

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ- TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Katedra výrobních strojů a konstruování



# PROBLEMATIKA ČERPÁNÍ DŮLNÍCH VOD

## Issue of Mine Water Pumping

Student:

Bc. Dulawa Jaromír

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Blata, Ph. D.

Ostrava 2016

## Zadání diplomové práce

Student:	<b>Bc. Jaromír Dulawa</b>
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace:	72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma:	<b>Problematika čerpání důlních vod Issue of Mine Water Pumping</b>
Jazyk vypracování:	čeština

### Zásady pro vypracování:

Vibrační diagnostika je jednou z nejvýznamnějších metod pro určování technického stavu strojních zařízení. Využijte proto vhodné nástroje této metody, případně jiné vhodné metody a dostupná zařízení pro určování technického stavu čerpadel. V rámci diplomové práce rozveďte problematiku čerpání důlních vod, dále se zabývejte problematikou možnosti identifikace vznikajících závad. Změřená data analyzujte a proveďte následná vyhodnocení.

### V rámci zadání zpracujte:

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

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce

Seznam doporučené odborné literatury:

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

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

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

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

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

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.

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

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

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 32 s.

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

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

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2015



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



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

### Místopřísežné prohlášení studenta

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

V Ostravě: 13.5.2016




.....  
podpis studenta

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (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 : .....13.5.2016

  
.....  
podpis

Bc. Jaromír Dulawa

Karviná- Ráj, Polská 119/4

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DULAWA, J. *Problematika čerpání důlních vod: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2016, 65 s. Vedoucí práce: Ing. Blata Ph.D., J.

Diplomová práce se zabývá problematikou čerpání důlních vod. V teoretické části diplomové práce jsou popsány používané typy čerpadel, jejich parametry a použití. Dále byly popsány druhy poruchových stavů při čerpání důlních vod. V praktické části jsem aplikoval vibrodiagnostiku na zjištění technického stavu čerpadel. Dále je aplikováno ustavování hřídele do osy na důlním čerpadle pomocí laserového přístroje a následná aplikace diagnostiky, konkrétně vibrodiagnostiky, tribodiagnostiky a termodiagnostiky.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

DULAWA, J. *Issue of Mine Water Pumping: Master Thesis*. Ostrava: VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2016, 65 p. Thesis head: Ing. Blata Ph.D., J.

The thesis deals with the issue of mine water pumping. The theoretical part of thesis describes common types of pumps, their characteristics and applications. It also describes kinds of fault conditions in the mine water pumping. In the practical part I have applied vibrodiagnostics on the findings of the technical condition of the pumps. Next is also applied shaft alignment to amine pump axis using a laser device and subsequent application of diagnostics, specifically vibrodiagnostics, tribodiagnosics and thermodiagnosics.

# Obsah

1. Čerpání důlních vod .....	11
1.1. Vysvětlení pojmu „důlní voda“ .....	11
1.2. Systém čerpání na Důlním závodě 1, lokalita Lazy .....	11
2. Používaná čerpadla k čerpání důlní vody .....	13
2.1. Objemová čerpadla .....	13
2.1.1. Čerpadlo WILDEN.....	13
2.1.2. Čerpadlo 2"- XDA – 100 (NORA 100).....	14
2.2. Odstředivá čerpadla .....	15
2.2.1. Čerpadlo 100-NVE- 200-28.....	15
2.2.2. Čerpadlo 80-CV-03 .....	16
2.2.3. Čerpadlo VN-3-10° .....	17
2.2.4. Čerpadlo WPS 100/6 .....	19
2.2.5. Čerpadlo 100-CDB-230-14.....	19
2.2.6. KDDF-080-01-E .....	21
2.2.7. Flygt BS 2201 HT .....	22
2.2.8. Flygt BS 2400 MT .....	23
3. Druhy poruchových stavů při čerpání důlních vod .....	25
3.1. Nesouosost hřídelí .....	25
3.1.1. Varianty nesouososti.....	25
3.2. Ucpání vstupního oběžného kola .....	27
3.3. Kavitační opotřebení, koroze a eroze .....	29
4. Ustavování zařízení do osy .....	31
4.1. Popis ustavovaných zařízení.....	31
4.1.1. Čerpadlo CDB 100-230-14/12.....	31
4.1.2. Spojka.....	31
4.1.3. Elektromotor.....	33
4.2. Popis ustavování hřídelů do osy.....	33
4.2.1. Metody ustavování .....	33

4.2.2.	Použité zařízení k ustavování.....	35
4.3.	Postup ustavování.....	36
4.3.1.	Výsledky měření ustavování .....	39
5.	Technická diagnostika.....	41
5.1.	Vibrodiagnostika.....	41
5.2.	Termodiagnostika.....	41
5.3.	Tribodiagnostika.....	41
5.4.	Použitá technika.....	42
5.4.1.	MICROLOG CMVA 10 .....	42
5.4.2.	Marlin CMVL 3600 IS .....	42
5.4.3.	Testo 882.....	43
5.5.	Vibrodiagnostika měření.....	44
5.5.1.	Stanovení měřících bodů .....	44
5.5.2.	Výběr měřitelné veličiny .....	45
5.5.3.	Celkové vibrace stroje.....	46
5.5.4.	Měření čerpadla před výměnou.....	46
5.5.5.	Měření nového čerpadla.....	48
5.5.6.	Lokalizace poškození valivých ložisek.....	50
5.6.	Termodiagnostika měření.....	55
5.7.	Tribodiagnostika měření.....	57
5.7.1.	Uvedení do problematiky.....	57
5.7.2.	Analýza vzorku oleje .....	57
6.	Závěr:.....	59
7.	Seznam obrázků .....	62
8.	Seznam tabulek .....	64
9.	Seznam příloh .....	65



## Seznam použitých symbolů a zkratk

P	výkon a příkon	[kW]
Q <sub>v</sub>	objemový průtok	[m <sup>3</sup> /hod]
	otáčky	[ot/min]
p	provozní tlak	[kPa]
	dopravní výška a sací výška	[m]
	dynamická viskozita	[mPas]
ρ <sub>v</sub>	hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]
BPFI	poruchová frekvence vnitřního kroužku ložiska	[Hz]
BPFO	poruchová frekvence vnějšího kroužku ložiska	[Hz]
BSF	poruchová frekvence valivých segmentů ložiska	[Hz]
FTF	poruchová frekvence klece ložiska	[Hz]
RPN	otáčky hřídele	[1/min]
BPF	průchodová frekvence lopatek	[Hz]
RMS	efektivní hodnota vibrací	[mm/s]
2X	dvojnásobek otáčkové frekvence výchylky	[Hz]
3X	trojnásobek otáčkové frekvence výchylky	[Hz]
ČSN ISO	česká státní norma převzata z normy mezinárodní	
DIN	německá norma	[-]
f	frekvence vibrací	[Hz]
g, gE	gravitační zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
KOH	hydroxid draselný	

## Úvod

V této práci se budu věnovat čerpání důlních vod na Důlním závodě 1, Lokalita Lazy. Čerpání důlních vod je nezbytné z hlediska bezpečnosti důlního provozu. Je nezbytné čerpat veškerou důlní vodu, která se nachází v dole. K čerpání důlních vod se používají důlní čerpadla, která čerpají důlní vodu na povrch, kde se pak řízeně vypouští do vodních toků v takových limitech, aby nedošlo k ohrožení života a funkcí těchto potoků a řek.

V první části se budu věnovat systému čerpání důlních vod, technickým parametrům čerpadel a problémům vznikajících při provozu čerpadel. Cílem této diplomové práce, je ukázat využití technické bezdemontážní diagnostiky při čerpání důlních vod. Pravidelným měřením lze zjistit zhoršující se stav čerpadel a předejít havárii. V našem případě došlo k takovému zhoršení technického stavu, že jsme přistoupili na výměnu čerpadla.

V další části se věnuji ustavování hřídelů do osy na čerpadle typu CDB-230-14/12-OU-SP s elektromotorem typu AF 7135-2 o výkonu 400 kW. K ustavování bylo využito laserového měřicího přístroje. K ověření výsledku ustavování do osy a technického stavu čerpadla byla aplikována technická bezdemontážní diagnostika, konkrétně vibrodiagnostika, termodiagnostika a tribodiagnostika.

