

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Zpracování a vyhodnocení vibrací ručního náradí

Jan Pipek

Bakalářská práce

2012

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Pipek**
Osobní číslo: **D08274**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Zpracování a vyhodnocení vibrací ručního nářadí**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Definice vibrací
2. Vliv vibrací na lidský organismus
3. Teoretický popis měření
4. Praktické měření strojních zařízení stejného druhu
5. Praktické měření strojních zařízení různých druhů
6. Zhodnocení výsledků měření

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

SMETANA, Ctirad, et al. Hluk a vibrace, měření a hodnocení. 1. vyd. Praha : Sdělovací technika, c1998. 188 s. ISBN 80-901936-2-5.

KREIDL, Marcel, ŠMÍD, Radislav. Technická Diagnostika. Praha: [s.n.], 2006. 408 s. ISBN 80-7300-158-6

KREIDL, Marcel; ŠMÍD, Ladislav. Technická diagnostika : Senzory - metody ? analýza signálu. Vyd. 1. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 408 s. ISBN 80-7300-158-6.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Jilek, DiS.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **24. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2012**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. února 2012

Prohlášení autora

Prohlašuji, že tuto práci jsem vypracoval samostatně a veškeré materiály a informace v práci použité jsem uvedl v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jiného subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to do podle okolností až do její skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Hořátvi dne 1. 11. 2012

Jan Pipek

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu *Ing. Petru Jilkovi*. Za vedení mé práce, asistenci při praktickém měření a za předání mnoha užitečných informací. Také děkuji svým rodičům za podporu ve studiu.

ANOTACE

Práce se zabývá vibracemi jednotlivých druhů elektrického ručního nářadí a jejich vlivu na lidský organismus. Práce vychází z legislativních nařízení a je podložena praktickým měřením, které jsou následně vyhodnoceny.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vibrace, hygienické předpisy, ruční nářadí, měření.

TITLE

Processing and evaluation of vibration of hand tools.

ANNOTATION

This bachelor's thesis deals with the vibrations of different types of electric hand tools and their impact on the human organism. The thesis is based on legislation and regulation. The results were produced by practical measurements which were then evaluated.

KEYWORDS

Vibration, hygiene, hand tools, measuring.

Obsah

1.	Definice vibrací.....	8
1.1.	Vibrace.....	8
1.2.	Rázy.....	11
1.3.	Rezonance.....	12
2.	Vliv vibrací na lidský organismus.....	12
2.1.	Hodnocení vibrací přenášených na lidský organismus.....	12
2.2.	Expoziční limity vibrací.....	14
2.3.	Nemoci způsobené vibracemi.....	15
2.3.1.	Raynaudův syndrom.....	15
2.3.2.	Prevence proti nemocem z vibrací.....	16
2.4.	Pracovní omezení při práci s vibrujícími zařízeními.....	17
3.	Teoretický popis měření.....	17
3.1.	Realizace vlastního měření.....	18
3.2.	Popis vybraných prvků.....	19
3.2.1.	Objekt diagnostiky.....	19
3.2.2.	Snímače zrychlení.....	19
3.2.3.	Upevnění vibračního snímače.....	21
3.2.4.	Snímač otáček.....	23
3.2.5.	Vlivy zkreslení výsledků měření.....	23
4.	Praktické měření strojních součástí stejného druhu.....	24
5.	Praktické měření strojních součástí různého druhu.....	27
6.	Výpočet vibrací podle ČSN EN ISO 5349-1.....	29
7.	Závěr.....	31
	Použitá literatura.....	32
	Příloha A.....	34
	Příloha B.....	39

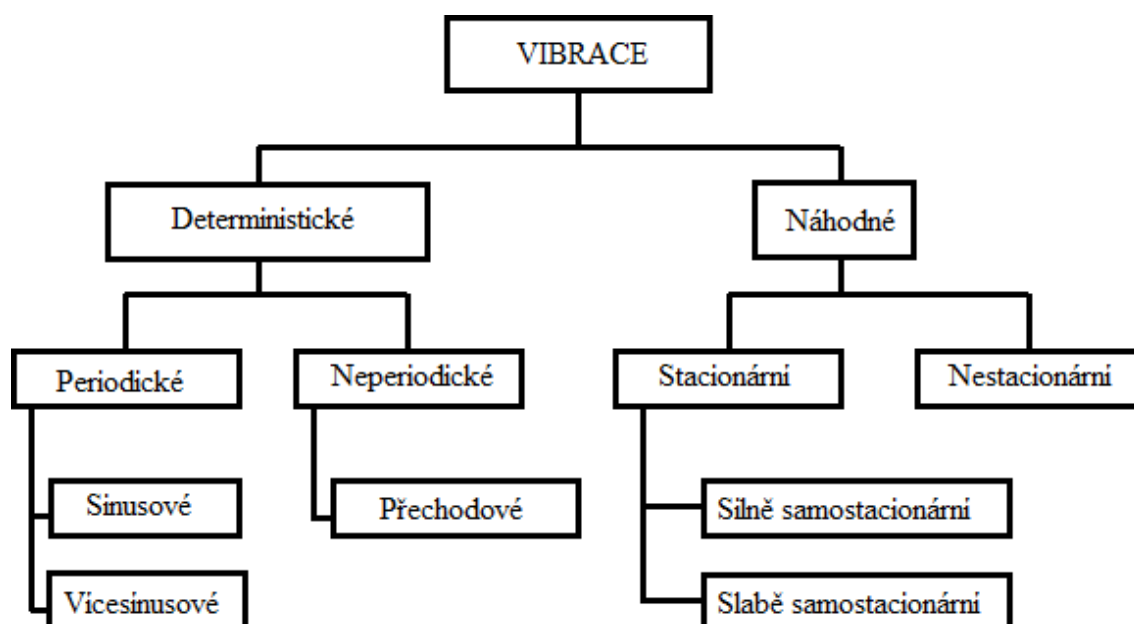
1. Definice vibrací

1.1 Vibrace

Termín vibrace je používán pro kmitání (oscilace) mechanické soustavy. Podle nové názvoslovné normy ČSN ISO 2041 vibrace představují pohyb pružného tělesa nebo prostředí, jehož jednotlivé body kmitají kolem své rovnovážné polohy.^[1]

Velikost vibrací se vyjadřuje výchylkou a dále jejími derivacemi podle času tj. rychlostí, zrychlením a nebo ryvem*. Z důvodu rozvoje piezoelektrické techniky a s ní dostupnost akcelerometrů se dnes jako měřící veličina používá zrychlení.

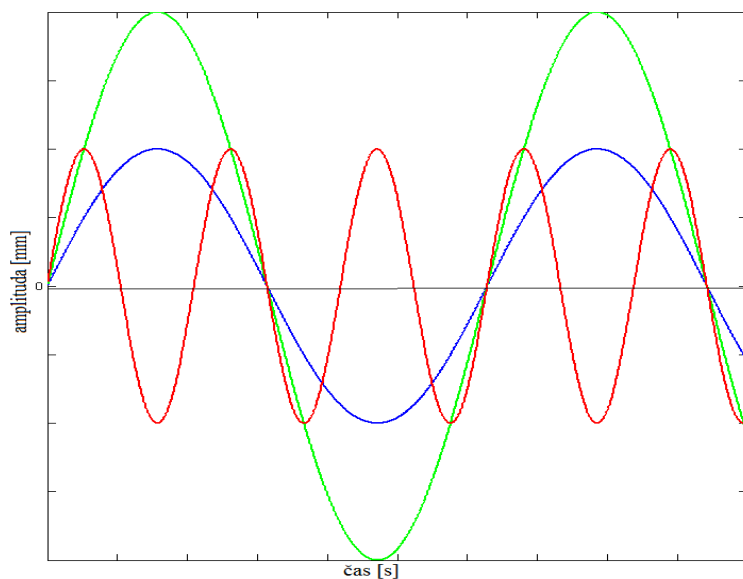
Vibrace se podle časového průběhu dělí na dvě základní kategorie. Toto základní rozdělení je na Obr. 1



Obr. 1. Hlavní druhy vibrací^[2]

U deterministických vibrací známe přesně jejich okamžité hodnoty v daném čase díky záznamu hodnot nebo pomocí matematického předpisu je možné hodnoty určit a to jednoznačně.

* Ryv je vektorová fyzikální veličina charakterizující pohyb, popisuje časovou změnu zrychlení.^[13]



Obr. 2. Deterministické kmitání^[11]

Deterministické kmitání na Obr. 2 můžeme matematicky vyjádřit frekvencí f , která vyjadřuje počet výkmitů za určitou časovou jednotku. Dalším matematickým ukazatelem je kruhová frekvence ω , která je přímo závislá na vlastní frekvenci.

$$f = \frac{1}{T} \quad [Hz]$$

f – frekvence [Hz]

T – čas [s]

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad [rad \cdot s^{-1}]$$

ω – úhlová frekvence $[rad \cdot s^{-1}]$

Z teorie kmitavého vratného pohybu vychází vztah pro aktuální výchylku y , jejím dalším derivováním podle času dostáváme rychlost v a zrychlení a .

$$y = y_m \cdot \sin(\omega t) \quad [m]$$

$$v = \frac{dy}{dt} = \omega \cdot \cos(\omega t) \quad [m \cdot s^{-1}]$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 \cdot \sin(\omega t) \quad [m \cdot s^{-2}]$$

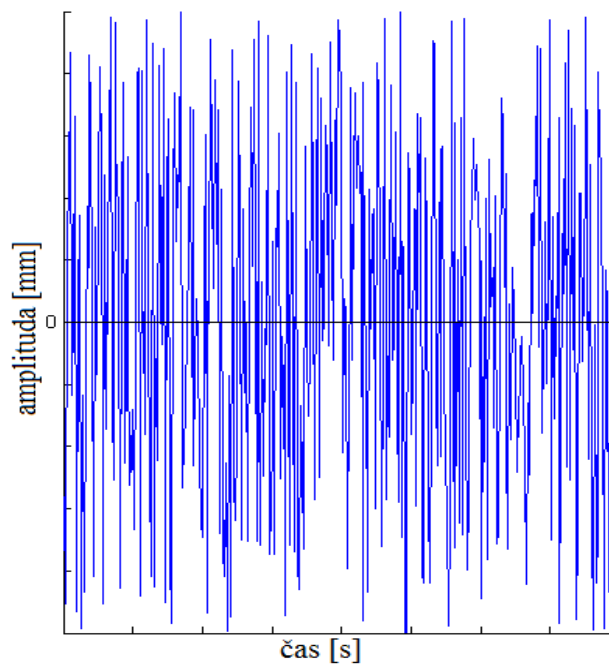
y_m – maximální výchylka [m]

t – čas [s]

Z výše uvedených rovnic vyplývá, že zrychlení předchází rychlost o $\frac{\pi}{2}$ a amplitudu o π . Rychlost předchází amplitudu o $\frac{\pi}{2}$.

Naopak u náhodných vibrací nemůžeme určit velikost amplitůdy vibrací v daném čase z jejich časových průběhů.

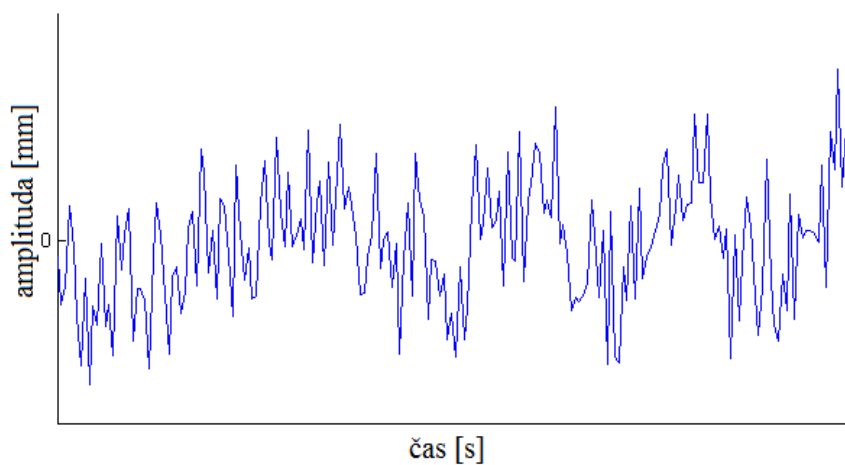
Stacionární vibrace na Obr. 3a. jsou takové vibrace, u nichž se v nekonečně dlouhém časovém intervalu nemění jejich statistické veličiny, jako jsou např.: střední hodnota, směrodatná odchylka a rozptyl. Předešlou větu musíme idealizovat, neboť nemůžeme měřit danou úlohu po nekonečně dlouhý čas. Proto se spokojíme s tím, když se statistické veličiny výrazně nemění po dostatečně dlouhý čas. Nestacionární vibrace jsou takové vibrace, kde se statistické veličiny v průběhu času mění.



Obr. 3a. Stacionární kmitání

Za nestacionární vibrace na Obr. 3b. se mohou považovat vibrace, u nichž se jejich statistické veličiny mění v průběhu časového intervalu. Popis těchto vibrací je velmi náročný z důvodů velkého počtu nutných měření a jejich následného časového průměrování. Průměrovat se dá jen do jisté meze z důvodu odezvy měřících přístrojů.

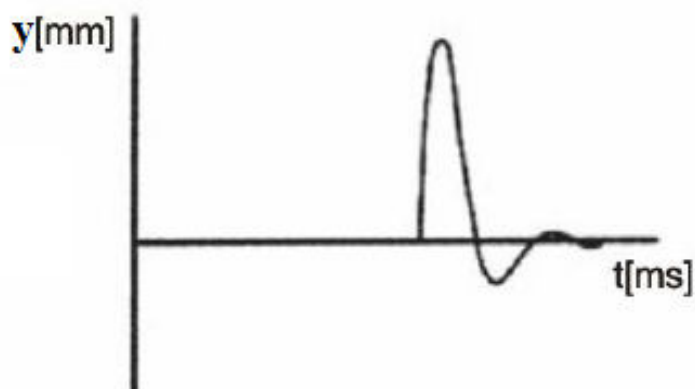
V případě, že se statistické veličiny mění pomalu, lze toto kmitání považovat za stacionární.



