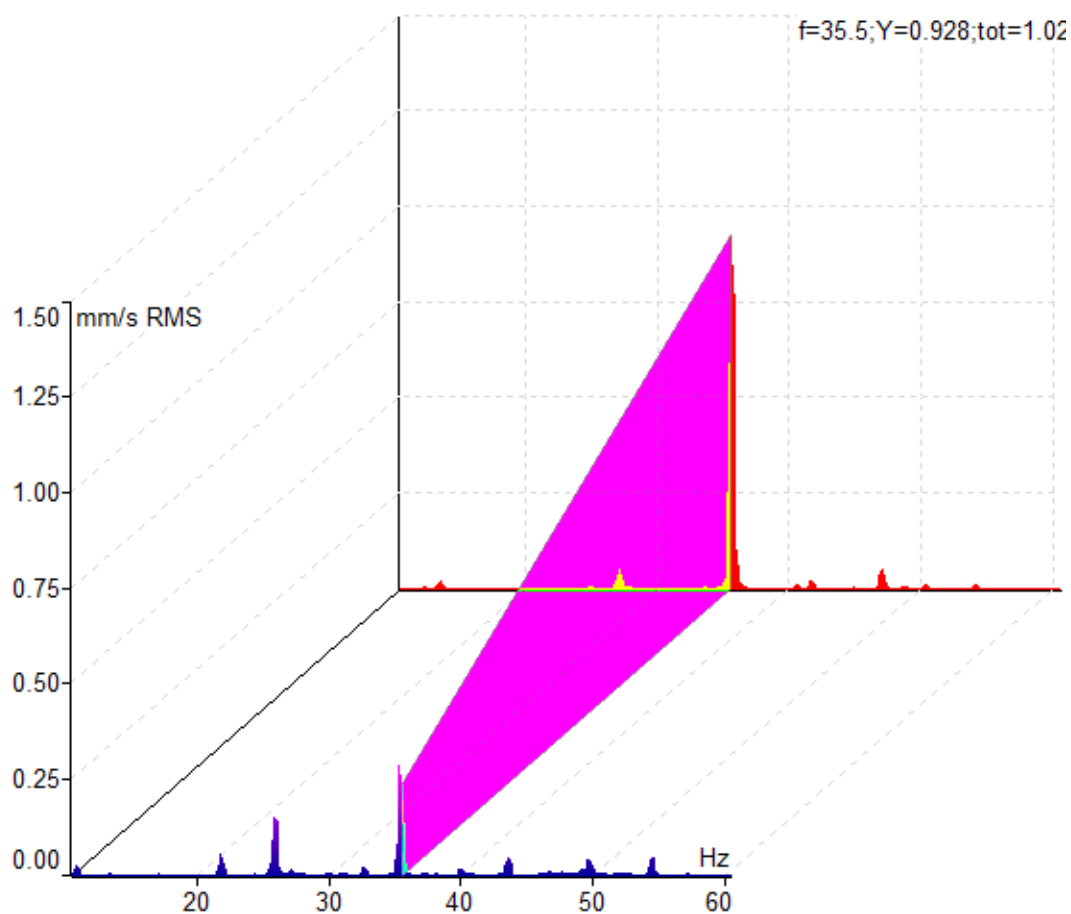
Obr. 31 Efektivní hodnoty rychlosti vibrací stroje SPT 16 NC 1 (vpravo) a SPT 16 NC 2 (vlevo) ve všech směrech při otáčkách 2100 ot/min, měřeno v bodě L1.

Při srovnání rychlostí vibrací ve vertikálním směru má zrenovovaný stroj vyšší hodnoty vibrací, než stroj nezrenovovaný. Naopak ve směru horizontálním a axiálním jsou hodnoty vibrací minimální.



Obr. 32 Efektivní hodnoty zrychlení vibrací stroje SPT 16 NC 1 (vpravo) a SPT 16 NC 2 (vlevo) ve všech směrech při otáčkách 2100 ot/min, měřeno v bodě L1.