## 1. Čerpání důlních vod

### 1.1. Vysvětlení pojmu „důlní voda“

Základní legislativní normou vymezujícím pojem „důlní vody“, je horní zákon z roku 1988, který v § 40 vymezuje důlní vody následujícím způsobem:

*„Důlními vodami jsou všechny podzemní, povrchové a srážkové vody, které vnikly do hlubinných nebo povrchových důlních prostorů bez ohledu na to, zda se tak stalo průsakem nebo gravitací z nadloží, podloží nebo boku nebo prostým vtékáním srážkové vody, a to až do jejich spojení s jinými stálými povrchovými nebo podzemními vodami“ [1].*

### 1.2. Systém čerpání na Důlním závodě 1, lokalita Lazy

K čerpání důlních vod, se v dolech zřizuje čerpací stanice, která čerpá důlní vodu na povrch. Výkon hlavní čerpací stanice je nařízen vyhláškou ČBÚ č. 22/1989 Sb. ze dne 29. prosince 1988. Kde v § 206, odstavec č. 1 a 2 je stanoveno, že:

*„Důl musí mít hlavní čerpací stanici s takovým výkonem, aby průměrný denní přítok důlních vod byl vyčerpán nejpozději za 16 hodin. Kromě toho musí být v pohotovosti nejméně padesátiprocentní záloha ve výkonu, nejméně však jedno záložní čerpadlo o výkonu největšího používaného čerpadla“ [2].*

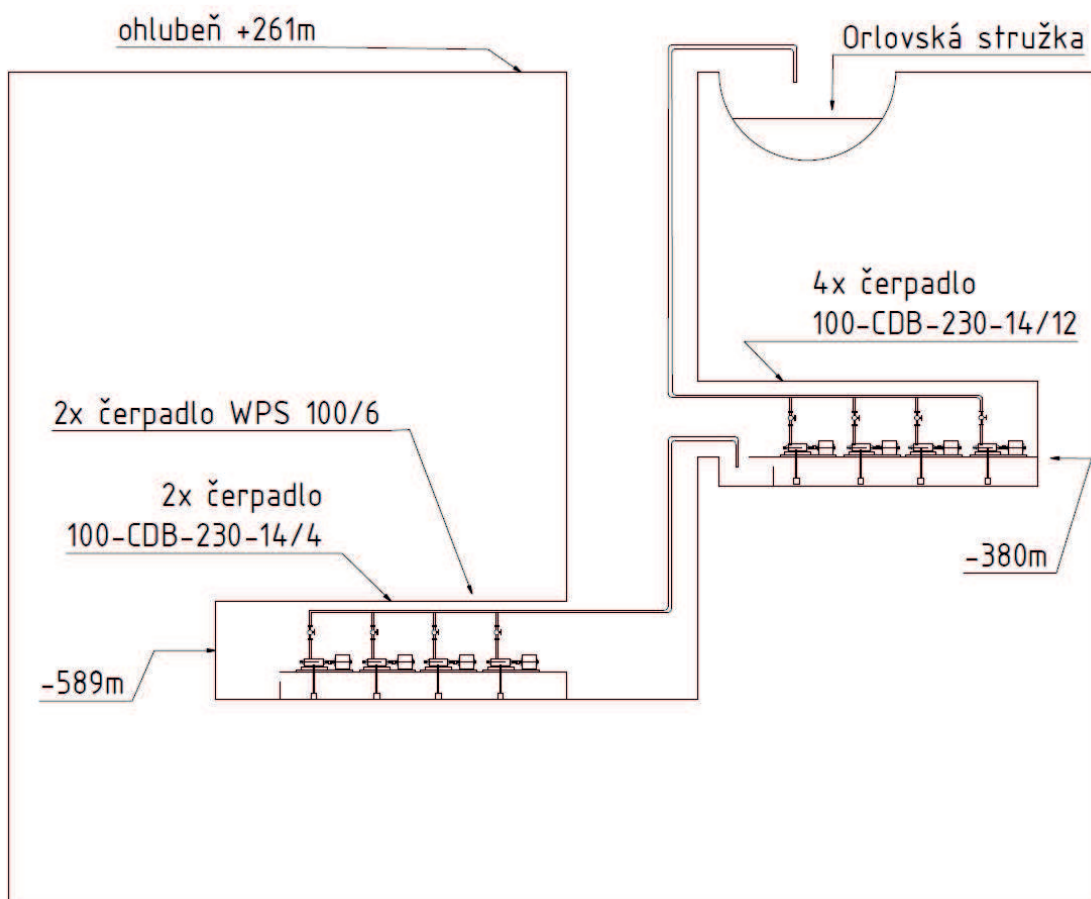
Na Důlním závodě 1, lokalita Lazy, je hlavní čerpací stanice na 9. patře v hloubce 850 m pod úrovní povrchu, kde čerpání důlní vody zajišťují dvě čerpadla typu WPS100/6 s elektromotory dSg 280-4 o výkonu 100 kW a dvě čerpadla typu 100-CDB-230-14/4 s elektromotory IM 1001 o výkonu 132 kW. Z 9. patra se důlní voda přečerpává na 8. patro s převýšením 209 m, kde je čerpací stanice, která je vybavena čtyřmi čerpadly typu 100-CDB-230-14/12-OU-SP s elektromotory AF 7135-2 o výkonu 400 kW. Z 8. patra je voda čerpána na povrch do Orlovské stružky (obrázek 1).

Hlavní čerpací stanice čerpá vodu z žumpovnní chodby. Velikost žumpovnní chodby je rovněž stanovena vyhláškou ČBÚ č. 22/1989 Sb. ze dne 29. prosince 1988.

*„V dole s nebezpečím průvalů vod musí být užitečný objem žumpovnních chodeb hlavní čerpací stanice určen podle míry nebezpečí průvalů vod, nesmí však být menší než průměrný přítok za 32 hodiny“ [2].*

Do žumpovnní chodby, je důlní voda stahována z celého důlního pole pomocí menších čerpacích stanic. V úrovni patra, se používají k čerpání důlní vody čerpadla typu WILDEN, 2"- XDA – 100 a KDDF-080-01-E.

Čerpání z pod úrovně patra se zajišťuje pomocí menších čerpacích stanic, které jsou v kombinaci čerpací nádoba s čerpadlem 80-CV-03 nebo čerpadlem VN-3-10. Čerpací nádoba je doplňována důlní vodou opět pomocí čerpadel typu WILDEN, 2"- XDA – 100 a KDDF-080-01-E.



Obrázek 1 Schéma čerpání důlní vody na povrch

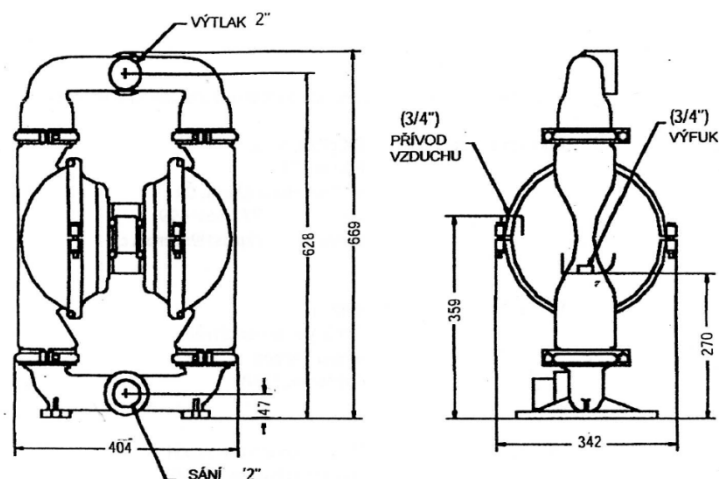
## 2. Používaná čerpadla k čerpání důlní vody

### 2.1. Objemová čerpadla

#### 2.1.1. Čerpadlo WILDEN

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [3]

Čerpadlo je poháněné tlakem vzduchu, skládá se ze dvou pracovních komor s membránami, centrálního bloku, sacího a výtlačného potrubí. Do jedné pracovní komory je před membránu přiveden tlakový vzduch, druhá část pracovní komory za membránou je pomocí sacího a výtlačného ventilu spojena potrubím. Tlakový vzduch je pomocí automatického rozváděcího šoupátka veden střídavě za jednu nebo druhou membránu, čímž dochází ke střídání sacího a výtlačného zdvihu membrány.



Obrázek 2 Vzduchové membránové čerpadlo WILDEN T8 [3]

	WILDEN T-4	WILDEN T-8	WILDEN T-10
Dopravované množství [m <sup>3</sup> /hod]	15	33,6	52,8
Maximální provozní tlak vzduchu [kPa]	750	860	860
Maximální velikost zrna [mm]	4,35	9,5	9,5
Maximální sací výška [m]	5,5	4,6	5,8
Maximální dopravní výška H <sub>2</sub> O [m]	80	80	80
Maximální viskozita [mPas]	30 000	30 000	30 000