Obr. 3b. Nestacionární kmitání

1.2 Mechanické rázy

Mechanické rázy jsou charakteristické náhlou změnou síly, polohy, rychlosti nebo zrychlení, která v soustavě vybudí přechodové vzruchy. Při přenosu vibrací na člověka, však spíše než o rázech, hovoříme o otřesech lidského organismu. ^[3]



Obr. 4 Ráz^[12]

Ráz dosáhne svého maxima a následně je utlumen vnitřními nebo vnějšími silami. Rychlost, jakou je ráz ztlumen, závisí na konstrukci dané součásti a na materiálu, ze

kterého je tato součást vyrobena. Zařízení, jež snižuje hodnotu výchylky, pohlcuje energii rázu a zkracuje dobu trvání, se nazývá tlumič. U strojních zařízení jsou rázy většinou nechtěné a mnohdy indikují vůli v uložení hřídelů.

1.3 Rezonance

Rezonance vzniká, když se např. rotační součást dostane do tzv. kritických otáček. To je stav, kdy se frekvence kmitání rotační součásti vyrovná frekvenci kmitání rámu stroje. Rezonance je jev velmi nebezpečný a nesmí trvat příliš dlouhý časový úsek, jinak by mohlo dojít k destrukci strojního zařízení. Řešení rezonance u rotačních součástí je udržovat otáčky trvale nižší než kritické, anebo kritické otáčky rychle překonat a pracovat v nadkritických otáčkách.

Ukázka výpočtu kritických otáček pro plné hřídele:

$$n_{kr} = k \cdot 10^5 \cdot \frac{D}{l^2} [\text{min}^{-1}]$$

k – součinitel vetknutí (1,1 – 2,46)

D – průměr hřídele [m]

l – délka hřídele [m]

2. Vliv vibrací na lidský organismus

Dnešní moderní svět je přeplněný stroji a zařízeními, se kterými se člověk dostává do kontaktu každý den. Je proto důležité, aby tyto stroje a zařízení co nejméně zatěžovaly lidský organismus jak po fyzické tak i po duševní stránce.

2.1 Hodnocení vibrací přenášených na lidský organismus

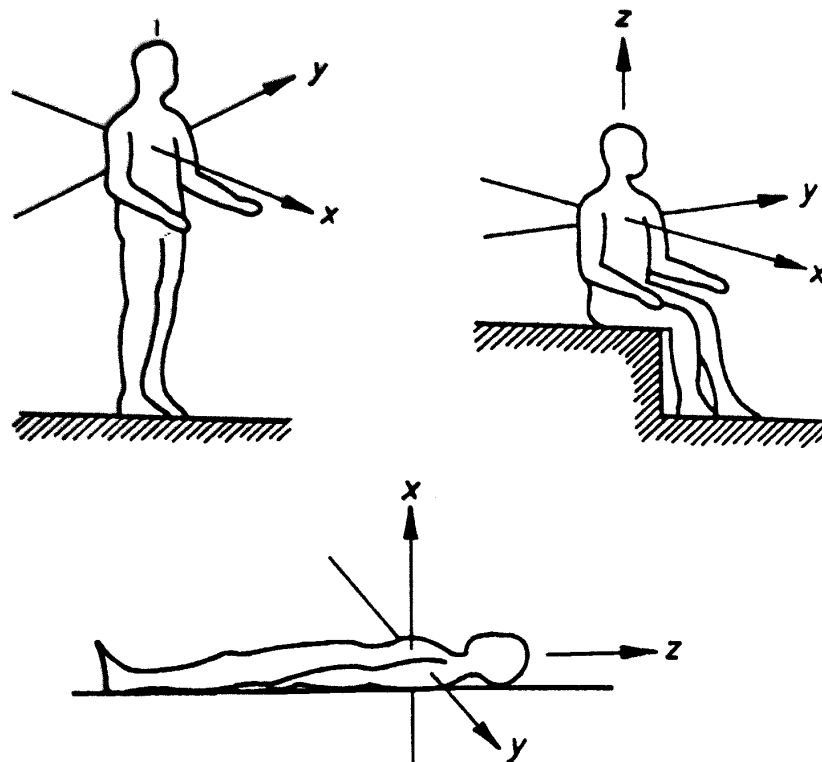
Způsob přenosu vibrací je:

- a) celkové vibrace, přenášené na sedící nebo stojící osobu z vibrujícího sedadla, podlahy nebo plošiny tak, že způsobují intenzivní vibrace celého těla
- b) vibrace v obytných budovách
- c) celkové vertikální vibrace o kmitočtu nižším než 1 Hz

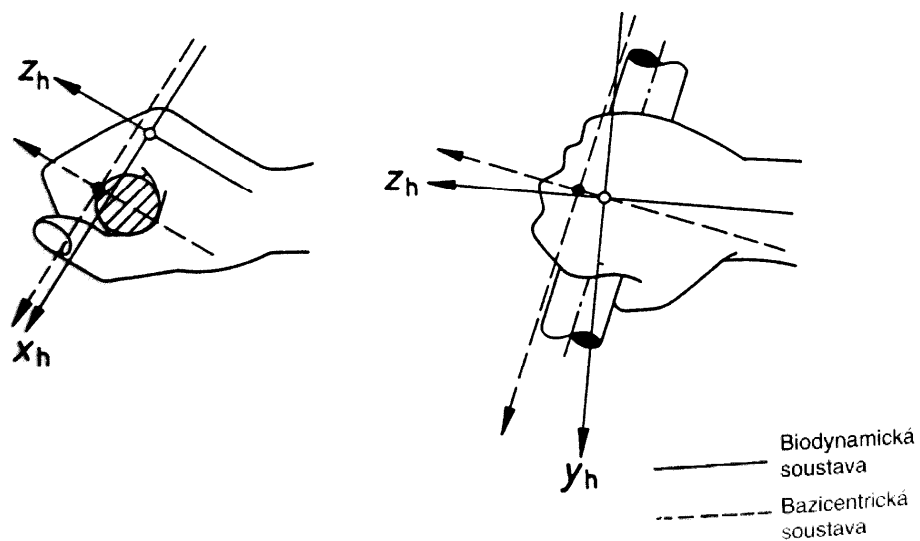
d) místní vibrace přenášené na ruce

e) místní vibrace přenášené zvláštním způsobem^[4]

Aby se účinky vibrací na lidský organismus daly snáze vyhodnocovat, neboť účinky horizontálních a vertikálních vibrací mají různá hodnocení, byl vytvořen souřadný systém pro lidské tělo a ruku.



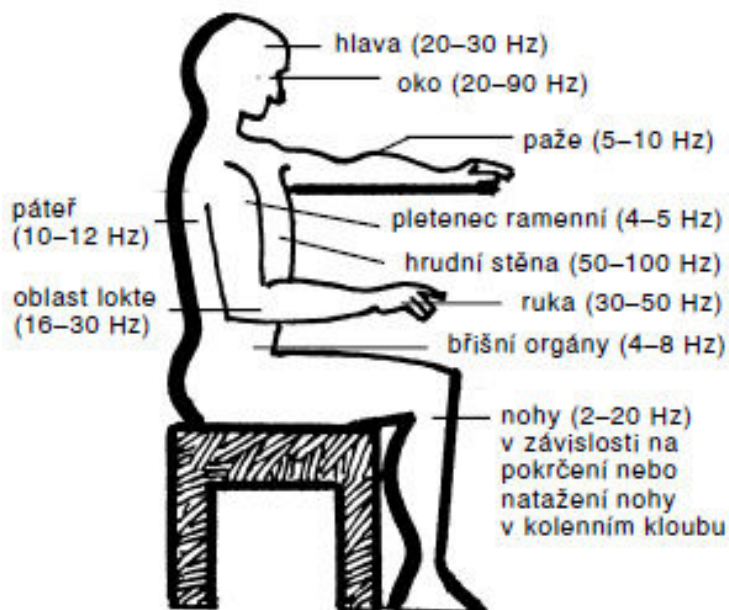
Obr. 5 Soustava souřadnic lidského těla^[8]



Obr. 6 Soustava souřadnic ruky^[8]

Biodynamická soustava má osu z_h rovnoběžnou s předloktím a osy x_h a y_h jsou na ni kolmé. Bazicentrická soustava vychází z biodynamické, je však natočena tak, aby osa y byla rovnoběžná s osou rukojeti nebo držáku daného stroje.

Při hodnocení vibrací na lidský organismus je důležité vyvarovat se frekvencím, které způsobují rezonanci lidského těla. A to v celkových vertikálních vibracích v rozsahu 4 – 8 Hz a celkových horizontálních vibracích v rozsahu 1 - 2 Hz.



Obr. 7 Hodnoty rezonance jednotlivých částí lidského těla^[7]

2.2 Expoziční limity vibrací (podle sbírky zákonů č. 148/2006)

1. Expoziční limity na ruce jsou vyjádřeny jako:

a) hladinou zrychlení $L_{ahv,8h} = 123$ dB

b) hladinou zrychlení $a_{hv,8h} = 1,4$ m.s⁻²

2. Expoziční limit vibrací, které jsou přenášeny zvláštním způsobem na hlavu a horní část páteře, je:

a) hladinou zrychlení $L_{aw,8h} = 100$ dB

b) hladinou zrychlení $a_{ew,8h} = 0,1$ m.s⁻²

3. Expoziční limity pro celkové vertikální a horizontální vibrace je:

a) hladinou zrychlení $L_{aw,8h} = 110$ dB

b) hladinou zrychlení $a_{ew,8h} = 0,315$ m.s⁻²

Tyto limity lze v určitých přesně daných případech krátkodobě přerušit. Pro celkové vibrace po dobu maximálně 10 minut je hladina zrychlení $L_{aw} = 127$ dB nebo $a_{ew} = 2,3$ m.s⁻². Pro vibrace přenášené na ruce po dobu 20 minut je hladina zrychlení $L_{ahv} = 137$ dB nebo $a_{hv} = 7,1$ m.s⁻². Tyto hodnoty ($L_{ahv} = 137$ dB; $a_{hv} = 7,1$ m.s⁻²) jsou limitní a nelze je překročit ani krátkodobě, neboť může nastat poškození zdraví.

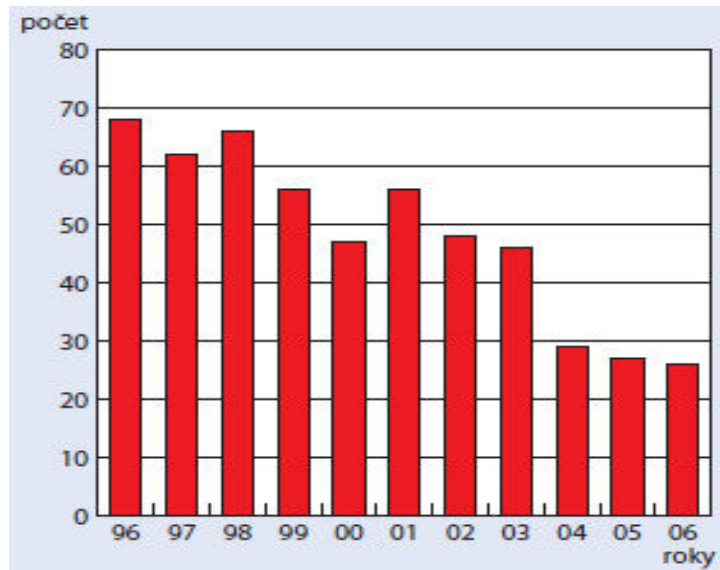
2.3 Nemoci způsobené vibracemi

Vibrace se vyskytují u ručního náradí pneumatického, elektrického, hydraulického. Dále stroje se spalovacím motorem a stroje, které pracují s rázy (buchary, lisy). U všech těchto strojů se mohou vibrace přenášet, podle konstrukčního uspořádání, do jedné nebo obou rukou, následně do ramene, krční páteře a hlavy. Tyto vibrace mohou zapříčinit nižší pracovní výkon anebo únavu. Při delší časové expozici v řádu let nebo překračování stanovených hygienických limitů může hrozit onemocnění cév, svalů a kloubů.

2.3.1 Raynaudův syndrom

Sekundární Raynaudův syndrom nebo také nemoc bílých prstů byl poprvé zjištěn u italských dělníků v lomu v roce 1911, kteří pracovali s pneumatickými kladivy. Tato nemoc vzniká při déletrvající expozici vibracemi na paže při používání elektrického a pneumatického ručního náradí. Časové rozmezí, které by způsobilo Raynaudův syndrom, je poměrně široké a to od několika měsíců po 20 let.

Ovšem ne každé vibrace způsobují toto onemocnění, Raynaudův syndrom nevzniká pod frekvencí 2 Hz a frekvencí vyšší než 1510 Hz. Dalšími důležitými faktory jsou fyzikální parametry stroje, jako je frekvenční spektrum, doba práce se strojem, směr vibrací a počet pracovních přestávek. Neméně důležité jsou parametry obsluhy stroje a to hmotnost pracovníka, vzájemná poloha paží a stroje, tělesná konstituce a vyvozovaná síla na stroj. Dalšími faktory, které mohou urychlit vznik syndromu, je náchyllost ke vzniku nemoci, kouření anebo užívání medikamentů.



Obr 8. Vývoj počtu nemocných Raynaudovým syndromem^[5]

2.3.2 Prevence proti nemoci z vibrací:

1. Snížit hladinu vibrací jejich šířitele, tedy vlastního zařízení a to tak, že vybíráme zařízení, kde výrobce uvádí nízkou hladinu vibrací. Stroje mohou být také vybaveny odpruženými rukojeťmi, sedadly nebo je celý stroj pružně uložen.
2. Zamezit cestu šíření vibracím z jednoho pracovního místa na druhé. Toto opatření se spojuje i se zamezením šíření hluku mezi pracovními stanovišti.
3. Častější střídání pracovníků, zkrácení pracovní doby a nařízení o povinných přestávkách nebo určení počtu směn za určité časové období.
4. Používání ochranných pomůcek, a to zejména speciálních antivibračních rukavic, které mohou snížit hladinu zrychlení až o 2 dB. Používání těchto rukavic nemusí být vždy výhodou, z důvodu použití větší síly k držení a ovládání stroje, kdy se obsluha zařízení snáze unaví. Výhodou tedy zůstává, že rukavice drží ruce v teple a suchu. Nehrozí tedy vznik Raynaudova syndromu, který může vzniknout, pokud teplota prostředí klesne pod 13 – 15 °C.
5. V neposlední řadě je důležité provádět údržbu stroje v řádných termínech.