U soustružnického zařízení po generální opravě jsou hodnoty zrychlení vibrací blížíící se 0,3 g (ve všech měřených směrech). Oproti tomu jsou na nezrenovovaném stroji vyšší hodnoty zrychlení, okolo 1 g.



Obr. 33 Frekvenční spektrum efektivních hodnot vibrací, porovnání stroje SPT 16 NC 1 (červeně) a SPT 16 NC 2 (modře) ve vertikálním směru při otáčkách 2100 ot/min, v bodě L1.

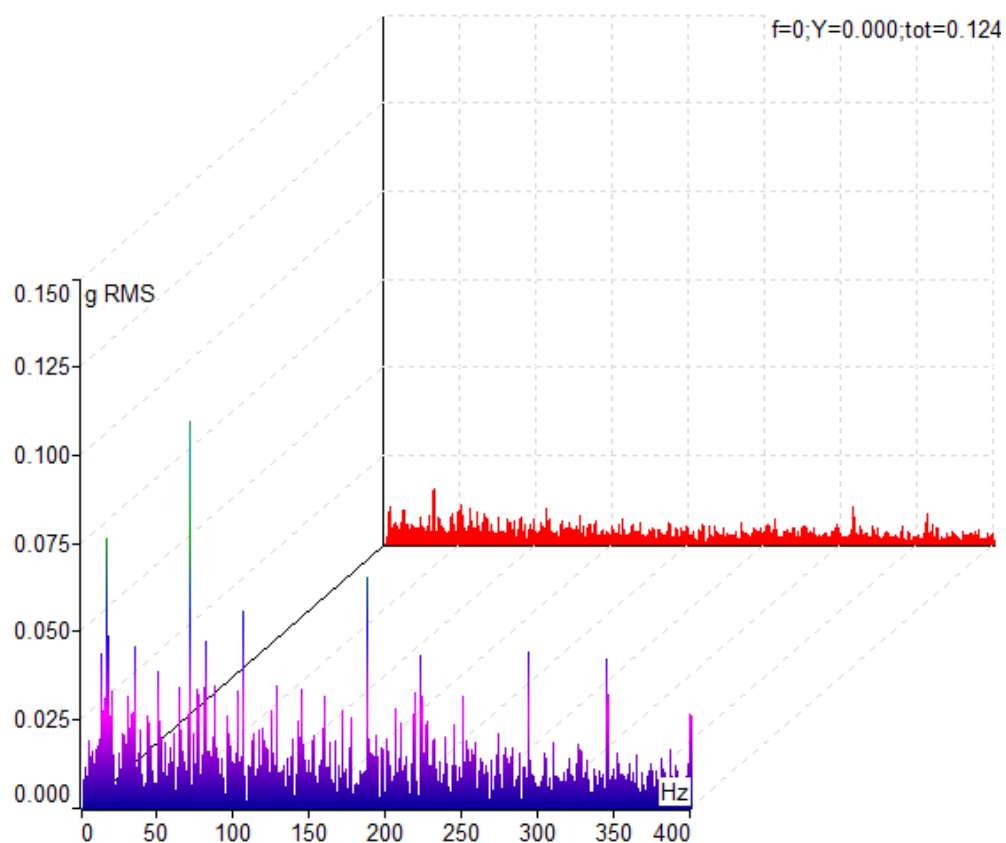
Na kaskádovém zobrazení grafu frekvenčního spektra se projevuje na první otáčkové frekvenci (35 Hz) nevývaha. U zrenovovaného stroje SPT 16 NC 1 (červený graf) jsou efektivní hodnoty rychlostí vibrací vyšší než staršího nezrenovovaného stroje SPT 16 NC 2.

- Srovnání vibrací v měřicím bodě L2

V druhém měřicím bodě se srovnávací grafy vyvíjí podobně jako v bodě L1. Ve vertikálním směru jsou rychlosti vibrací opět u zrenovovaného soustruhu SPT 16 NC 1 vyšší. V horizontálním a axiálním směru je zaznamenán pokles.