Tabulka 1 Technické parametry čerpadel WILDEN

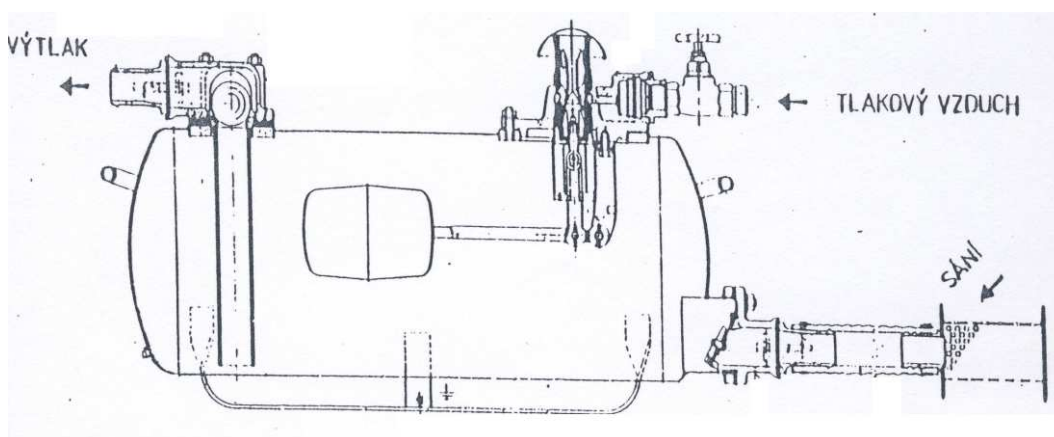
### 2.1.2. Čerpadlo 2"- XDA – 100 (NORA 100)

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [4]

Vzduchové čerpadlo 2"- XDA - 100 má tyto hlavní části:

- svařovanou tlakovou nádobu o objemu 100 l, na kterou se připojuje vývěsnými šrouby sací a výtlačná hadice
- ejektorové zařízení s plovákem a přípojkou pro energetický vzduch
- sací těleso s pryžovou klapkou
- výtlačné těleso s kulovým ventilem

Tlakový vzduch proudí přes filtr do soustavy dýza – difuzor upravených v přírubovém příklopu. Na spodní části příklopu je výkyvně uložen plovák, který svým pohybem ovládá řídicí ventil podle výšky hladiny kapaliny v nádobě. Je-li nádoba prázdná, je řídicí ventil v dolní poloze – tlakový vzduch prochází soustavou dýza – difuzor přes tlumič do atmosféry. Ejektorovým účinkem vznikne v nádobě podtlak a kapalina je nasávána do nádoby. Při naplnění nádoby plovákový systém přepne řídicí ventil do horní polohy. Tím se uzavře cesta do atmosféry, tlakový vzduch proudí do nádoby, tlačí na hladinu kapaliny a vytlačuje ji trubkou výtlačného ventilu do výtlačného potrubí. Když klesne hladina v nádobě, plovák přesune řídicí ventil do spodní polohy, uvolní se opět vzduchová cesta přes ejektor do atmosféry a celý tento cyklus se opakuje.



Obrázek 3 Vzduchové čerpadlo 2"- XDA-100 [4]

	<b>2"- XDA-100</b>
Dopravované množství [m <sup>3</sup> /hod]	3 - 10,5
Maximální provozní tlak vzduchu [kPa]	500
Maximální velikost zrna [mm]	3

Tabulka 2 Technické parametry čerpadla 2"- XDA-100

## 2.2. Odstředivá čerpadla

Odstředivá čerpadla jsou vlastně nejčastěji používané k čerpání důlních vod. Řadí se mezi čerpadla hydrodynamická. Princip všech odstředivých čerpadel je stejný. Hlavní pracovní částí je oběžné kolo, na které jsou umístěné lopatky. Kapalina se k oběžnému kolu přivádí zevnitř a rotací oběžného kola dochází k odstředivé síle, která působí na kapalinu a ta pokračuje následně k výstupnímu otvoru.

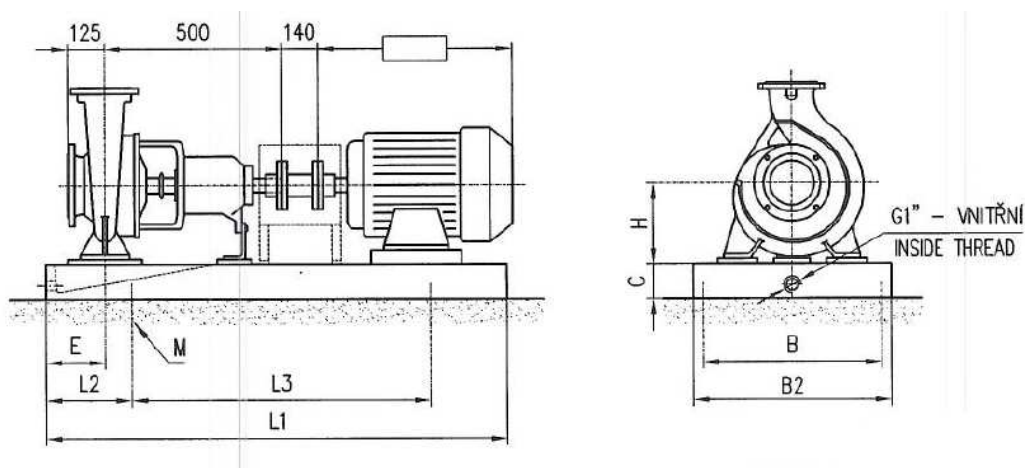
### Odstředivá čerpadla se můžou lišit:

- podle výstupu kapaliny, na radiální a diagonální
- podle počtu oběžných kol, na jednostupňová nebo vícestupňová
- podle uložení, na horizontální a vertikální
- zdali jsou ponorná

### 2.2.1. Čerpadlo 100-NVE- 200-28

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [5]

Čerpadlo je horizontální, odstředivé, jednostupňové s letmo uloženým rotorem v tělese ložisek. Je tvořeno hydraulickou a mechanickou částí. Hydraulická část je tvořena tělesem čerpadla, které se skládá z rotoru a statoru. Rotor tvoří hřídel s oběžným kolem a stator tvoří těleso čerpadla. Stator je spojen z mechanickou částí čerpadla.



Obrázek 4 Čerpadlo 100–NVE–200-28 [5]

	100–NVE–200-28	100–NVE–200-28
Max. dopravované množství [m <sup>3</sup> /hod]	200	370
Maximální dopravní výška H <sub>2</sub> O [m]	17	68
Maximální velikost zrna [mm]	0.5	0.5
Příkon [kW]	30	37
Otáčky [ot/min]	1450	2900

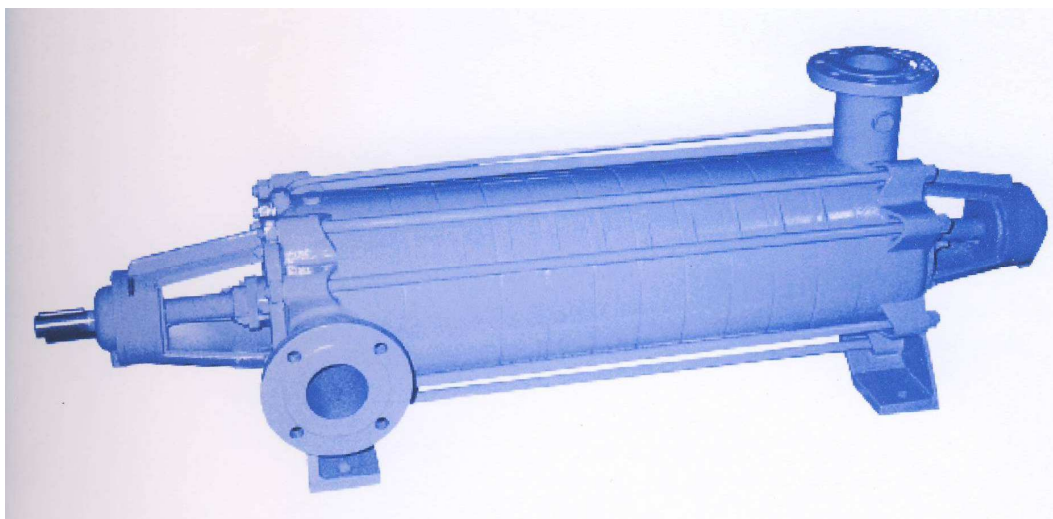
Tabulka 3 Technické parametry čerpadla 100–NVE–200-28

### 2.2.2. Čerpadlo 80-CV-03

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [6]

Čerpadla se používají 6°, 10°, a 12°. Axiální hydraulická síla je vyrovnávána oboustrannými těsnícími kruhy a odlehčovacími otvory oběžného kola. Hřídel je oboustranně uložena ve valivých, tukem mazaných ložiscích. Čerpadla jsou určena pro čerpání čisté a mírně znečištěné pitné a užitkové vody. Čerpadlo před zpuštěním musí být zavodněné.





Obrázek 5 Čerpadlo 80-CV-03 10° [6]

Čerpadlo 80-CV-03	6°	10°	12°
Dopravované množství [m <sup>3</sup> /hod]	25-43	25-43	25-43
Maximální velikost zrna [mm]	0,5	0,5	0,5
Maximální dopravní výška H <sub>2</sub> O [m]	63-79,2	105-132	128-158,4
Příkon [kW]	7,2-8,4	12-14	14,4-16,8
Otáčky [ot/min]	1450	1450	1450

Tabulka 4 Technické parametry čerpadla 80-CV-03

### 2.2.3. Čerpadlo VN-3-10°

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [7]

Čerpadla VN - 3 – 10° jsou konstruována jako odstředivá članková čerpadla horizontální, vyznačují se řazením jednotlivých článků za sebou v počtu odpovídající žádanému tlaku.