2.4 Pracovní omezení při práci s vibrujícími zařízeními

Podle zákona č. 262/2006Sb je zakázána práce všem ženám spojená s expozicí vibracemi, při nichž může dojít k překročení nejvyšší přípustné hodnoty stanovené zvláštním předpisem pro celkové vertikální vibrace o frekvencích 4 až 8 Hz nebo celkové horizontální vibrace o frekvencích 1 až 2 Hz a vibrace přenášené na ruce překračují při podrobném hodnocení nejvyšší přípustné hodnoty a síla potřebná pro ovládání nářadí překračuje podle výsledků měření 10 % F_{\max} , jde-li o práci s převahou statické složky, nebo 30 % F_{\max} , jde-li o práci s převahou dynamické složky. [6]

3. Teoretický popis měření

Hlavním úkolem mé bakalářské práce je změřit vibrace ručního nářadí a následně je vyhodnotit a posoudit jejich vliv na obsluhu stroje. Měření vibrací můžeme rozdělit do tří hlavních kategorií:

1. Mechanické snímání vibrací
2. Bezkontaktní snímání vibrací
3. Laserové interferenční snímání vibrací

Mechanické snímání vibrací, které bude využito v této bakalářské práci, je postup, kdy snímače a měřené součásti jsou ve fyzickém kontaktu. Jako snímače jsou používány akcelerometry. Tento způsob měření je nejčastěji používán na měření vibrací součástí, které nerotují, tj. rámy, ramena a rukojeti.

Bezkontaktní snímání využívá své přednosti, kterou je, že snímač a měřená součást se nedotýkají. Další výhody jsou přesnost a vyšší frekvence snímání. Jako nevýhody tohoto postupu můžeme uvést nutnost minimalizování vzdálenosti snímače a měřené součásti a menší rozsah měření. Tento způsob je vhodný pro měření vychylek rotačních součástí nebo při měření torzního kmitání.

Laserový interferenční způsob měření vyniká svojí přesností a velkým měřicím rozsahem. Nevýhody jsou vysoká cena a větší rozměry měřicího zařízení.

3.1 Realizace vlastního měření

Pro vlastní měření jsme využívali zařízení Vibrotest 41 (obrázek č. 9 – pozice 1). Toto zařízení vyrábí společnost Schenck. K tomuto diagnostickému zařízení je připojen bezkontaktní snímač otáček (obrázek č. 9 – pozice 2), přístroj Vibrotest 41 byl nastaven tak, že jedna otáčka vřetena nebo kmit listu byl jeden frekvenční impuls. Pro tento snímač je nutné na měřený objekt umístit referenční značku, v našem případě šlo o reflexní nálepku (obrázek č. 9 – pozice 4). Další součástí měřicího řetězce je snímač zrychlení vibrací. Byla použita ruční sondou, která byla zakončena dotykovým hrotem (obrázek č. 9 – pozice 3). Důvody, kvůli nimž jsme použili méně vhodnou metodu měření ruční sondou, jsou omezené možnosti přichycení snímače vibrací na rukojeti s nutností realizace speciálních jednoúčelových přípravků. Rukojeti jsou totiž uzpůsobené pro držení v lidské ruce, tudíž jsou kulaté nebo oblé. Pro uchycení sondy je však bezpodmínečně nutné, aby byla plocha pro její montáž rovná.

Před vlastním měřením je nutné nastavit oba snímače ve vlastním zařízení Vibrotest 41. Parametry snímače vibrací je uvedeno v technické dokumentaci, která je přiložena ke snímači. Vstup je aktivní, snímač pro měření zrychlení s citlivostí 100 mV/g. Jednotky jsme nastavili na mm/s a rozsah osy y byl 20 nebo 200 mm/s. Měření probíhalo v rozsahu 1 Hz do 1 kHz, případně do 5 kHz. Vzorkovací frekvence byla 800 Hz.

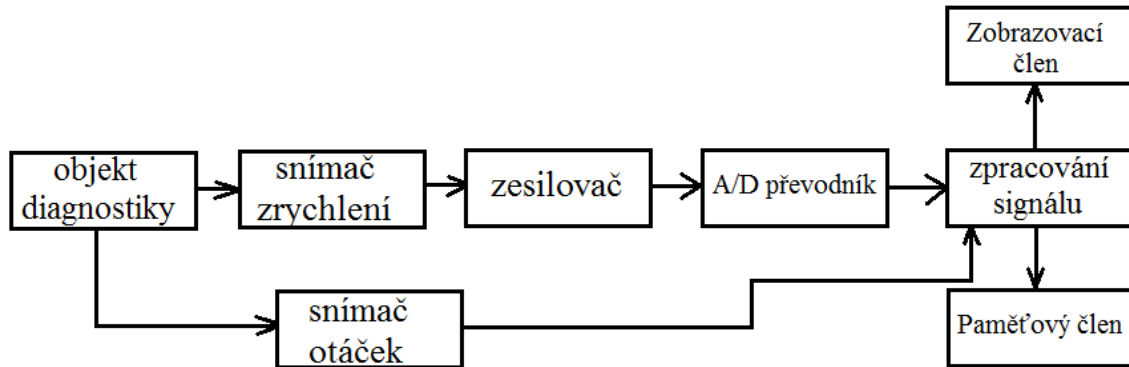
Nastavení bezkontaktního snímače otáček bylo následující; vstup je aktivní, spouštěcí úroveň je na 50 % a jednotky jsou nastaveny na Herty.



Obr. 9 Vibrotest 41 s příslušenstvím

3.2 Popis vybraných prvků

Pro lepší popis jednotlivých částí, ze kterých se skládá celý diagnostický systém, zde uvedme blokové schéma.



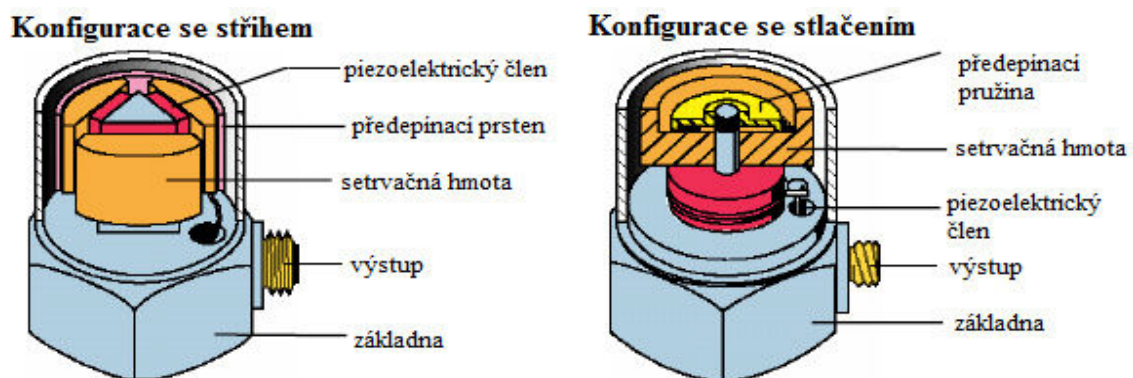
Obr. 10 Blokové schéma diagnostického zařízení

3.2.1 Objekt diagnostiky

Objektem diagnostiky je myšlen stroj, součást stroje anebo materiál, ze kterého je stroj vyroben. V mé bakalářské práci jsou objektem diagnostiky různé ruční elektrické stroje.

3.2.2 Snímače zrychlení

V dnešní době se nejčastěji používají piezokeramické snímače s elementy namáhanými buď na tlak, nebo smyk. Na tyto snímače, též nazývány akcelerometry, jsou kladeny specifické požadavky.



Obr. 11 Konstrukce akcelerometrů^[8]

Akcelerometr s tlakovým piezokeramickým členem má výhodné vlastnosti při měření velkých výchylek anebo rázů. Akcelerometry s piezokeramickými členy mají výborné vlastnosti v linearitě a ve velikosti výstupního signálu.

K zařízení Vibrotest 41 je dodáván akcelerometr AS – 020. Tento akcelerometr je na obrázku č. 10 vlevo, jedná se tedy o typ se stlačovaným piezokeramickým členem. Setrvačná hmota, která má velkou hmotnost oproti zbytku sensoru, deformuje piezokeramický člen. Touto deformací vzniká elektrické napětí, které je následně integrovaným zesilovačem zesíleno. Technické parametry akcelerometru jsou v příloze B.



Obr. 12 Akcelerometr AS – 020

Pro výše uvedené důvody byl akcelerometr AS – 020 nastaven ruční sondou s hrotem AC – 272, pro kterou je při měření vhodné dodržet:

1. Kolmost sondy k měřenému zařízení.
2. Vytvoření malé jamky, otvoru nebo středící značky.
3. Nepoužívat ruční sondu při nízkých frekvencích a vysokých amplitudách, protože hrozí odskakování sondy.

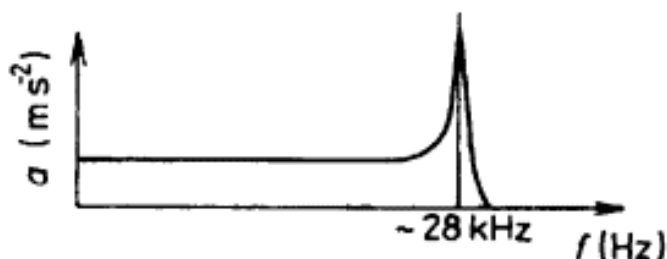
Sonda je vyrobena z hliníkové slitiny podle normy DIN 1799 3.164551 16. Její délka je 220 mm a je zakončena závitem M8 pro spojení s akcelerometrem. Frekvenční charakteristika této sondy je na obrázku č. 15.

3.2.3 Upevnění vibračního snímače

Pro správné měření vibrací je nutné splnit některé požadavky, které jsou dány jejich montáží na součást nebo jsou dány jejich konstrukcí:

1. Široký kmitočtový rozsah
2. Stabilita v čase
3. Velký dynamický rozsah
4. Nízké zkreslení signálu
5. Zanedbatelný vliv rušivých vlivů (teplota, elektromagnetické pole)

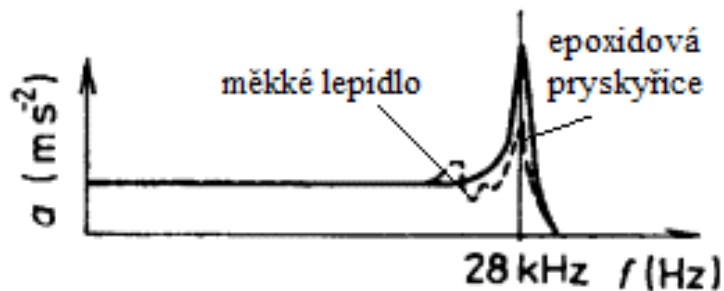
Pro měření zrychlení je možno akcelerometry připevnit několika různými způsoby. Z hlediska rezonance se z důvodu vysoké tuhosti spojení jeví jako nejlepší připevnění akcelerometru šroubovým spojem, neboť jeho rezonance se pohybuje mezi 20 – 30 kHz.



Obr. 13 Rezonance akcelerometru pomocí šroubu^[9]

Dalším způsobem, kterým můžeme připevnit akcelerometr, je uchycení pomocí včelího vosku. Tento způsob uchycení, vykazuje velmi dobré výsledky, co se týče rezonance, která se pohybuje nad hranicí 20 kHz. Její průběh je podobný jako na Obr 12. Nevýhoda je ta, že toto spojení nelze realizovat tam, kde hrozí v průběhu měření nárůst teploty. Maximální teplota pro včelí vosk je cca. 35 °C.

Rozvoj lepidel umožnil další možnosti ve spojení snímače a měřené součásti. Mechanické a přenosové vlastnosti jsou zde však závislé na druhu a tvrdosti lepidla. Rezonance by se měla pohybovat nad hranicí 10 kHz. Montáž je jednodušší než u spojení šroubem, ale v závislosti na tloušťce vrstvy lepidla dochází k zvlnění výstupové charakteristiky.



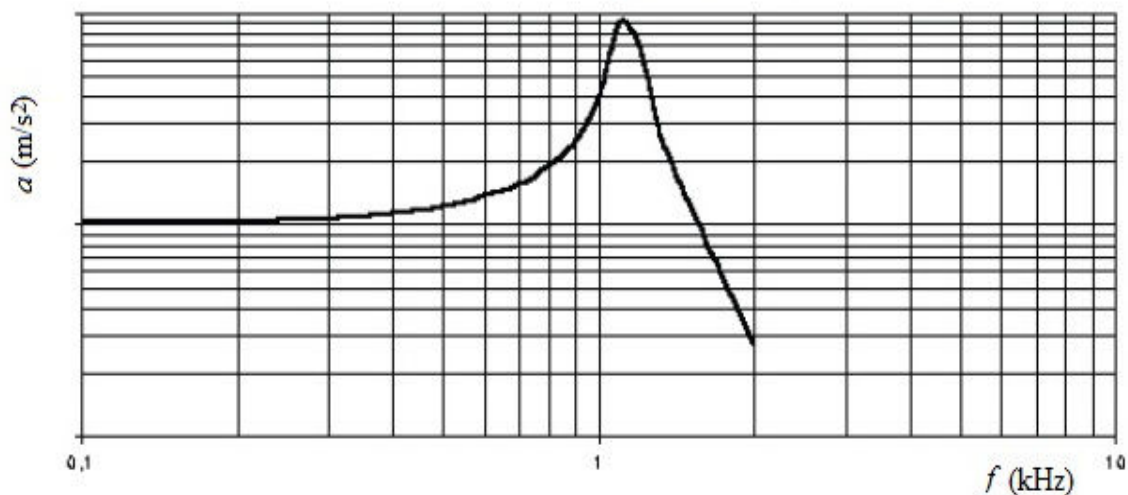
Obr. 14 Rezonance akcelerometru pomocí lepidla^[9]

Další možností je připevnit akcelerometr pomocí oboustranné lepicí pásky. Vlastnosti této montáže jsou podobné jako u lepidel. V oblasti frekvencí 1 – 5 kHz může docházet k amplitudovému zkreslení, které je nepřijatelné.