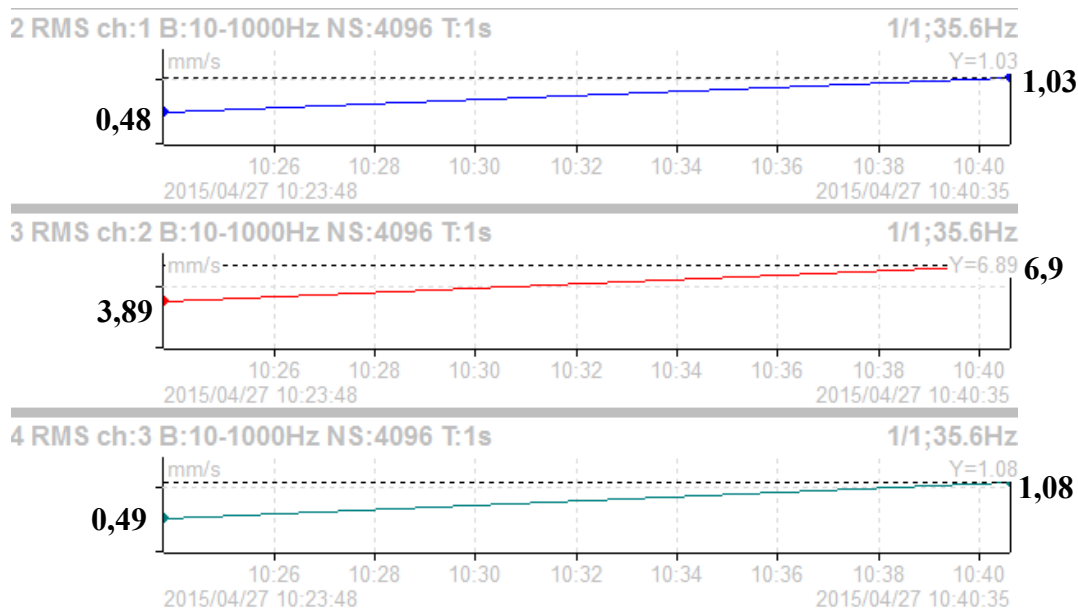
Zrychlení vibrací se u stroje SPT 16 NC 1 po generální opravě je nižší. Nezrenovované zařízení nabývalo hodnot ve vertikálním směru až 2,27 g, oproti tomu stroj po opravě dosahuje hodnot 0,581 g.

V grafu frekvenčního spektra je opět možno vidět špičku nevyváhy na první otáčkové frekvenci.



Obr. 34 Srovnání efektivních hodnot zrychlení vibrací stroje SPT 16 NC 1 (červeně) a SPT 16 NC 2 (modře), obálková metoda měřena v horizontálním směru při otáčkách 2100 ot/min, v bodě L2.