Čerpadla jsou levotočivá při pohledu ze strany pohonu. Pohon je na sací straně čerpadla. Mezi sací a výtlačné těleso čerpadla jsou centricky nasazeny vertikálně dělené články. Jsou spojeny vnějšími stahovacími šrouby. V každém článku čerpadla pracuje oběžné kolo s jednostranným vstupem. Hřídel je na obou stranách čerpadla uložena v kroužkomazných ložiscích. Ložisková tělesa jsou chlazená vodou. Pánve ložisek jsou vylity jakostní kompozicí.



Obrázek 6 Čerpadlo VN-03-10°

	<b>VN-3-10°</b>
Dopravované množství [m <sup>3</sup> /hod]	17,5 – 29,9
Maximální velikost zrna [mm]	0,5
Maximální dopravní výška H <sub>2</sub> O [m]	356 -300
Příkon [kW]	35,6 - 45,6
Otáčky [ot/min]	2950

Tabulka 5 Technické parametry čerpadla VN-03-10°

### 2.2.4. Čerpadlo WPS 100/6

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [8]

Čerpadlo WPS 100/6 je 6° vírové odstředivé čerpadlo v horizontálním uspořádání s uzavřenými jednoproudovými rotory. Čerpadla WPS mají odstředivá kola s boční výpustí a dostředivá kola. Skříň má článkovou konstrukci a skládá se ze sací skříňe a výtlačné skříňe. Výtlačná skříň má spirálovitý sběrný kanál. Hřídel je usazena ve valivých ložiscích mazaných kapalným mazivem.



Obrázek 7 Čerpadlo WPS 100/6 [8]

	<b>WPS 100/6</b>
Dopravované množství [m <sup>3</sup> /hod]	100
Maximální velikost zrna [mm]	2
Maximální dopravní výška H <sub>2</sub> O [m]	280
Maximální hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	1030
Příkon [kW]	100
Otáčky [ot/min]	1480

Tabulka 6 Technické parametry čerpadla WPS 100/6

### 2.2.5. Čerpadlo 100-CDB-230-14

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [9]

Čerpadlo CDB 100-230-14 je konstruováno jako článkové, odstředivé, horizontální s řazením jednotlivých článků za sebou. Na lokalitě Lazy se používají 4° a 12°. Charakteristickým znakem konstrukce je uspořádání hydraulické části. Čerpadlo je rozděleno

na dvě souměrné poloviny. Oběžná kola obou polovin jsou umístěná zády k sobě, čímž je docíleno teoretické vyrovnání axiálních sil v čerpadle. Zbytková axiální síla, která vzniká nepřesností odlitků, je zachycena valivým axiálním ložiskem. Rotor čerpadla je uložen ve valivých ložiscích.

- **Použití:**

Čerpadlo typu CDB 100-230-14 je vysokotlaké odstředivé čerpadlo s hlavním charakteristickým použitím v důlních provozech k odčerpávání důlních vod na povrch.

Lze ho použít i v jiných hospodářských odvětvích, kde se jedná o dopravu užitkové popřípadě i pitné vody na mimořádně velké dopravní výšky, nebo tam, kde jde o vytvoření zdroje vysokého tlaku vody pro různé hydraulické systémy. Z hlediska čerpané kapaliny jsou čerpadla řady CDB určena k čerpání čisté i mechanicky znečištěné vody o kyselosti 6-9 pH, do obsahu nečistot v sušině max. 2% hmotnosti. Čerpadla tohoto typu jsou instalována v čerpací stanici na lokalitě Lazy. Z 9. patra na 8. patro čerpají 4° čerpadla a z 8. patra na povrch čerpají 12° čerpadla.



Obrázek 8 Čerpadlo 100-CDB-230-14/12

<b>CDB 100-230-14</b>	<b>4°</b>	<b>12°</b>
Max. dopravované množství [m <sup>3</sup> /hod]	131	131
Skutečné dopravované množství [m <sup>3</sup> /hod]	108	108
Maximální dopravní výška H <sub>2</sub> O [m]	250	850
Skutečná dopravní výška H <sub>2</sub> O [m]	209	641
Maximální velikost zrna [mm]	0,5	0,5
Příkon [kW]	132	310
Otáčky [ot/min]	2950	2980

Tabulka 7 Technické parametry čerpadla 100-CDB-230-14

### 2.2.6. KDDF-080-01-E

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [10]

Čerpadlo je ponorné, odstředivé, vertikální, jednostupňové s vícelopatkovým otevřeným oběžným kolem v monoblokovém uspořádání s trojfázovým asynchronním motorem chlazeným čerpanou kapalinou protékající kolem pláště statoru elektromotoru. Hydraulickou část čerpadla tvoří oběžné kolo z otěruvzdorného materiálu a pogumované díly: difuzor, sací víko, příložka oběžného kola.



Obrázek 9 Čerpadlo KDDF-080-01

	<b>KDDF-080-01-E</b>
Dopravované množství [m <sup>3</sup> /hod]	28,8
Maximální velikost zrna [mm]	5
Maximální dopravní výška H <sub>2</sub> O [m]	19,4
Příkon [kW]	3,5
Otáčky [ot/min]	2870
Maximální ponor [m]	10
Hmotnost [kg]	56

**Tabulka 8 Technické parametry čerpadla KDDF-080-01-E**

### **2.2.7. Flygt BS 2201 HT**

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [11]

Tento typ výkonných čerpadel je konstrukčně podobný čerpadlu KDDF-080-01. Rovněž ponorné, odstředivé. Díly podléhající opotřebení jsou opatřeny gumovým povlakem. Jeho konstrukce snese hrubší zacházení i běh na sucho. Síto je odpérováno a chrání čerpadlo před nárazy a velikost děr v sítu udává maximální velikost pevných částic v čerpané kapalině.

V dolech se používá v případě zatopení části chodby, kde je velký přítok vody a nelze ji vyčerpat menšími čerpadly.



Obrázek 10 Čerpadlo Flygt BS 2201 HT

	<b>Flygt BS 2201 HT</b>
Max. dopravované množství [m <sup>3</sup> /hod]	223
Maximální velikost zrna [mm]	10
Maximální dopravní výška H <sub>2</sub> O [m]	90
Příkon [kW]	41
Otáčky [ot/min]	2920
Maximální ponor [m]	20
Hmotnost [kg]	350

Tabulka 9 Technické parametry čerpadla Flygt BS 2201 HT

### 2.2.8. Flygt BS 2400 MT

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [11]

Velmi výkonné ponorné, odstředivé čerpadlo. Díly podléhající opotřebením jsou opatřeny gumovým povlakem. Čerpadlo Flygt BS 2400 MT se používá pouze výjimečně. Dá se říct, že se používá pouze v případě havárie. Čerpadlo je omezeno počtem 30 rovnoměrně rozložených zpuštění za hodinu.



Obrázek 11 Čerpadlo Flygt BS 2400 MT

	<b>Flygt BS 2400 MT</b>
Max. dopravované množství [m <sup>3</sup> /hod]	540
Maximální velikost zrna [mm]	10
Maximální dopravní výška H <sub>2</sub> O [m]	95
Příkon [kW]	97
Otáčky [ot/min]	2970
Maximální ponor [m]	20
Hmotnost [kg]	900

Tabulka 10 Technické parametry čerpadla Flygt BS 2400 MT



### 3. Druhy poruchových stavů při čerpání důlních vod

#### 3.1. Nesouosost hřídelí

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [12]

Mezi základní nedostatky u čerpacích soustav, to znamená kde je spojen motor s čerpadlem pomocí spojky a společně jsou připevněny k základovému rámu, patří nesouosost.