Uchycení akcelerometru pomocí magnetu je vhodné do 1,5 kHz, přičemž rezonance nastává okolo 7 kHz. Nevýhodou magneticky přichycených senzorů je jejich větší hmotnost, mohlo by tedy docházet ke zkreslení.

Měření ručními sondami, které se přikládají k povrchu měřené součásti, se nedoporučuje z důvodu nízké hodnoty rezonance (2 kHz). Nelze také zaručit stejné mechanické vlastnosti v průběhu celého měření (síla přítlaku, odklon od svislé polohy).

Rezonance hrotového nástavce AC - 272 (Obrázek č. 9 - pozice 3)



Obr. 15 Rezonance ruční sondy^[10]

Upevnění vibračních snímačů lze shrnout do několika bodů:

1. Hmotnost snímače by měla být v poměru 1:10 k hmotnosti měřené části, anebo v nižším poměru.
2. Rezonanční frekvence snímačů by měla být alespoň pětkrát vyšší než horní rozsah měření.
3. Těžiště snímače by mělo být nad těžištěm zdroje vibrací.

3.2.4 Snímač otáček

K zařízení Vibrotest 41 je dodávána referenční sonda P – 84. Ta je využívána k měření otáček nebo úhlového natočení. Tento snímač pracuje na fotoelektrickém principu. Hrot senzoru je opatřen zdrojem světla, které se odrazí od reflexní pásky do fototranzistoru, zde vznikají volné elektrické náboje, které změny výstupní signál ze senzoru. Vzdálenost, která je nutná pro správnou funkci senzoru, je 30 – 40 mm. Odklon sondy by neměl být větší než 15° od kolmice procházející reflexní značkou.



Obr. 16 Referenční senzor P – 84

3.2.5 Vlivy zkreslující výsledek měření

Prvním vlivem, který ovlivňuje výsledky měření je náhlá změna teploty, která může být způsobena působením Slunce nebo prouděním vzduchu. Dalším faktorem je vznik pyroelektrického jevu, kdy s náhlou změnou teploty vzniká v piezoelektrických krystalech elektrický náboj a tím i výstupní signál. Tento jev může způsobit vysoké mechanické zatížení daných krystalů. V obou případech je frekvence nižší než 1 Hz a lze je eliminovat hornofrekvenční propustí. Citlivost snímačů, zatížených na stříh, se teplotní vlivy projevují řádově stokrát nižší než u snímačů zatížených tlakem.

4. Praktické měření strojních součástí stejného druhu

Pro tento oddíl jsme použili dvě přímočaré pily. Jedná se o dva různé typy přímočarých pil, u nichž je jeden parametr shodný a to frekvence kmitání pilového listu.

Typ: Jig SAW JSS5SE-GLC

Výkon: 350 W

Počet kmitů: 50 Hz

Trend TL-8025

Výkon: 570 W

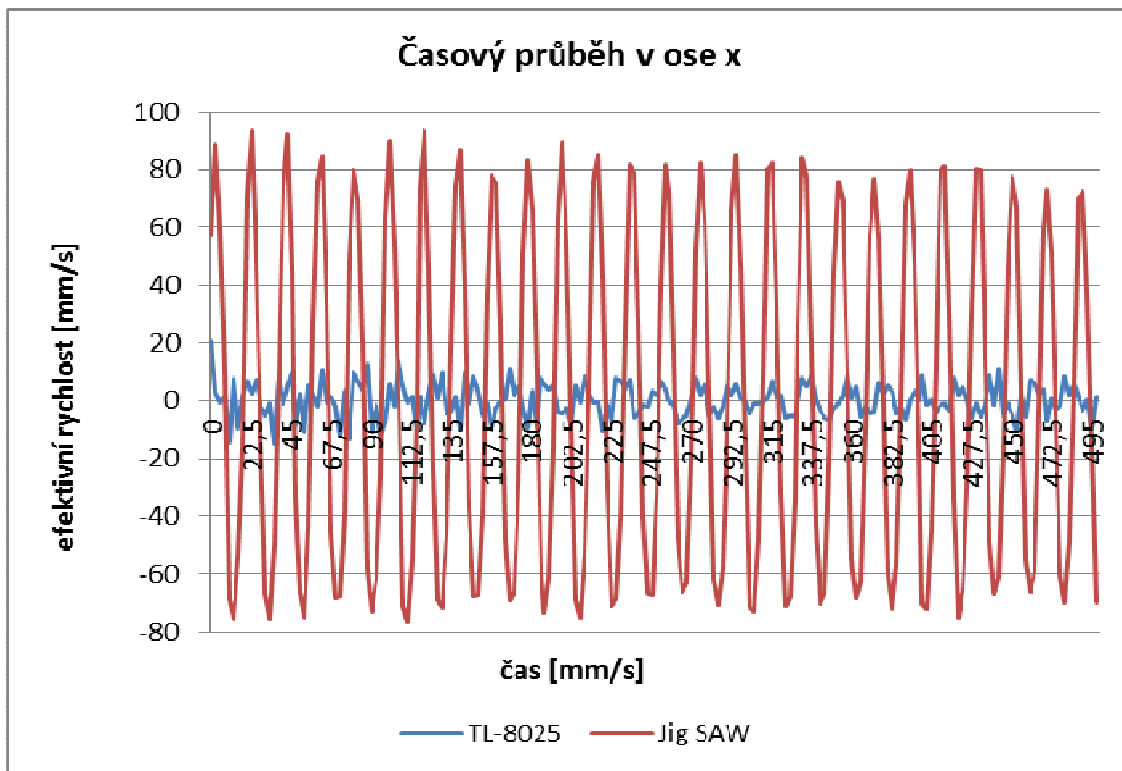
Počet kmitů: 0 – 50 Hz

Měření probíhalo vždy ve dvou směrech a to x a y . Při měření na obou přímočarých pilách byl směr osy x rovnoběžný s pilovým listem. Osa y je na pilový list kolmá. Toto dokumentuje obrázek číslo 17.

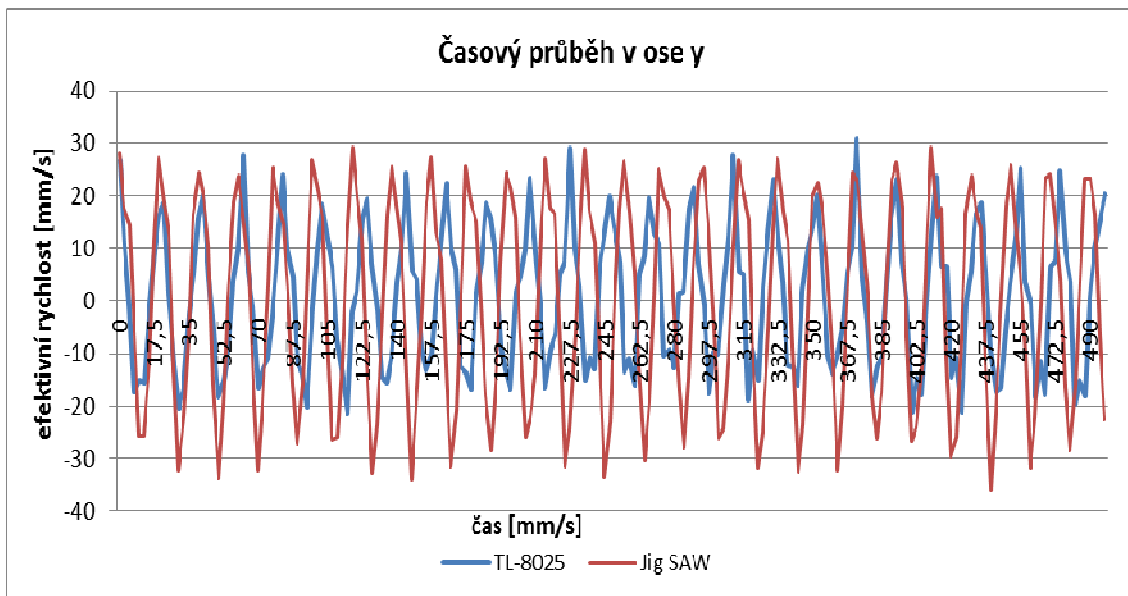


Obr. 17 Směry měření vibrací

Pro lepší porovnání naměřených výsledků jsem oba průběhy v příslušných osách vykreslil do jednoho grafu.

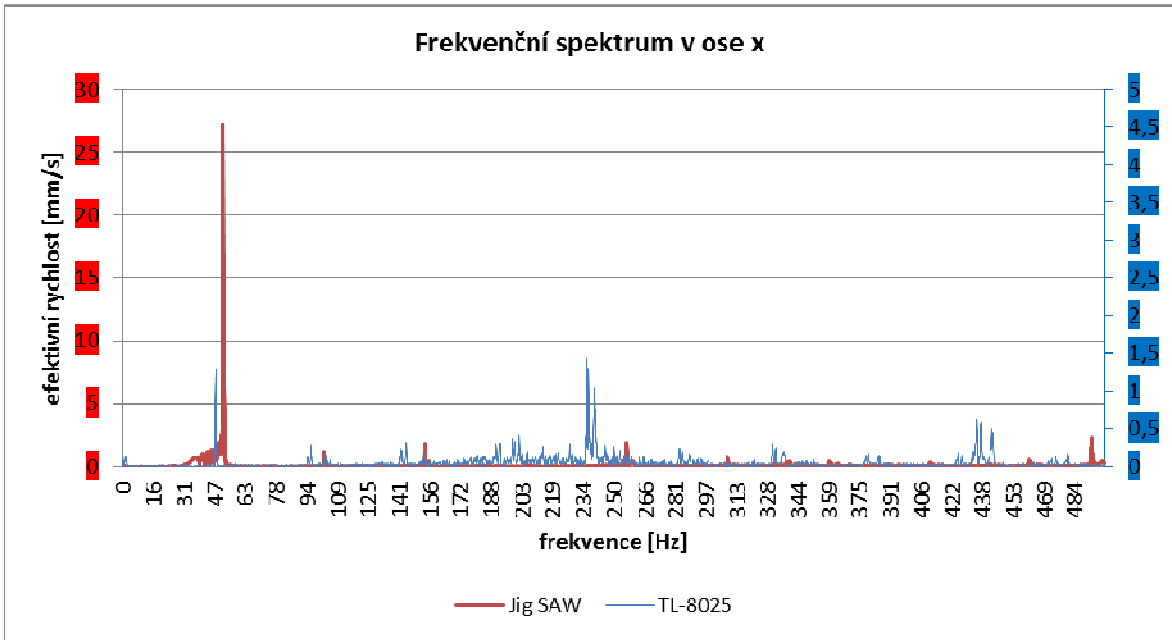


Obr. 18 Časový průběh v ose x

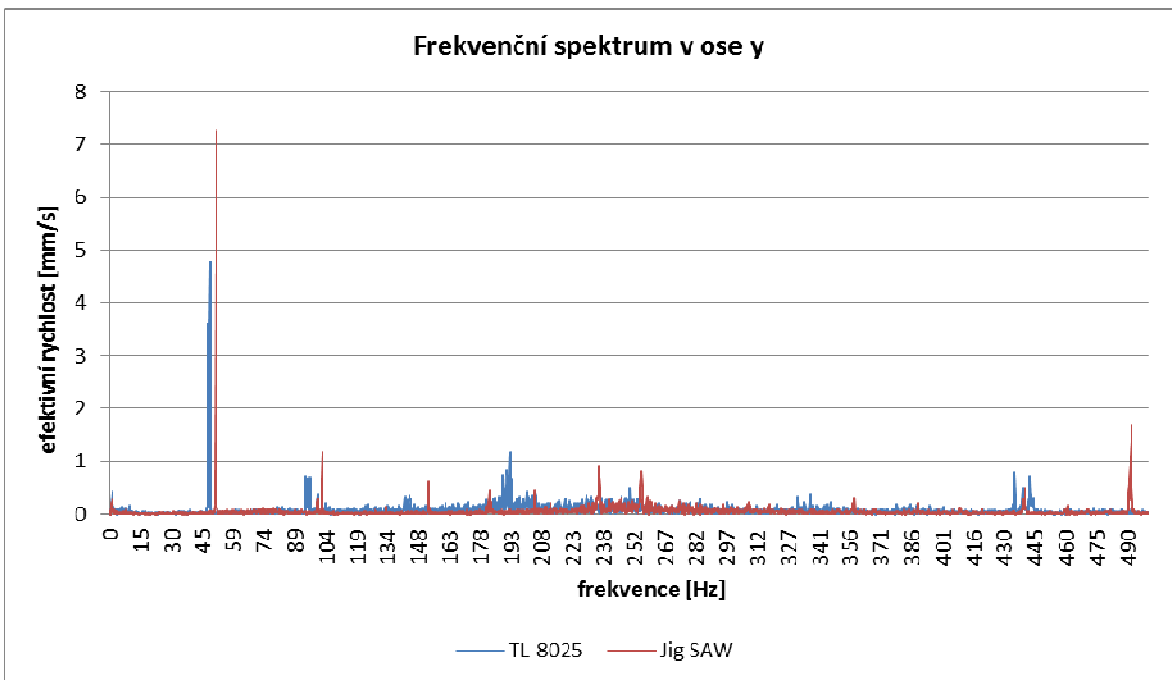


Obr. 19 Časový průběh v ose y

Z obrázků číslo 16 vyplývá, že přímočará pilka Jig SAW JS55SE-GLC dosahuje zvláště v ose x hodnot téměř 100 mm/s, což je více jak pětinašobek hodnot přímočaré pilky Trend TL-8025. Tento fakt lze vysvětlit tím, že obě pily mají různou vlastní konstrukci a pila Jig SAW byla v horším technickém stavu. Hodnoty v ose y jsou u obou pil srovnatelné.