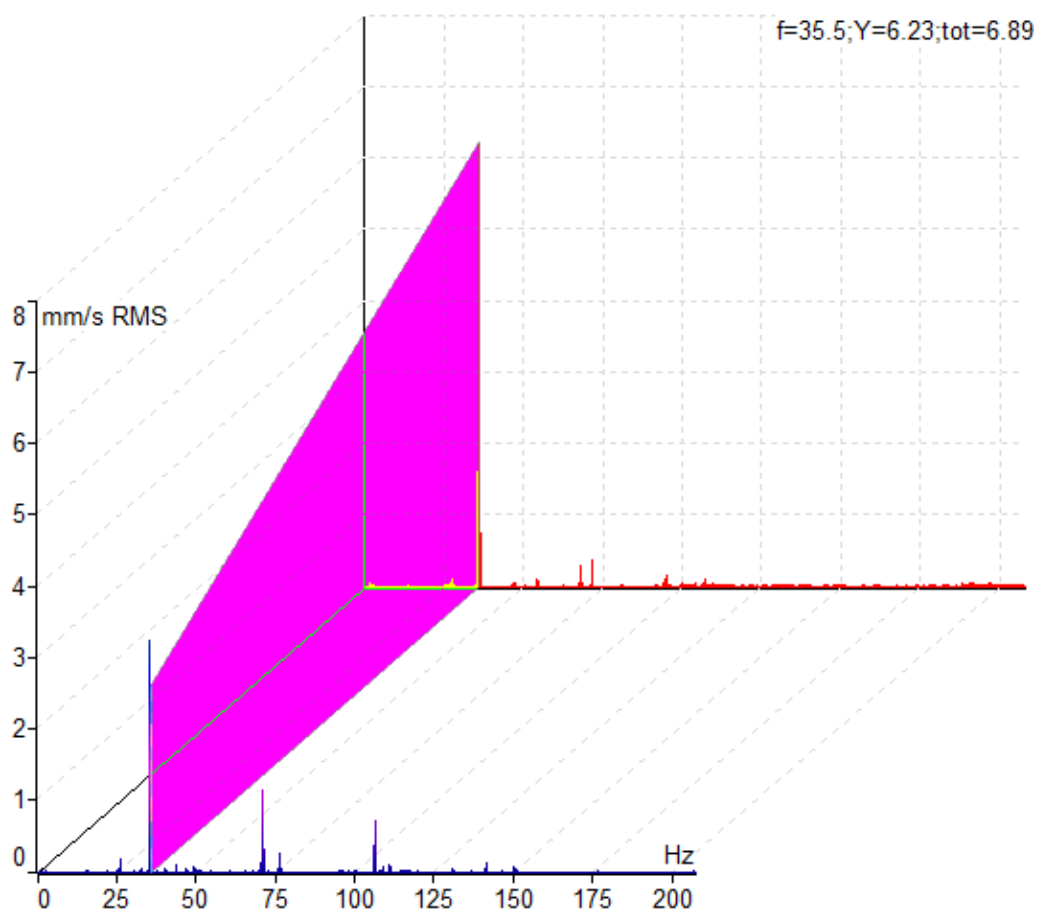
- Srovnání vibrací v měřicím bodě L3



Obr. 35 Efektivní hodnoty rychlosti vibrací stroje SPT 16 NC 1 (vpravo) a SPT 16 NC 2 (vlevo) ve vertikálních směrech při otáčkách 2100 ot/min, měřeno v bodě L3.

Rychlost vibrací je rapidně horší u stroje SPT 16 NC 1 po generální opravě než u stroje nezrenovovaného. Rychlosti vibrací nabývají v měřicím místě 2 hodnot až 6,89 mm/s. Při těchto hodnotách vibrací se nedoporučuje zařízení dále provozovat a provést v nejbližším možném termínu opravu.

Zrychlení vibrací je u zrenovovaného stroje SPT 16 NC 1 nižší ve všech měřených místech, než na stroji SPT 16 NC 2, u kterého generální oprava provedena nebyla.



Obr. 36 Frekvenční spektrum efektivních hodnot vibrací, porovnání stroje SPT 16 NC 1 (červěně) a SPT 16 NC 2 (modře) ve vertikálním směru při otáčkách 2100 ot/min, v bodě L3.

Ve třetím měřicím bodě jsou na frekvenčním spektru pozorovatelné vyšší vibrace u zrekonstruovaného stroje SPT 16 NC 1, které nabývají hodnot ve vertikálním směru až 6,89 mm/s. Na obou zařízeních jsou vidět projevy nevyváženosti na frekvenci 35 Hz.

9. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zjistit a porovnat jak se změnil technický stav stroje SPT 16 NC 1 s ohledem na renovaci. Zjišťování stavu soustružnického poloautomatu bylo prováděno pomocí dvou diagnostických metod a to tribodiagnostiky a vibrodiagnostiky.