Nesouosost se projevuje následujícími symptomy:

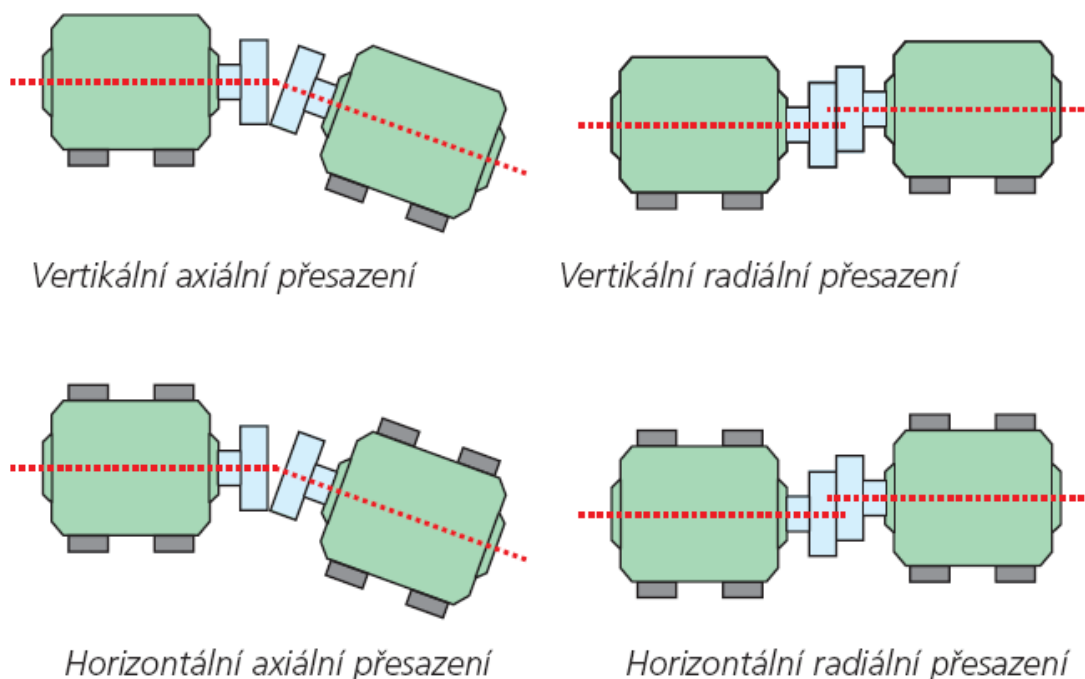
- předčasné poškození ložiska, těsnění, hřídele nebo spojky
- nadměrné radiální a axiální vibrace (testy ukázaly, že rozdílné provedení spojek způsobí odlišné chování ve vibrační oblasti),
- vysoká teplota ložiska nebo jeho okolí nebo vysoká teplota oleje,
- únik oleje přes těsnění ložiska,
- poškození základových šroubů,
- ztráta nebo zlomení spojkových čepů,
- zahřívání spojky za běhu, ihned po zastavení teplota klesá (u pružné spojky se objevuje prach pružného elementu),
- po určité době provozu narůstá házivost hřídele,
- narůstá poruchovost spojek a zrychluje se opotřebení,
- hřídele se lámou nebo praskají blízko spojkového ložiska nebo hlavy spojky,
- nadměrné množství plastického maziva nebo oleje na vnitřní straně bezpečnostního krytu spojky,

##### 3.1.1. Varianty nesouososti

V různých dokumentacích jsou různé pojmy pro nesouososti. Většinou se objevují názvy uvedené v tabulce 11.

Názvy dle literatury [12]	Názvy dle literatury [9]
Vertikální axiální přesazení	Vertikální úhlová odchylka
Vertikální radiální přesazení	Vertikální radiální posunutí
Horizontální axiální přesazení	Horizontální úhlová odchylka
Horizontální radiální přesazení	Horizontální radiální posunutí

Tabulka 11 Varianty nesouososti



Obrázek 12 Základní varianty nesouososti [12]

V projevujících symptomech máme napsáno, že nesouosost se projevuje nadměrnou radiální a axiální vibrací. Nadměrnou vibrací může dojít k havárii.

Názorný příklad můžu uvést na čerpadle 80 CV-10, které bylo poháněno elektrickým patkovým motorem o výkonu 30 kW. Čerpadlo bylo po opravě smontované s elektromotorem do osy na základovém rámu. Měření vibrodiagnostikou bylo v pořádku. Celé kompletní čerpadlo bylo převezeno na pracoviště. Po ustavení v podpatrové čerpací stanici, bylo odzkoušeno a spuštěno na automatický provoz. Po měsíčním provozu, byla nahlášena porucha na čerpadle. Při ohledání čerpadla jsme zjistili, že elektromotor má utržené dvě protilehlé patky, které zůstaly namontované na základovém rámu. Šrouby v utržených patkách byly uvolněné a dva zalomené (obrázek 13 a 14). Utržené těleso ložiska od sacího tělesa (obrázek 15) a ohnuté hřídele čerpadla i elektromotoru. S hřídeli čerpadla šlo volně pohybovat.

Pravděpodobná příčina havárie vznikla při dopravě čerpadla, kdy mohlo manipulací s čerpadlem dojít k nesouososti hřídelů. Nadměrnými vibracemi došlo k uvolnění šroubů, utržení patek elektromotoru a následně utržení tělesa ložiska od sacího tělesa.



Obrázek 13 Elektromotor čerpadla 80-CV-10



Obrázek 14 Utržené patky na základovém rámu



Obrázek 15 Utržené těleso ložiska

### 3.2. Ucpání vstupního oběžného kola

Čerpadla mají návod k použití, kde mají stanovenou maximální velikost čerpaného zrna neboli nečistot. V případě nedodržení velikosti čerpaného zrna dojde k ucpání vstupního oběžného kola (obrázek 17). Když je čerpadlo v provozu delší dobu bez vnitřního průtoku vody, dojde u vícestupňových čerpadel k trvalému poškození mezistupňového kroužku a ucpávek. U ponorných odstředivých čerpadel, např. KDDF-080-01-E je elektromotor chlazen čerpanou kapalinou, hrozí spálení elektromotoru.



**Obrázek 16 Demontované čerpadlo 80-CV-10**

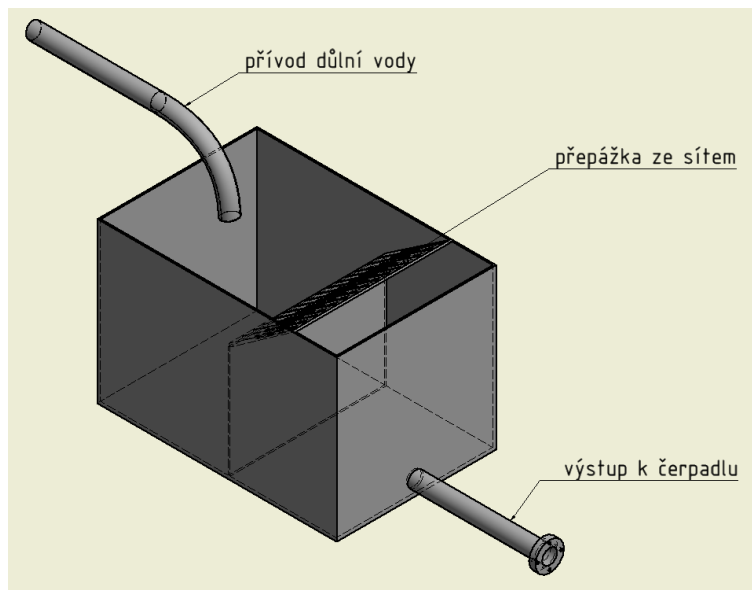
Vícestupňová odstředivá čerpadla, která jsou přivezena na opravu, nevykazují známky opotřebení a v provozu byly krátkou dobu, se začínají demontovat od sacího tělesa (obrázek 16). Pokud se zjistí, že není ucpané vstupní oběžné kolo, pokračuje se dál v demontáži.



**Obrázek 17 Pohled na ucpané vstupní oběžné kolo**

Zabránění ucpání vstupního kola lze zajistit technickými prostředky a pravidelnou kontrolou sání čerpadel. Ponorná čerpadla, jsou vybavena integrovanými sacími koši, v kterých jsou otvory pro maximální přípustné velikosti čerpaného zrna. Těmto čerpadlům se nestává, že by bylo ucpané oběžné kolo, ale při větší konzistenci pevných částic dojde k ucpání sacího koše a dojde k chodu elektromotoru bez chlazení.

Ostatní čerpadla musí být vybavena sacími koši, nebo čerpací nádobou s přepážkou (obrázek 18).



Obrázek 18 Čerpací nádoba

### 3.3. Kavitační opotřebení, koroze a eroze

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [12]

Většinou používaná čerpadla zvládají agresivní důlní vodu, ale postupem času se projeví slabší čerpací výkon. Na čerpadla začne působit kavitační opotřebení, koroze, eroze a opotřebení (obrázek 19 a 20).

Kavitační opotřebení - může docházet pouze tam, kde se vyskytuje kavitace. tj. dochází ke vzniku kavitačních dutin, jejichž zánik vyvolává hydrodynamické rázy, které působí na povrchy materiálu tím, že v nich působí postupnou koncentraci napětí. Kavitační dutiny vznikají v místech, kde se z nějakých důvodů sníží tlak pod hodnotu tlaku nasycených par kapaliny při dané teplotě. V tom případě se v kapalině začnou tvořit dutiny (kaverny), vyplněné parami kapaliny.

Korozivní opotřebení – výskyt při práci třecí dvojice v aktivním prostředí při vniknutí kyslíku z okolí, při stárnutí maziva (voda, kyselina apod.)

Erozivní opotřebení – povrch je poškozován pevnými částicemi nesenými proudem kapaliny nebo plynů. Porušení materiálu je nerovnoměrné, často výrazně zvlněné tzn. ovlivněné charakterem částic a rychlostí pohybu..