Obr. 20 Frekvenční spektrum v ose x



Obr. 21 Frekvenční spektrum v ose y

Z obrázku č. 18 vyplývá, že obě přímočaré pilky mají největší nevývahu v ose x ve frekvenčním spektru skutečných kmitů pilového listu. U pilky Jig SAW jde o velikost rychlosti o hodnotě přibližně 27 mm/s při frekvenci kmitání 51,4 Hz (3084 min⁻¹). Pilka TL-8025 dosahuje hodnoty 2 mm/s při frekvenci kmitání 48,125 Hz (2888 min⁻¹). Několikanásobně zvýšené hodnoty u pilky Jig SAW jsou opět dány zhoršeným technickým stavem.

5. Praktické měření strojních součástí různého druhu

V této části měření jsme měřili vibrace na několika druzích ručních elektrických strojů. Tyto stroje jsme opět měřili ve dvou na sebe kolmých osách x a y .

Stroj: Matrix EHD 400

Výkon: 400 W

Otáčky: 0 – 1100 min^{-1}

Jedná se o lehké vrtací kladivo o hmotnosti 1,3 kg s proměnlivým nastavením otáček upínacího vřetene.

Trend TL – 8017

Výkon: 1010 W

Otáčky: 0 – 1000 min^{-1}

0 – 3000 min^{-1}

Jedná se o dvourychlostní příklepovou vrtačku o hmotnosti 3,4 kg.

Trend TL – 8023

Výkon: 1250 W

Otáčky: 0 – 730 min^{-1}

Jedná se o vrtací kladivo s odpruženým madlem.

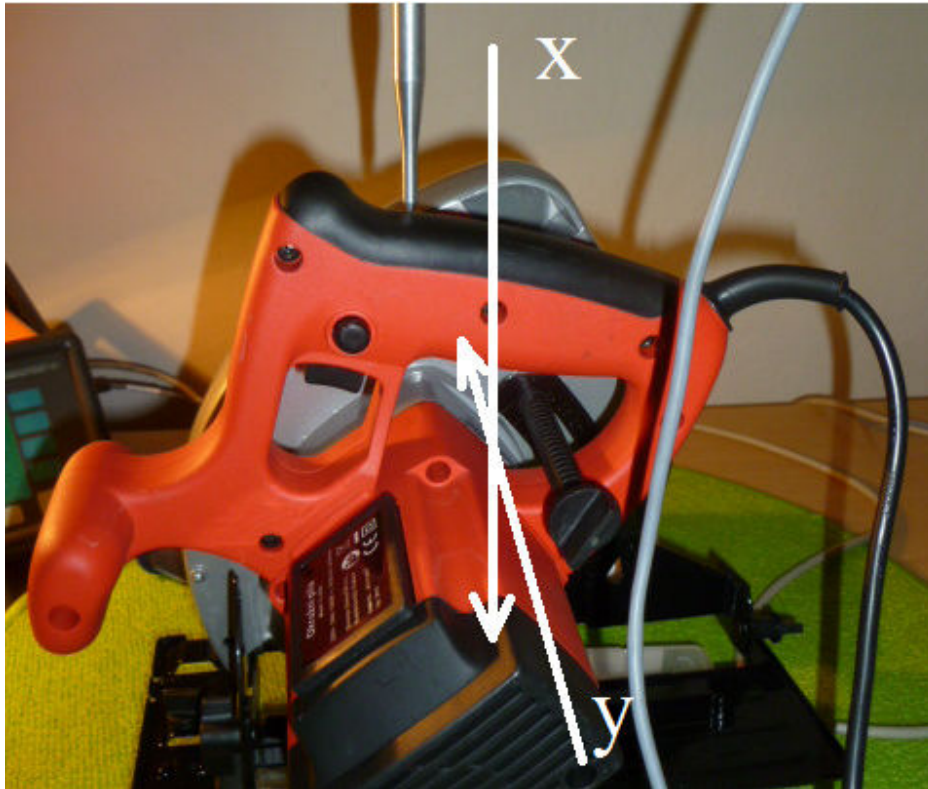
Trend TL – 8026

Výkon: 1200 W

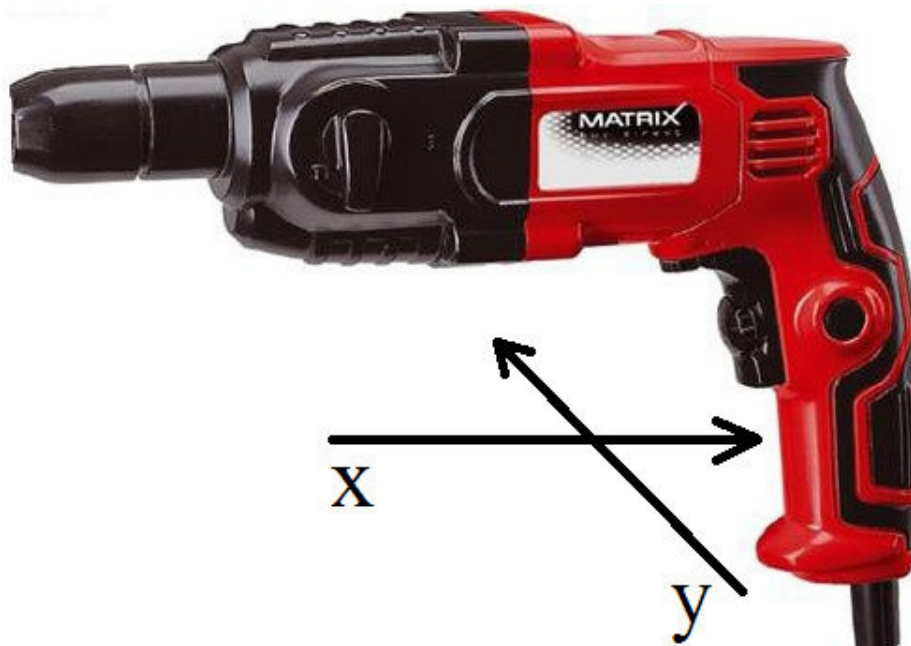
Otáčky: 4500 min^{-1}

Jedná se o okružní pilu pro průměr kotouče do 185 mm.

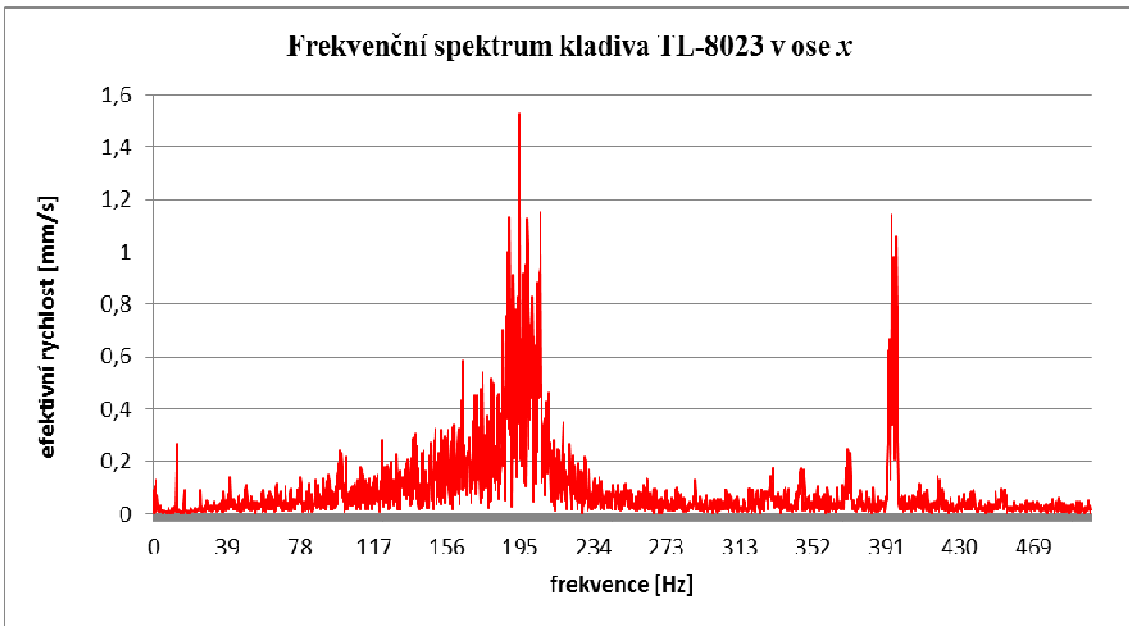
Do výsledků tohoto měření jsou zahrnuty i obě přímočaré pily z kapitoly 4. Směry měření ukazuje Obr. 22 pro okružní pilu TL – 8026 a Obr. 23 pro vrtačku TL – 8017 a obě bourací kladiva. Měřící hrot byl přikládán v blízkosti tlačítka pro spuštění daného stroje.



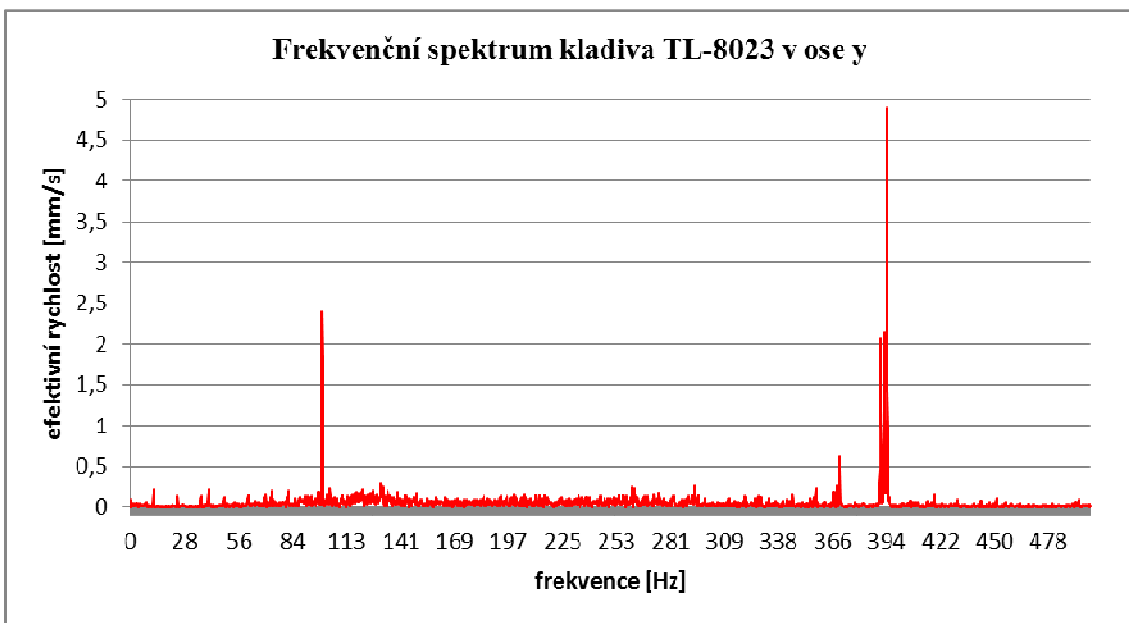
Obr. 22 Směry měření vibrací okružní pily



Obr. 23 Směry měření vibrací pro vrtačku a obě přiklepová kladiva



Obr. 20 Frekvenční spektrum v ose x



Obr. 21 Frekvenční spektrum v ose y

Ukázka frekvenční analýzy na bouracím kladivu Trend TL – 8023 v obou měřených rovinách. V rovině osy x je nejvýraznější velmi členěný vrchol, který nepatří hodnotě otáček stroje. Tento vrchol vytvořila rezonance tlumící pružiny, která je v rukojeti bouracího kladiva a jejíž hodnota rychlosti je 1,5 mm/s při frekvenci 195 Hz (11700 min^{-1}). Vrchol, který znázorňuje vlastní otáčky stroje je při frekvenci 12 Hz (720 min^{-1}) a rychlosti 0,3 mm/s. Grafy všech ostatních stojů jsou uvedeny v příloze.

6. Výpočet vibrací podle ČSN EN ISO 5349-1

Norma ČSN EN ISO 5349-1 Vibrace – Měření a hodnocení expozice vibracím přenášeným na ruce. Část 1: Všeobecné požadavky.

Podle výše uvedené normy je výpočet rozdělen do několika kroků. Nejprve vypočítáme efektivní hodnotu frekvenčně váženého zrychlení a_{hw} :

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (w_{hi} \cdot a_{hi})^2} \quad [m / s^2]$$

w_{hi} – váhový činitel daný i-tým třetinooktávním pásmem, které jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 5349-1 v tabulce A2.

- váhové činitele jsou uvedeny v rozmezí 4 až 2000 Hz. U nižších nebo vyšších frekvencí se škodlivost vibrací přenášených na ruce dosud nepotvrdila.

a_{hi} – efektivní zrychlení v i-tém třetinooktávním pásmu.