První měření, které proběhlo již na podzim roku 2014, prokázalo závadu na ložiskách. Tribodiagnostické rozbory odebraného vzorku hydraulického oleje zjistili dobrý stav maziva. Obsah vody, číslo kyselosti, viskozita ani rentgenová spektrometrie nepřekročila maximální povolené hranice k bezproblémovému provozování obráběcího stroje.

Při druhém měření, které se provádělo pouze formou vibrodiagnostiky byla zjištěna závada na zrekonstruovaném stroji. Proto byl vybrán druhý obráběcí stroj SPT 16 NC 2 k porovnání jeho stavu se zrekonstruovaným zařízením.

Na opraveném stroji se projevila závada velké mechanické nevyváženosti, která je ještě násobena resonancí. Nejvyšší naměřené efektivní hodnoty rychlosti vibrací ve vertikálním směru a v měřícím místě L3 dosahovali až 9,26 mm/s.

U stroje SPT 16 NC 2 se tak jako u zrekonstruovaného projevila nevyváha ve vertikálním směru, ale dosahovala nižších hodnot. Navíc bylo u tohoto soustruhu zjištěno poškození ložisek pittingem.

Celkové porovnání technického stavu soustruhu SPT 16 NC 1 před a po renovaci zjistilo velký pokles efektivní hodnoty zrychlení i rychlosti vibrací při nižších otáčkách (1000 ot/min).

Srovnání zrekonstruovaného stroje SPT 16 NC 1 se strojem SPT 16 NC 2 při 2100 ot/min prokázalo větší nevyváženost u zrekonstruovaného soustružnického poloautomatu. Ložiska jsou u opraveného stroje SPT 16 NC 1 v pořádku. U stroje SPT 16 NC 2 je u ložisek zaznamenáno poškození pittingem.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Historie společnosti Česká zbrojovka [online] [cit. 2015-04-11] Dostupné z: <https://www.czub.cz/cz/pages/116-historie-promeny-programy.aspx>
- [2] Výroba nezbrojní produkce České Zbrojovky a.s. [online] [cit. 2015-04-11] Dostupné z <http://www.czub.cz/cz/catalog/300-nezbrojni-produkce.aspx>
- [3] Zbrojní výroba České Zbrojovky a.s. [online] [cit. 2015-04-11] Dostupné z: <http://www.czub.cz/cz/catalog/79-pistole-cz.aspx>
- [4] Blata J. *Metody Technické diagnostiky*, 1. vydání, Ostrava, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2010, 27 stran, ISBN 978-80-248-2735-3
- [5] BLATA, Jan a Janusz JURASZEK. *Metody technické diagnostiky: teorie a praxe*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013, 130, 135 s. ISBN 978-80-248-2997-5.
- [6] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost. Díl II Vibrodiagnostika* 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, 173 s. ISBN 80-248-0650-9.
- [7] Helebrant František, Hrabec Ladislav, Blata Jan, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, *Tribodiagnostika kapalných maziv a strojních součástí*, Ostrava, 2013, 31 stran, ISBN 978-80-248-3028-5
- [8] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001, 155 s. ISBN 80-7078-883-6.
- [9] *Návod k obsluze pro soustružnický poloautomat SPT 16 NC s číslicovým řízením*, Kovosvit a.s. Sezimovo Ústí, ČSFR
- [10] [online] Dostupné z: http://www.czub.cz/zbrojovka/czech-guns/Slavia_631_LUX.png
- [11] [online] Dostupné z http://www.difak.cz/upload/prodej_modernizovanych_stroju/spt_16_n.jpg
- [12] [online] Dostupné z <http://www.czub.cz/zbrojovka/czech-guns/CZ-letecka-vyroba-prevodovky-motoru.png>
- [13] [online] Dostupné z http://i.idnes.cz/11/103/cl6/STK3ec3fc_zbrojovka_karasek2.jpg