Obrázek 19 Opatřebovaná oběžná kola



Obrázek 20 Koroze čerpadla

## 4. Ustavování zařízení do osy

V této kapitole se budu věnovat ustavování čerpadla CDB 100-230-14/12 s elektromotorem typu AF 7135-2 o výkonu 400 kW

### 4.1. Popis ustavovaných zařízení

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [9]

#### 4.1.1. Čerpadlo CDB 100-230-14/12

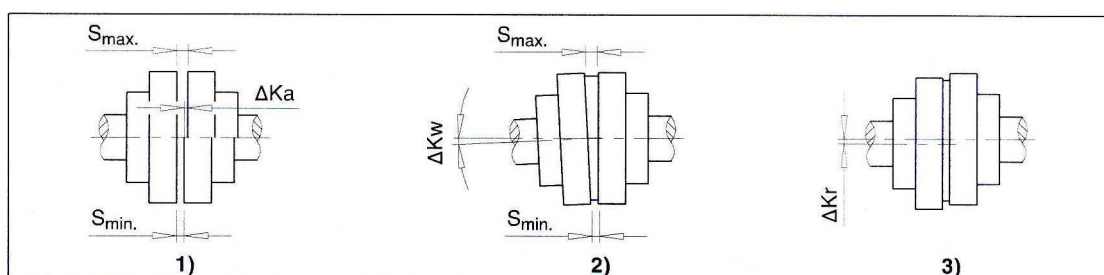
➤ Popis čerpadla je proveden v podkapitole 2.2.5

#### 4.1.2. Spojka

Na spojení elektromotoru s čerpadlem CDB 100-230-14/12 je použita spojka FLENDER N-EUPEX typu ADS. Hřídel čerpadla průměr 48 mm, motor 75mm, spojka průměr 194mm.

Velikost	Otáčky $n_{max}$ 1/min	Maximální otvor 1)		DA mm	ND1 mm	ND2 mm	NL1 / NL2 mm	S mm	U1 mm	U2 mm	P mm	Hmotnost 2) m kg
		D1 mm	D2 mm									
194	3800	75	48	194	135	108	70	2... 6	44	30	50	15
218	3400	85	75	218	150	122	80	2... 6	47	32	53	21
245	3000	90	85	245	150	138	90	2... 6	52	38	61	28
272	2750	100	95	272	165	155	100	3... 8	60	42	69	40

Tabulka 12 Výběr základních rozměru spojek [9]



Obrázek 21 Možné posunutí [9]

Dle výrobce je u této spojky maximální možné posunutí:

- **Axiální posunutí ( $\Delta K_a$ )**

Nastavení spáry se provede podle dovolené odchylky pro rozměr „S“ dle tabulky 12.

$$\Delta K_a = S = 2-6 \text{ mm.}$$

- **Úhlová odchylka ( $\Delta K_w$ )**

Úhlovou odchylku je možné měřit jako rozdíl rozměru spáry ( $\Delta S = S_{max} - S_{min}$ ).

Pro výše uvedenou spojku, se  $\Delta S_{\text{dovol.}}$  určí dle tabulky 13.

$\Delta S_{\text{dovol.}} = 0,2 \text{ mm}$  při průměru spojky 194mm.

Z toho vyplývá, že  $\Delta Kw_{\text{dovol.}} = 0,1 \text{ mm} / 100 \text{ mm}$ .

Pokud je to nutné, nebo když měřicí přístroj udává hodnoty ve stupních, můžeme

$\Delta Kw_{\text{dovol.}}$  vypočítat takto:

$$\Delta Kw_{\text{dovol.}} = \frac{\Delta S_{\text{dovol.}}}{DA} * \frac{180}{\pi} = \frac{0,2}{194} * \frac{180}{\pi} = 0,06^\circ$$

Typ, velikost		Otáčky spojky v 1/min								
A, B	ADS, BDS	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	5000
58	66	0.4	0.3	0.25	0.2	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1
68	76	0.4	0.3	0.25	0.2	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1
80	88	0.4	0.3	0.25	0.2	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1
95	103	0.5	0.35	0.25	0.25	0.2	0.2	0.15	0.1	0.1
110	118	0.5	0.35	0.3	0.25	0.2	0.2	0.15	0.1	0.1
125	135	0.5	0.4	0.3	0.25	0.25	0.2	0.15	0.15	0.1
140	152	0.6	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2	0.2	0.15	
160	172	0.6	0.5	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2	0.15	
180	194	0.6	0.5	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2		
200	218	0.8	0.55	0.45	0.4	0.3	0.3	0.2		
225	245	0.8	0.55	0.5	0.4	0.35	0.3	0.25		
250	272	0.8	0.6	0.5	0.4	0.35	0.3			
280	305	1	0.7	0.6	0.5	0.4	0.35			
315	340	1	0.7	0.6	0.5	0.4	0.35			
350	380	1	0.8	0.6	0.6	0.5				
400	430	1.2	0.9	0.7	0.6	0.5				
440	472	1.3	1	0.7	0.7	0.6				
480	514	1.4	1	0.8	0.7					
520	556	1.5	1.1	0.9	0.8					
560		1.6	1.2	1	0.8					
610		1.8	1.3	1	0.9					
660		1.9	1.4	1.1	1					
710		2	1.5	1.2						

Tabulka 13 Max. hodnoty  $\Delta S_{\text{dovol.}}$  a  $\Delta Kr_{\text{dovol.}}$  [9]

- **Radiální posunutí ( $\Delta Kr$ )**

Pro výše uvedenou spojku, se  $\Delta Kr_{\text{dovol.}}$  určí dle tabulky 13. V tabulce jsou uvedeny maximální dovolené odchylky v závislosti na provozních otáčkách. Údaj hodnot v mm.

$$\Delta Kr_{\text{dovol.}} = 0,2 \text{ mm}$$



### 4.1.3. Elektromotor

Elektromotor typu AF 7135-2 je asynchronní elektromotor s výkonem 400 kW při 2960 ot/min. Na Důlním závodě 1, lokalita Lazy se používá pouze v čerpacích stanicích.

## 4.2. Popis ustavování hřídelů do osy

Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [12]

Při ustavování elektrického motoru s čerpadlem se řídíme pravidly ustavování rotujících hřídelů do osy. I když 100 % ustavení hřídelů do osy prakticky není možné, naším cílem je přiblížit se k největší přesnosti.

Vyrovňávání do osy – ustavování – je obecně proces, při němž se upravuje vzájemná poloha dvou spojených rotorů strojů, jako například elektromotor a čerpadlo tak, aby osy hřídelů tvořily přímku.

### 4.2.1. Metody ustavování

K ustavení hřídelů do osy je dnes na trhu mnoho zařízení, které nám pomůžou přiblížit se k 100 % výsledku. Mezi metody ustavování patří mechanické metody, které se dnes používají k hrubému ustavování. K tomu se používají: příměrná pravítka, lístkové spároměrky, kalibrované kužele, posuvné měřítka atd. Obecně se za „hrubé ustavení“ považuje stav, kdy posunutí na spojce je okolo 0,050 palce (1,27 mm) a vertikální a horizontální úhlová úchylka je asi 0,010 palce/palec (0,254 mm/mm).



Obrázek 22 Příměrné pravítko [13]



Obrázek 24 Kalibrované kužele [13]



Obrázek 23 Spároměrky [14]

K přesnějším ustavováním patří metody využívající číselníkové úchylkoměry. Pomocí těchto metod jde ustavit hřídele s přesností  $1/100\text{mm}$ . Přesnost měření je ovlivněna zkušeností pracovníka. Nezbytnou pomůckou k ustavování je kalkulačka a psací potřeby.



**Obrázek 25 Číselníkový úchylkoměr [15]**

V dnešní digitální době si můžeme vybrat přístroje k ustavování souososti, které měří pomocí indukčních snímačů nebo laserových systémů. Výsledky měření jsou vizualizované v zobrazovacích jednotkách. Díky vizualizaci výsledků lze lépe pochopit proces ustavování. Pomocí těchto metod jde ustavit hřídele s přesností  $1/1000\text{ mm}$ .



**Obrázek 26 Indukční zařízení TKSA 11 [16]**



**Obrázek 27 Laserové zařízení TKSA 51 [16]**

#### 4.2.2. Použité zařízení k ustavování

K hrubému ustavení jsme použili posuvné měřítko a svinovací metr. K přesnému ustavení - laserový přístroj fa SKF – TMEA 1P.