Pro výpočet velikosti vibrací z více směrů (v našem případě ze dvou směrů), dostáváme souhrnou efektivní hodnotu zrychlení a_{hv} :

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2} \quad [m / s^2]$$

Tab. 1: Vypočítané hodnoty váženého efektivního zrychlení dle ČSN 5349-1

	a_{hwx} [mm/s ²]	a_{hwy} [mm/s ²]	a_{hv} [m/s ²]
č. 1	166,481	329,876	0,370
č. 2	200,288	224,27	0,301
č. 3	1130,992	1114,809	1,588
č. 4	678,525	1062,857	1,261
č. 5	4106,061	1174,978	4,271
č. 6	764,723	1386,895	1,584

Legenda: č. 1: Vrtací kladivo EMD 400 Matrix

č. 2: Vrtačka TL – 8017

č. 3: Vrtací kladivo TL – 8023

č. 4: Okružní pila TL – 8026

č. 5: Přímočará pila Jig SAW JSS5SE-GLC

č. 6: Přímočará pila TL – 8025

Podle zákona 148/2006 Sb. je limitní hodnota expozice vibracím působícím na ruce dána hodnotou $1,4 \text{ m/s}^2$ pro osmihodinovou pracovní dobu. Tento limit překračují stroje číslo 3, 5 a 6. Pro ně platí následující přepočty určující čas práce, který je limitní.

$$K_x = \frac{a_{hv}}{a_{Lim}} = \frac{4,271}{1,4} = 3,05$$

$$T_x = \frac{T_8}{K_x} = \frac{480}{3,05} \doteq 157 \text{ min}$$

a_{hv} – souhrnná efektivní hodnota zrychlení [m/s^2]

a_{Lim} – maximální hodnota vibrací přenášených na ruce [m/s^2]

T_8 – osmihodinová pracovní doba [min]

K_x – korekční činitel

Tab. 2: Limitní hodnoty pracovních časů

	T_x [min]
č. 3: Vrtací kladivo TL-8023	423
č. 5: Přímočará pila Jig SAW	157
č. 6: Přímočará pila TL-8025	424

7. Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo zpracovat a vyhodnotit vibrace ručního elektrického náradí a jejich vliv na obsluhu stroje. Měření vibrací je složitý proces, jelikož toto měření může ovlivňovat řada rušivých faktorů. Z důvodu nedostatku času, neboť přístroj na měření vibrací Vibrotest 41 byl půjčený a během přípravy vlastního měření se musel vrátit, bylo měření snímáno pouze ruční sondou, která nemá vhodné charakteristiky. Myslím si však, že pro moji bakalářskou práci byly naměřené údaje dostatečně přesné a podaly nám zajímavé výsledky, které byly vyhodnoceny podle normy ČSN EN ISO 5943-1 a porovnány se sbírkou zákonů č. 148/2006. Tento zákon určuje expozici vibracím po dobu osmi hodin, tento limit splnily vrtací kladivo EMD 400, vrtačka TL – 8017 a okružní pila TL – 8026. Naopak tento limit mírně překročily vrtací kladivo TL – 8023 a přímočará pila TL – 8025, u kterých byl přepočten zdraví neohrožující čas 423 respektive 424 minut. Nejvíce zákonem daný limit překročila přímočará pila Jig SAW, pro který byl čas bezpečné práce na 157 minutách, nutno ovšem podotknout, že stroj Jig SAW byl v horším technickém stavu. Všechny stroje však spadají do kategorie „náradí pro kutily“, u kterých se nepředpokládá, že by se s nimi pracovalo po celou pracovní dobu.

Použitá literatura:

- [1] SMETANA, Ctirad, et al. *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. 1. vyd. Praha: Sdělovací technika, c1988. 188s. ISBN 80-901936-2-5.
- [2] VAŇKOVÁ, Marie. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí. Část 2*. Brno: PC DIR, 1995, 140 s. ISBN 80-214-0695-X.
- [3] SMETANA, Ctirad, et al. *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. 1. vyd. Praha: Sdělovací technika, c1988. 188s. ISBN 80-901936-2-5.
- [4] SMETANA, Ctirad, et al. *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. 1. vyd. Praha: Sdělovací technika, c1988. 188s. ISBN 80-901936-2-5.
- [5] *Nemoci z povolání způsobené fyzikálními faktory*. [online]. [cit. 2012-04-20]. Dostupný na WWW:
http://www.nemocizpovolani.cz/Raynauduv_syndrom.pdf
- [6] GUARD7, Bezpečnost práce a požární ochrana. [online]. [cit. 2012-04-29]. Dostupný na WWW:
<http://www.guard7.cz/lexikon/zakladni-povinnosti-v-bozp/prace-zakazane-zenam-tehotnym-zenam-kojicim-zenam-matkam-do-konce-devateho-mesice-po-porodu-a-mladistvym/prace-zakazane-vsem-zenam>.
- [7] MATOUŠEK, Oldřich, BAUMRUK, Jaroslav. *Vibrace*. Kresby Karel Helmich. 1. Vyd. Praha: České centrum zdraví, 1998. 1 s. Dostupný z WWW:
<http://www.bozpinfo.cz/priloha/vibrace.pdf>
- [8] SMETANA, Ctirad, et al. *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. 1. vyd. Praha: Sdělovací technika, c1988. 188s. ISBN 80-901936-2-5.
- [9] Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. [online]. [2012-05-02]. *Snímače polohy, rychlosti a zrychlení*. Dostupné z WWW:
<http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/Ka06-02.htm>
- [10] Brüel & Kjær, sonda AC-272. [online]. [2012-05-02]. Dostupné z WWW:
<http://www.bkvibro.com/fileadmin/mediapool/Internet/PDF-Files/Documentation/AC-Parts/AC-0200-AC-0299/ac272def.pdf>

[11] Techmania - Fyzika v pozadí, Vědci a vynálezci. [online]. [cit. 2012-04-15].

Dostupný z WWW:

http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=506f687962h&key=633

[12] PIRNER, Miloš. Životní prostředí a technická seizmicita. Časopis stavebnictví [online]. 2009, 03/09, [cit. 2012-04-15]. Dostupný z WWW:

http://www.casopisstavebnictvi.cz/zivotni-prostredi-a-technicka-seizmicita_N2118.

[13] Wikipedie – Otevřená encyklopedie, Ryv. [online]. [cit. 2012-11-15].

Dostupný z WWW:

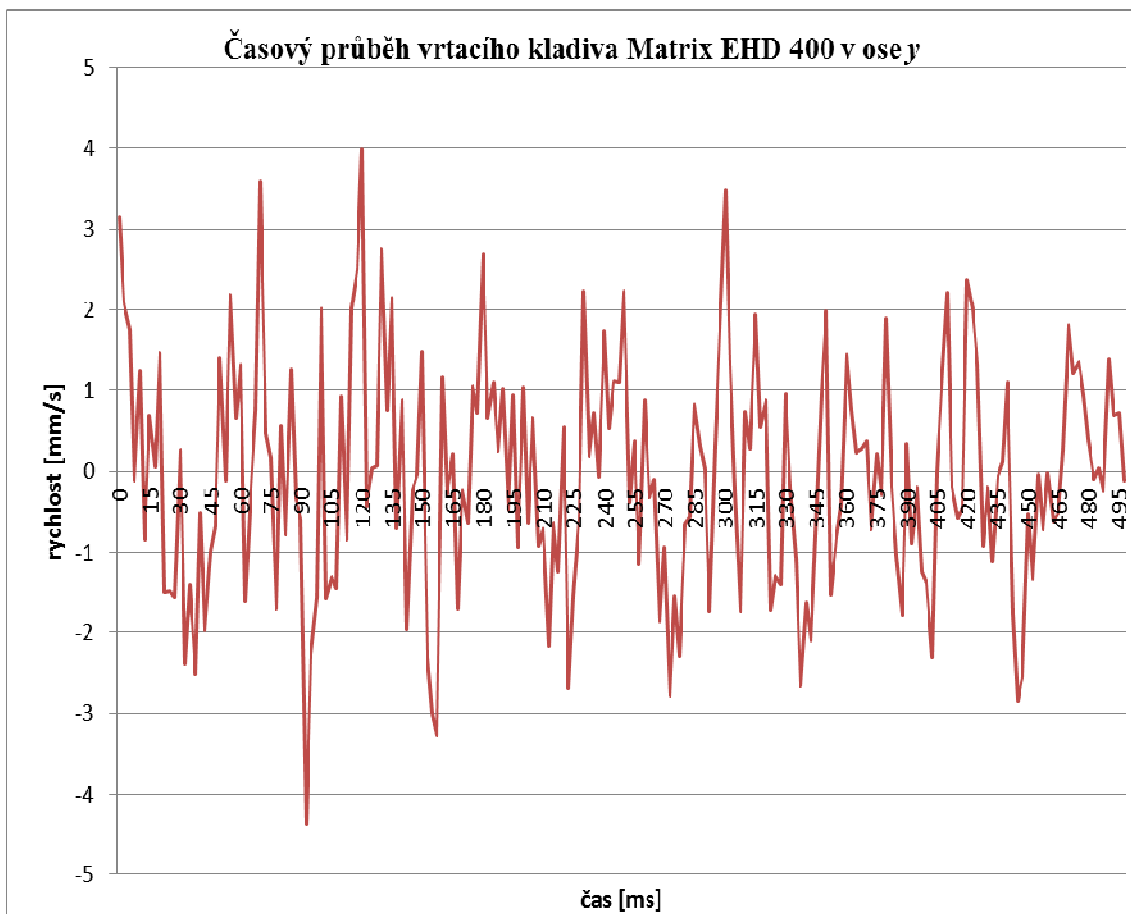
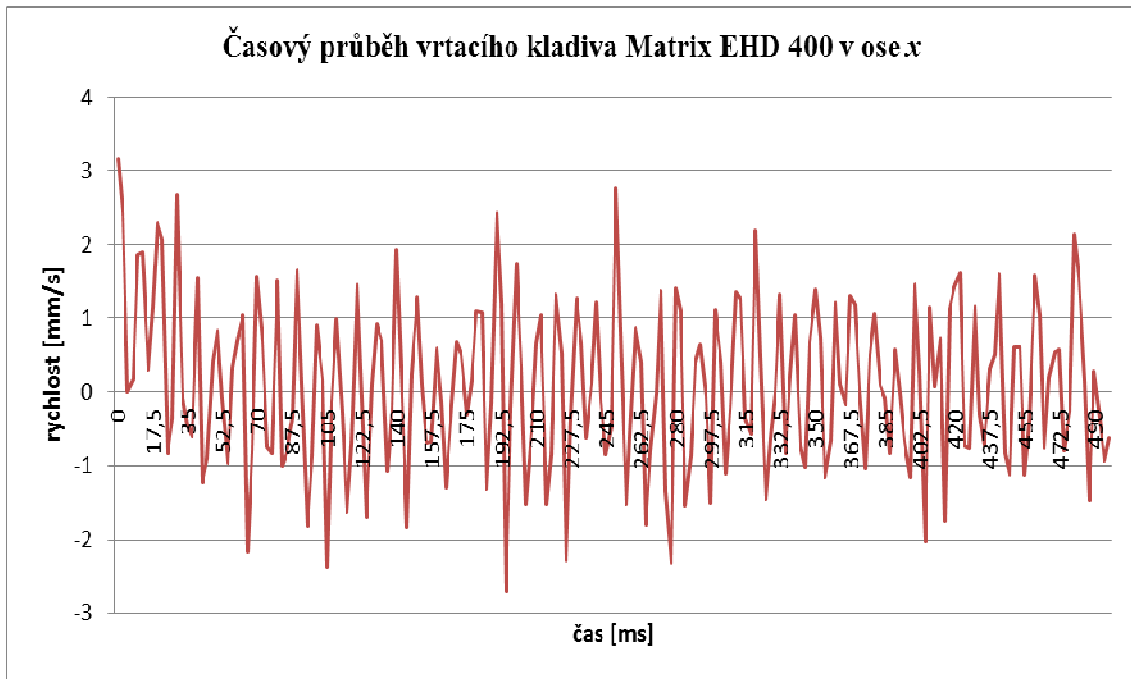
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Ryv>.