- **Základní technické údaje**

Přesnost měření: 0,001“ = 0,025 mm

Typ laseru: Diodový laser

Max. vzdálenost mezi měřícími jednotkami: 1 m

Rozsah průměru hřídelí: 30 - 500 mm



Obrázek 28 TMA 1P

### 4.3. Postup ustavování

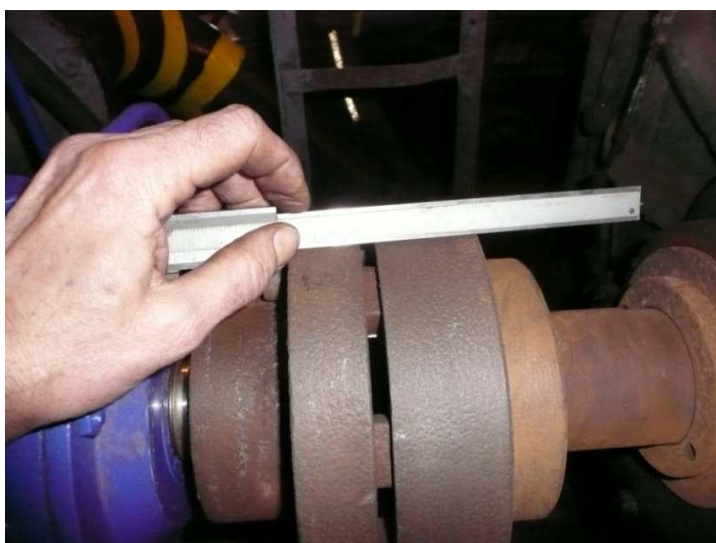
Tato podkapitola byla zpracována dle literatury [17]

Při ustavování je nutné zvolit, který stroj bude stacionární, zda hnaný (čerpadlo) nebo hnací (elektromotor). V našem případě je stacionární stroj čerpadlo. K čerpadlu jsou připojené sací a výtlačné potrubí, které by nám nedalo dostatečný prostor k manipulaci.



Obrázek 29 Čerpadlo s el. motorem v čerpací stanici

Základový rám je zkontrolován, v místě uložení patek čerpadel nejsou žádné známky destrukce betonu, dosedací plochy rovné, závity šroubu očištěné a namazané. Pro vypodložení patek čerpadla použijeme originál nerezové podložky a pevně ustavíme čerpadlo. Můžeme pokračovat v hrubém ustavení elektromotoru pomocí posuvného měřítka.



Obrázek 30 Hrubé ustavení

Následuje připojení měřicí jednotky pomocí řetězové příchytky. K stacionárnímu stroji se připojuje měřicí jednotka označená „S“ a k pohyblivému „M“.

Měříme souosost hřídelů, takže držáky měřících jednotek by měly být připojené na hřídelích. Když nám to situace neumožňuje, lze držáky připojit ke spojce.



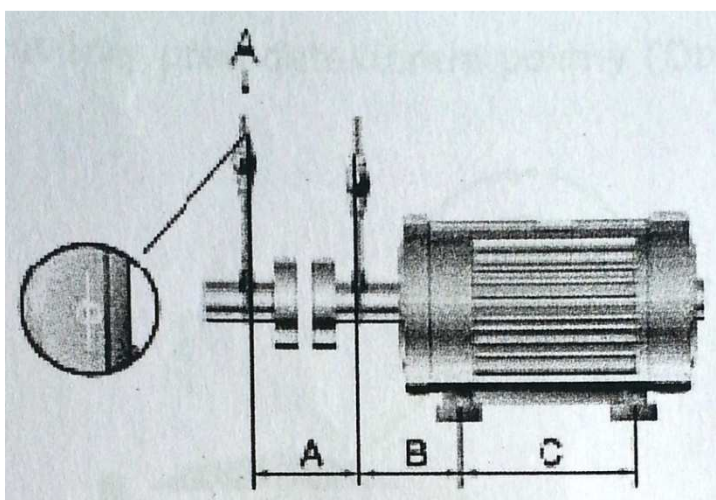
Obrázek 31 Připojení držáků měřících jednotek na spojku

Přístroj SKF – TMEA 1P nám je schopen doporučit rozměry pro seřízení elektromotoru, ale k tomu potřebuje nastavení základních rozměrů stroje (viz obrázek 32).

V našem případě jsou rozměry:  $A = 140 \text{ mm}$

$B = 320 \text{ mm}$

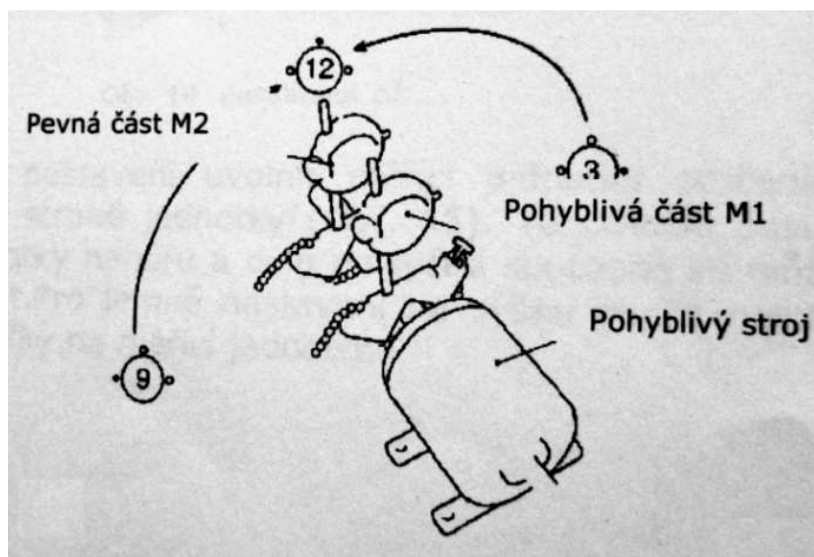
$C = 980 \text{ mm}$



Obrázek 32 Potřebné rozměry [17]

Před zahájením měření, seřídíme laserové paprsky ve vertikálním posuvu a

v horizontální rotaci. Měření se provádí v 180°. Záchytné body (viz obrázek 33) jsou v 9, 12 a 3 hodinách. V případě, že laserový paprsek se v průběhu otáčení dostane mimo oblast detektorů, je nutné znovu provést hrubé ustavení.

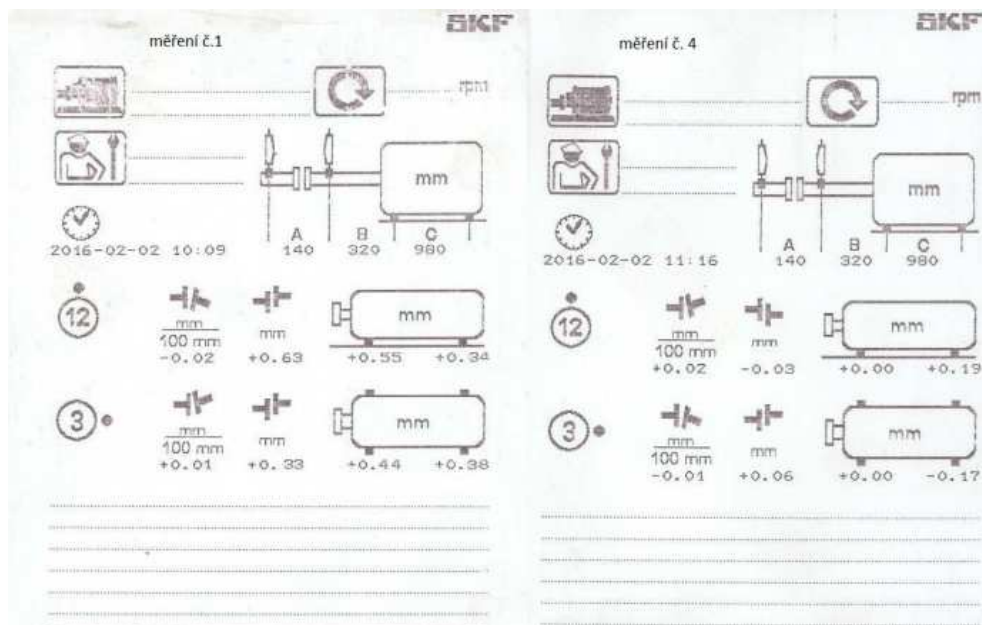


Obrázek 33 Oblast měření [17]

Před počátkem vyrovnávání se doporučuje zkontrolovat pohyblivý stroj, zdali nemá měkkou patku. „Měkká patka“ je výraz používaný, když stroj neleží rovnoměrně na všech čtyřech patkách. Měření se provádí ve dvanácti hodinách. Postupně se zkouší uvolňovat šrouby pohyblivého stroje. Když je po uvolnění šroubu odchylna větší jak 0,05 mm, je pravděpodobně tato patka, nebo patka úhlopříčně naproti „měkká patka“. Šroub se znovu dotáhne a vyzkouší se povolit šroub úhlopříčně naproti. Pokud je odchylna větší než u předchozí patky, je tato patka měkká patka. Jestliže ne, dotáhneme šroub a vrátíme se zpět k patce úhlopříčně naproti.

Když máme vyřešenou měkkou patku, přejdeme k vertikálnímu ustavení. Pokud máme výsledné hodnoty menší, než jsou povolené od výrobce, postup zopakujeme u horizontálního ustavení.

Přístroj SKF – TMEA 1P, je vybaven přenosnou tiskárnou. Výsledky měření si lze vytisknout do protokolu (viz obrázek 34) přímo na pracovišti.



Obrázek 34 Protokoly č. 1 a č. 4 měření SKF

#### 4.3.1. Výsledky měření ustavování

V podkapitole „4.1.2 Spojka“ jsem uvedl tolerance pro ustavování spojky uvedené výrobcem. Tyto tolerance jsem vypsals do tabulky 14, spolu s běžně akceptovatelnými tolerancemi pro ustavování hřídelů. Při ustavování se budeme řídit hodnotami označenými jako přijatelné.