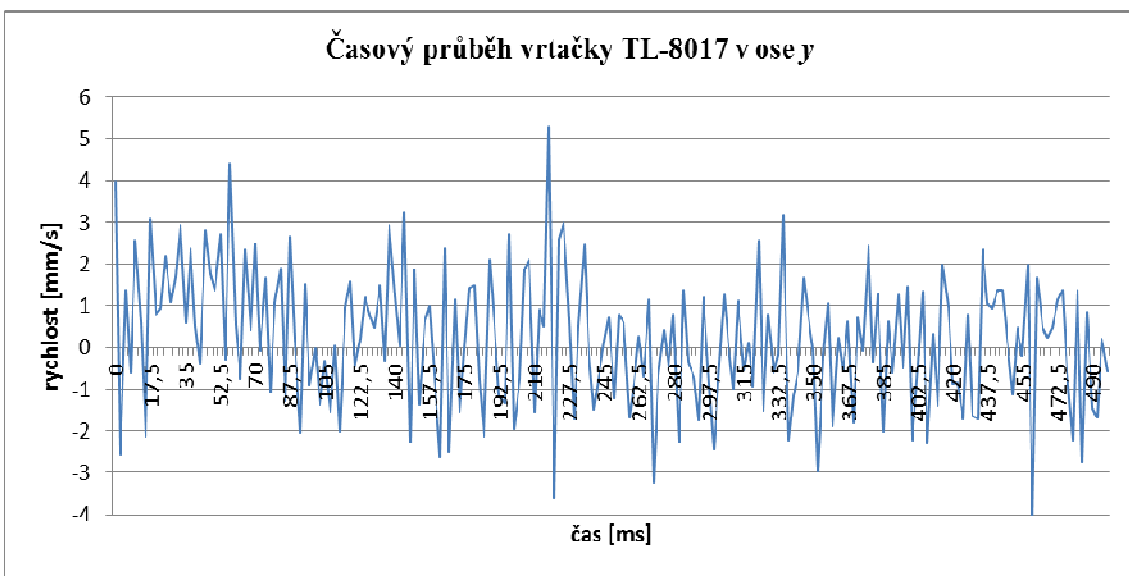
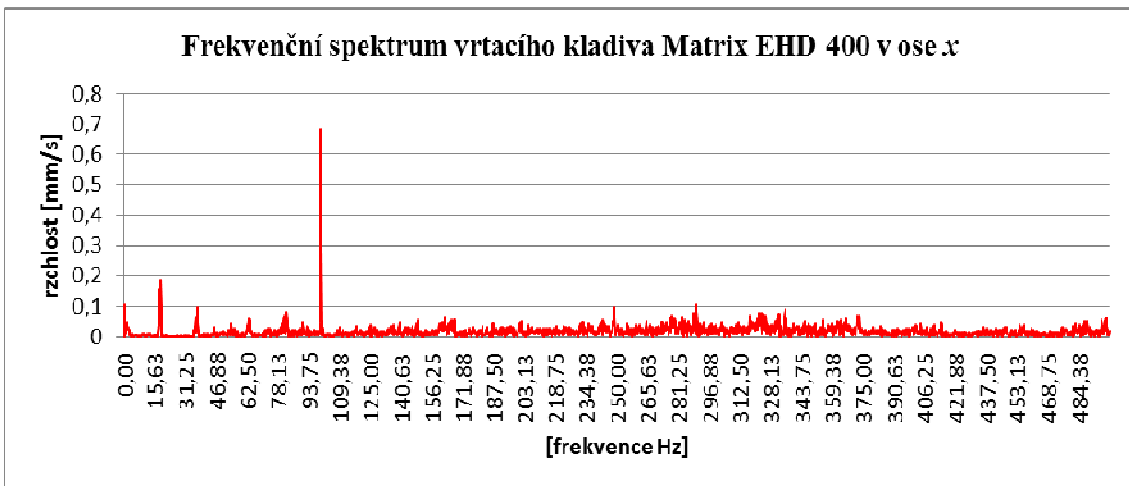
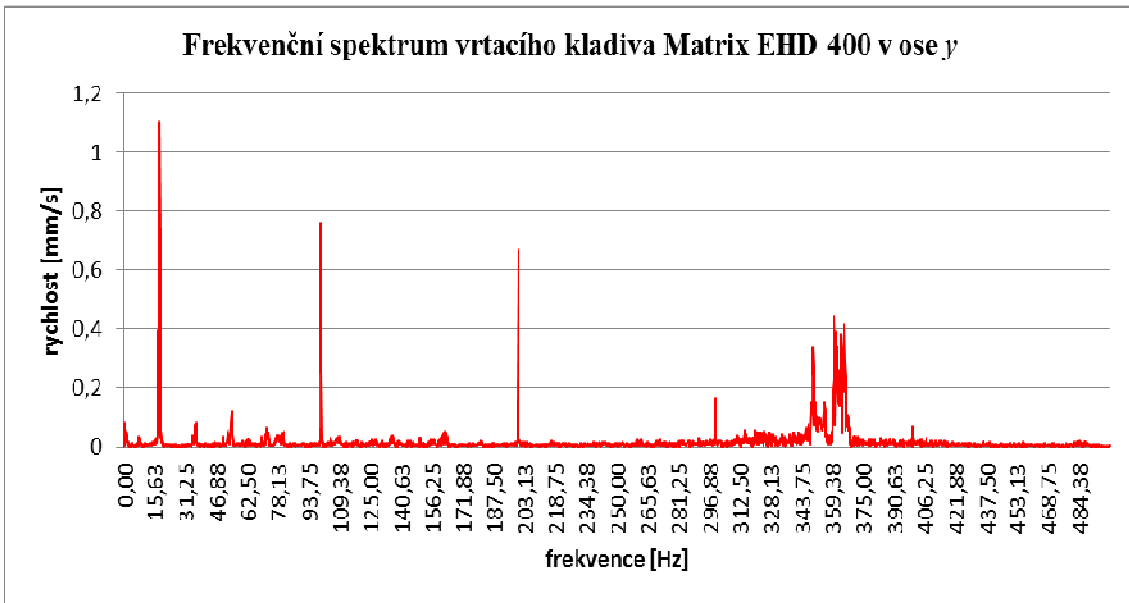
Sbírka zákonů č. 148/2006. Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Část čtvrtá. [online].

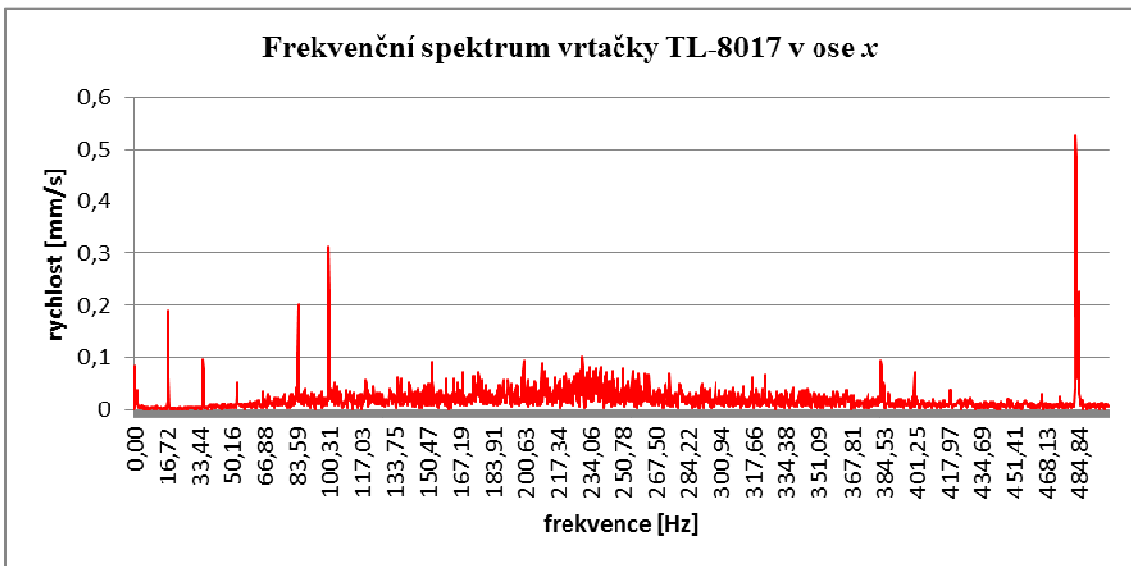
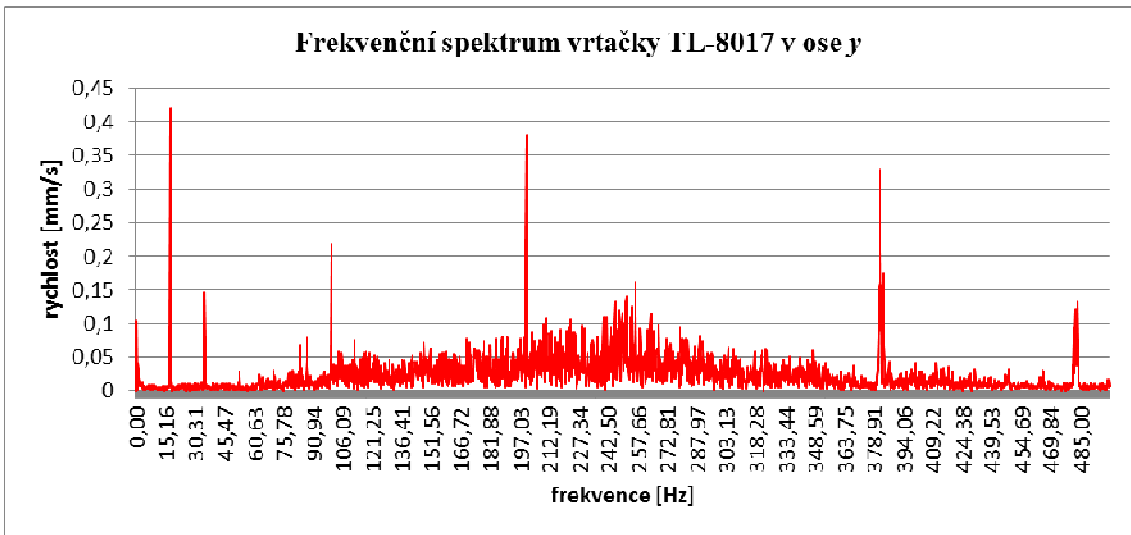
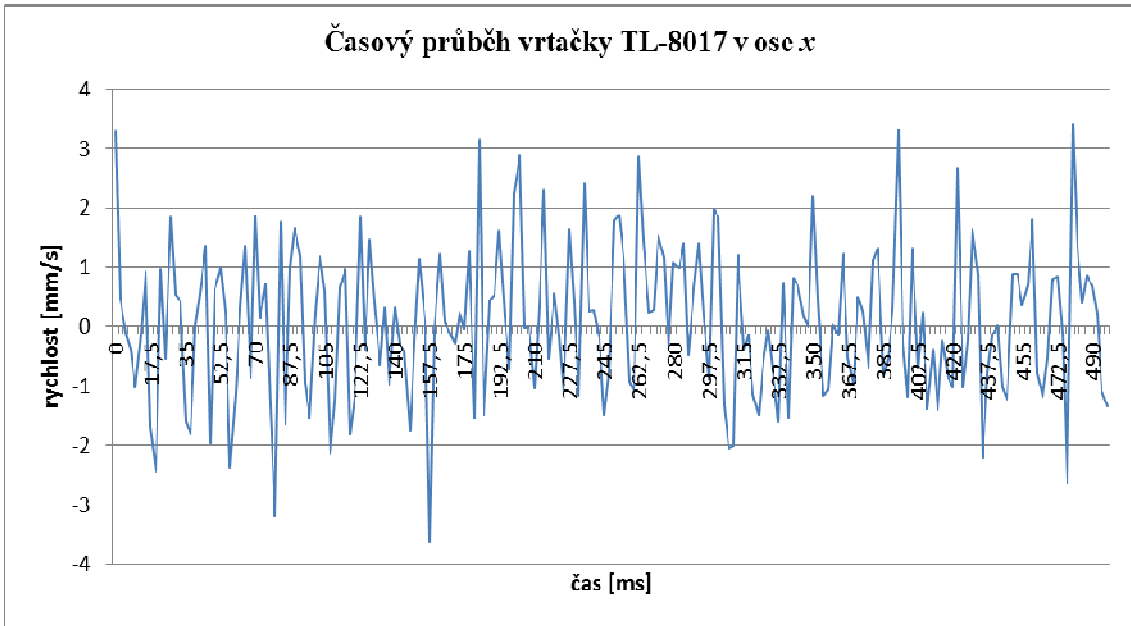
Dostupné z WWW:

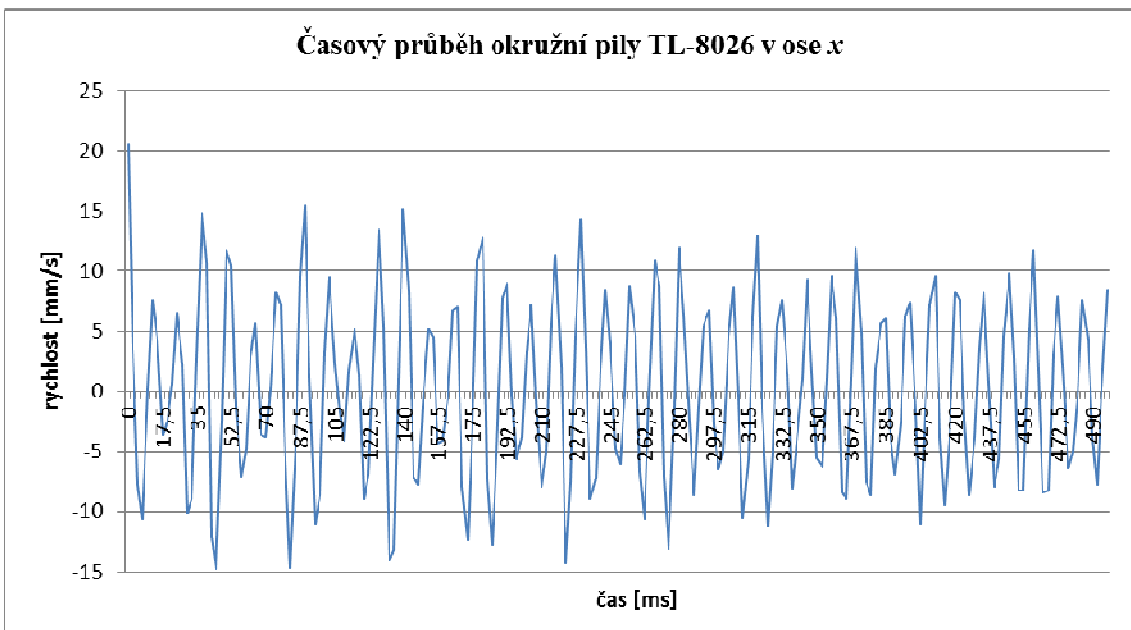
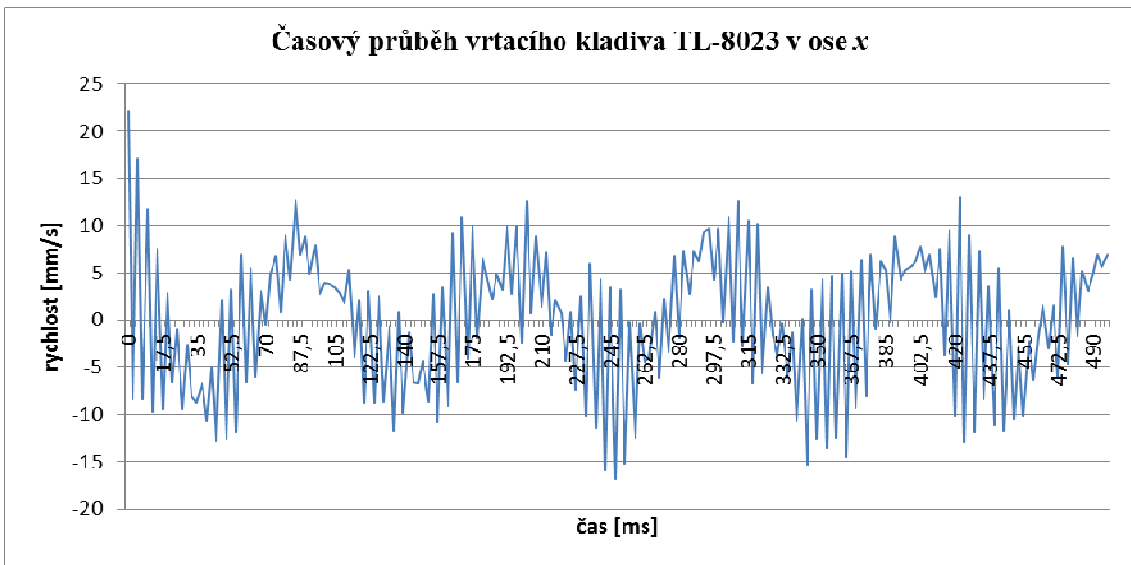
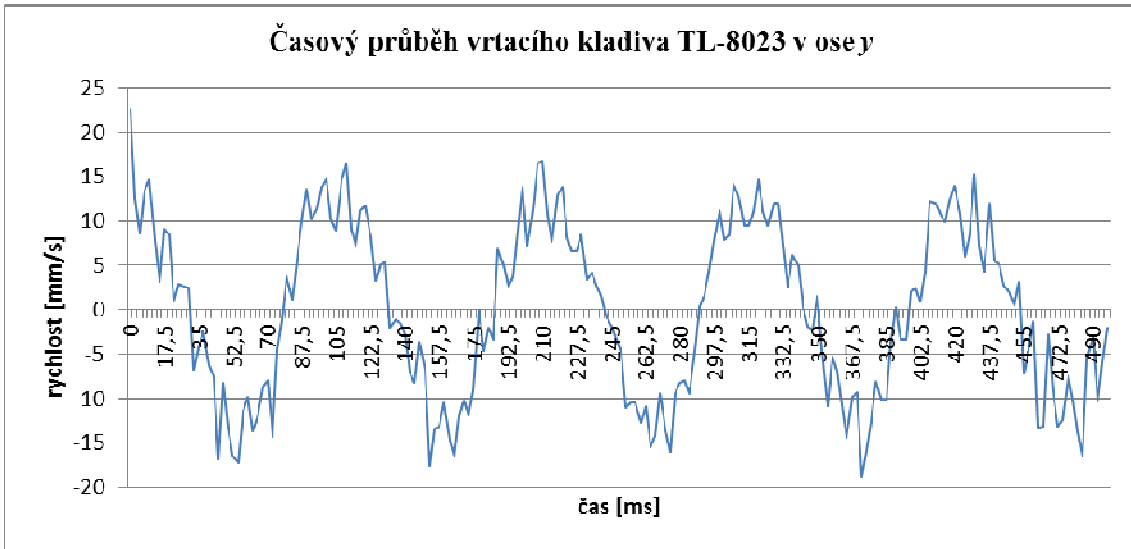
<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-258-2000-sb-a-souvisejici-predpisy>.

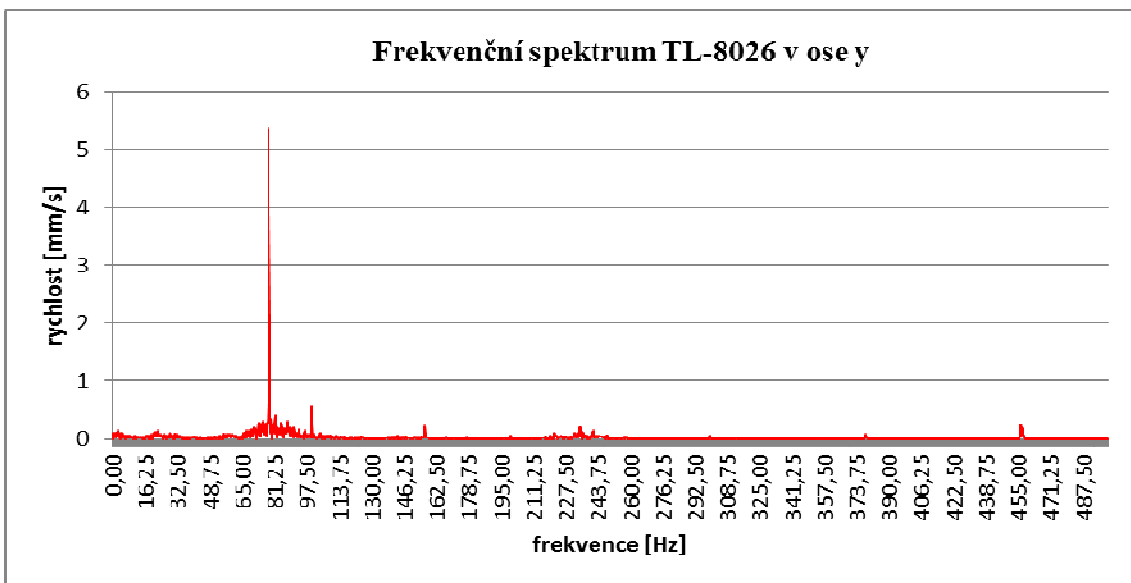
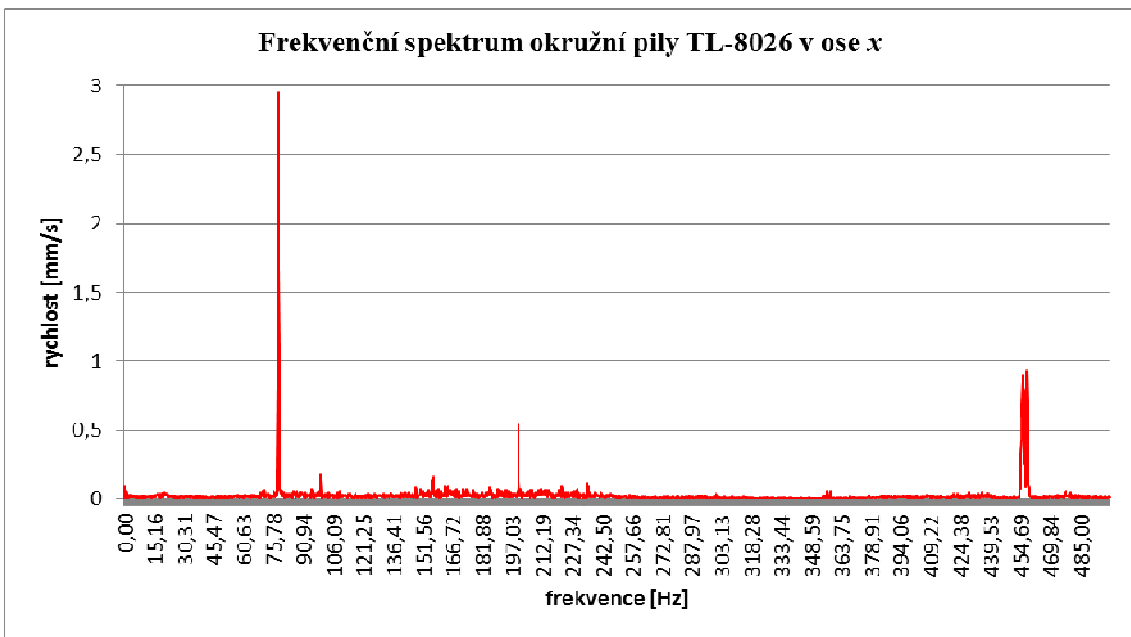
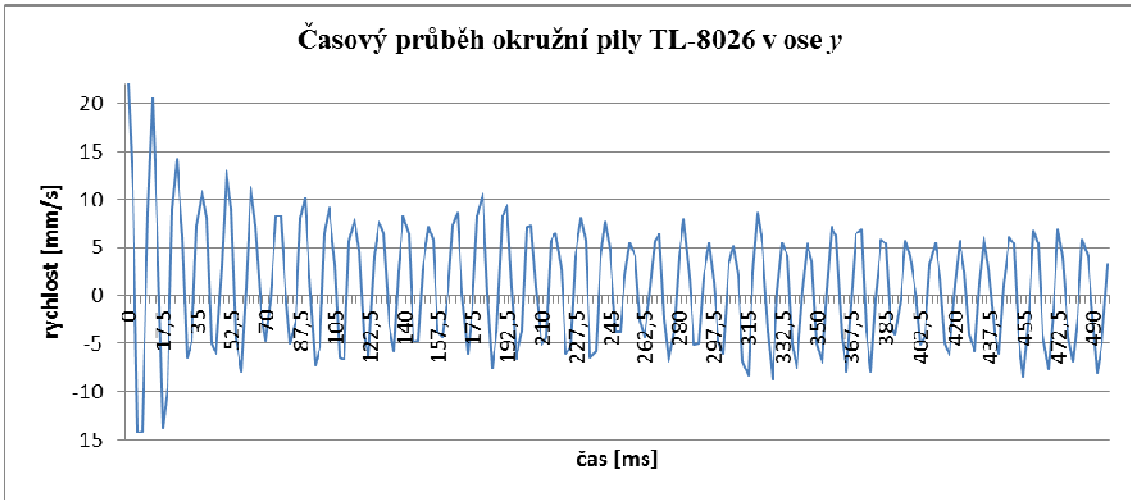
Příloha A: Grafy ostatních strojů













Acceleration Sensor AS - 020

1 Application

The acceleration sensor AS-020 is used for measurement of vibration acceleration.

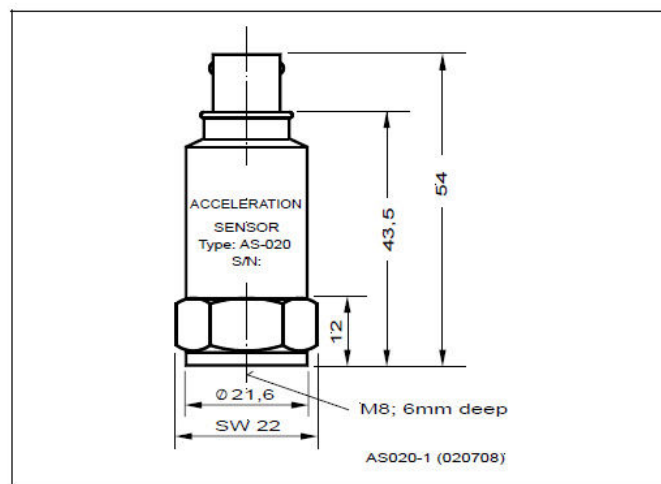


Fig. 1 Acceleration Sensor AS - 020

2 Measuring Principle

Acceleration sensors operate in accordance with the piezoelectric compression principle. Inside the sensor, a spring/mass damping system is formed by a piezoceramic disk and an internal sensor mass.

When introducing vibrations into this system, the mass exerts an alternating force on the ceramic disk and due to the piezoelectric effect electric charges are caused which are proportional to acceleration.

An integrated charge amplifier increases the output signal to a usable signal level.

3 Technical Data

Type	Piezoelectric acceleration sensor with integrated charge amplifier	
Sensitivity	100 mV/g	± 5 %
	10,2 mV/m/s ²	± 5 %

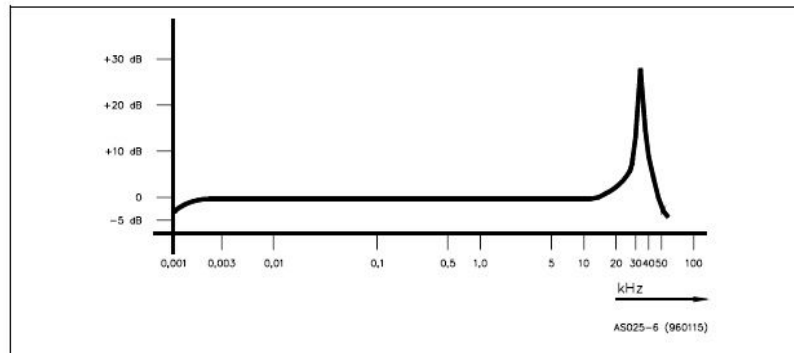


Fig. 2 Typical frequency response of sensitivity

Overload capacity	continuous 500 g shock 5000 g (all directions) Fall from 1.5 m on concrete damage
without	
Dependence of sensitivity on operating voltage	< 1 %
Sensitivity deviation due to temperature	- 22 °C - 3 % + 22 °C 0 % + 65 °C + 2,5 % + 120 °C + 5,5 %
Operating temperature range	- 50 °C ... + 125 °C
Storage temperature range	- 50 °C ... + 150 °C
Measuring range	± 80 g (U _B = -24 V...-30 V) ± 40 g (U _B = -20 V) ± 20 g (U _B = -18 V)
Linearity error	≤ 0,1 % (0,1 g ... 10 g)
Transverse sensitivity (80 Hz)	≤ 7 %
Frequency range	4 ... 10 000 Hz (± 0,5 dB) 1,5 ... 15 000 Hz (± 3 dB)
Resonance frequency	35 kHz ± 3 kHz
Noise	0,1Hz-100 kHz ≤ 0,6 mV _{SS} 0,1Hz- 1 kHz ≤ 0,2 mV _{SS}

Voltage supply U_B	-24 V (-18 V...-30 V)
Output impedance	$\leq 5 \Omega$
Open-circuit potential (- 50 °C ... + 125 °C)	-12 V ± 2 V
Temperature sensitivity	< 0,01 g/K
Strain sensitivity	< 0,0003 g/ ($\mu\text{m/m}$)
Magnetic field sensitivity	< 0,003 g/mT
Insulation resistance (Housing supply voltage 0 V)	$\geq 20 \text{ M}\Omega$
Dielectric strength of insulation	500 V _{RMS}
Interference voltage suppression between housing and 0 V (frequency-dependent)	< 0,5 kHz ≥ 140 dB 1 kHz ≥ 120 dB 10 kHz ≥ 100 dB
Supply voltage feed through	≤ 36 kHz < -30 dB
Stability with capacitive load	$0 \leq C_L \leq 470$ nF
EMC	EN 50082-2: 1995 item 1.1, 1.2, 1.4, 2.1, 2.2 EN 50081-2: 1994 item 1.1, 1.2
Housing	Stainless steel, hermetically sealed, rugged industrial design
Protective system	IP 66
Weight	70 g (2.47 oz)
Fixing	Central fixing by means of stud M8 x 14; max. tightening torque 4.5 Nm M8 / 1/4" 28 UNF; max. tightening torque 3.5 Nm