	Běžně akceptovatelné tolerance		Povolené výrobcem
	Výborné	Přijatelné	
úhlová odchylka ( $\Delta K_w$ ) $\left[ \frac{mm}{100 mm} \right]$	0,04	0,07	0,1
radiální posunutí ( $\Delta K_r$ ) $[mm]$	0,03	0,07	0,2

Tabulka 14 Tolerance ustavování pro RPN = 2000-3000 (ot/min)

V tabulce 15 jsou uvedené výsledky ustavování. Měření číslo 1, bylo po hrubém ustavení pomocí posuvného měřítka a ostatní již pomocí laserového přístroje.

Měření číslo	1	2	3	4
úhlová odchylka ( $\Delta K_w$ ) $\left[ \frac{mm}{100 mm} \right]$	0,63	0,25	0,07	0,03
radiální posunutí ( $\Delta K_r$ ) $[mm]$	0,33	0,15	0,04	0,06

Tabulka 15 Výsledky měření ustavování

Při ustavování jsme se dostali na přijatelné hodnoty. Nutno podotknout, že jsme provedli měření opakovaně s demontáží držáků laserových měřidel. Znovu jsme zopakovali postup montáže měřidel a měření. Výsledek se lišil maximálně o hodnotu 0,02 mm.



## 5. Technická diagnostika

Čerpací systémy v důlním provozu, jsou velice důležité pro fungování celého důlního závodu. Tudíž naším cílem je, aby tyto stroje byly provozuschopné a vykonávaly stanovenou práci dle technických podmínek čím jak nejdelší dobu. K tomu nám pomůže multiparametrická diagnostika, která využívá několika metod technické diagnostiky. Aplikování technické diagnostiky na čerpací stroje je nezbytné pro včasnou identifikaci vznikajících poruch. Včasné odhalení vznikající závady, šetří čas a peníze. Umožní nám naplánovat a provést opravu před havárií s dostatečným předstihem.

### 5.1. Vibrodiagnostika

Na čerpacích systémech nejčastěji využíváme vibrodiagnostiku, která je pomocí frekvenční analýzy schopna identifikovat závady elektrického a mechanického původu.

Vibrodiagnostika je užitečným nástrojem moderní proaktivní údržby. Na čerpadlech se měří poškození ložisek, nevývaha, mechanické uvolnění atd.

U elektromotorů se hlavně měří statická a dynamická excentrita rotoru, poškození ložisek a mechanické uvolnění.

Elektromotory přenášejí na čerpadla točivý moment pomocí spojek, kde měříme hlavně nesouosost, mechanické poškození (ulomený čep) a nevývahu.

### 5.2. Termodiagnostika

Mechanické nebo elektrické poškození se projevuje vyzařováním tepla. Efektivním nástrojem pro zjištění poškození strojů a zařízení je termodiagnostika, která sleduje vyzařované teplo v oblasti spektra infračerveného pole. Oproti standardním diagnostickým metodám má termodiagnostika výhodu. Jedná se o bezkontaktní metodu a provádí se za plného provozu bez jakéhokoli omezení. Trendování termodiagnostiky má prokazatelně pozitivní vliv na snížení výrobních a provozních ztrát a zvýšení spolehlivosti strojů a zařízení.[18]

### 5.3. Tribodiagnostika

Výkonnější čerpadla mají ložiska v olejové náplni. Zde lze použít tribodiagnostiku, která vychází z jednoduché skutečnosti, že olej po určité době provozu na sebe naváže

mechanické nečistoty (otěrové kovy). Tudíž rozborem oleje jsme schopni zjistit technický stav stroje.

#### 5.4. Použitá technika

K měření vibrací byla využita měřicí technika od firmy SKF.

##### 5.4.1. MICROLOG CMVA 10

Měřicí přístroj vibrací s jedním akcelerometrem, který je uchycen k měřicím bodům pomocí magnetu. K vyhodnocení dat je použit software PRISM4.



Obrázek 35 MICROLOG CMVA 10

##### 5.4.2. Marlin CMVL 3600 IS

Měřicí přístroj vibrací s integrovaným akcelerometrem, který je rovněž uchycen k měřicímu místu pomocí magnetu. Na přístroji je možno nastavit havarijní hodnoty, na které nás přístroj upozorní blikáním LED diody.

#### Specifikace

Snímač vibrací: Integrovaný piezoelektrický akcelerometr

Rozsah měření: Rychlost: 0,3 - 55 mm / s (RMS)

Obálku zrychlení: 0,3 gE - 20,0 gE

Teplota: 0 ° C až +100 ° C

Frekvenční rozsah: Celková rychlost: 10 Hz - 1 kHz

Obálka zrychlení band 3: 500 Hz - 10 kHz



Obrázek 36 Marlin CMVL 3600 IS [19]

#### 5.4.3. Testo 882

V oboru termodiagnostiky bylo využito termokamery Testo 882.

##### Specifikace

Teplotní rozsah: -20°C – 100°C

0°C – 350°C

350°C - 550°C

Přesnost:  $\pm 2^\circ\text{C}$

Teplotní citlivost: 60 mK

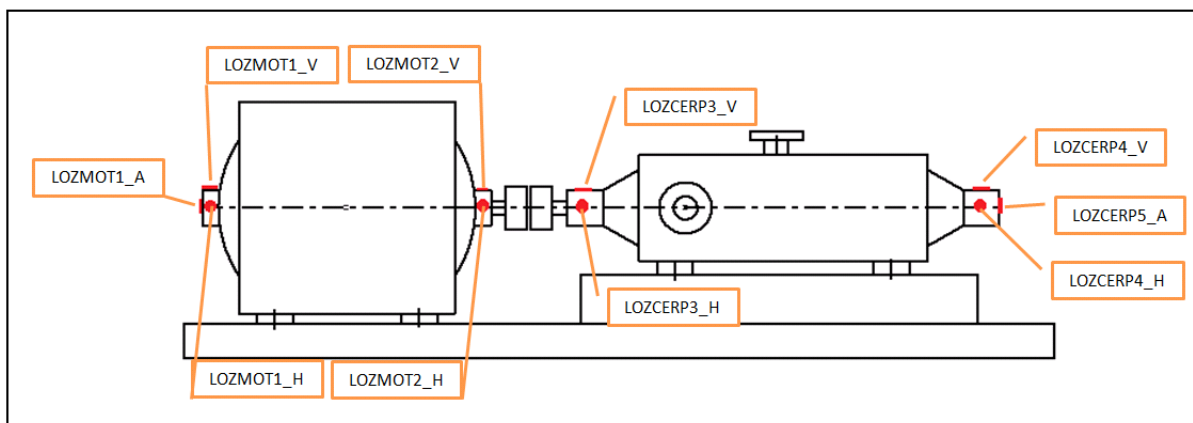
Spektrální oblast: 8 – 14  $\mu\text{m}$



Obrázek 37 Testo 882 [25]

## 5.5. Vibrodiagnostika měření

### 5.5.1. Stanovení měřících bodů



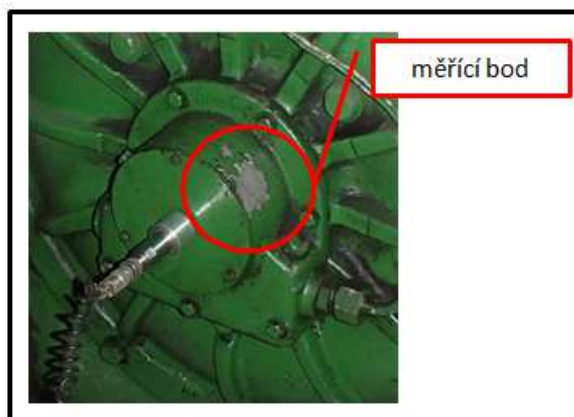
Obrázek 38 Měřené body

Základem měření je stanovit si předem místa kde se bude měřit. Má to své opodstatnění. Musíme vybrat taková místa, ze kterých chceme získat informace. Převážně se jedná o uložení ložisek, která přenášejí vibrace. Nesmíme snímače uchytit na krycí plechy a v blízkosti rotujících prvků, musíme dávat pozor na bezpečnost. Taktéž musíme myslet na způsob uchycení snímačů. Mezi způsoby spojení snímače vibrací s měřícím bodem patří: spojení pomocí šroubu, vosku, magnetu a ruční sondy. Ve většině provozů se používá přenosný snímač uchytený k měřenému bodu pomocí magnetu. Musíme si dát pozor na

zmagnetované ocelové piliny, které se mohou dostat mezi magnet a měřené místo. Nejlepší by bylo, kdyby body měření byly zbaveny ochranného nátěru pro pevný magnetický kontakt (viz obrázek 39).

Při měření čerpacích soustav, měříme vždy každé ložisko ve třech směrech. Je to důležité pro správnou identifikaci poruchy. Měří se v horizontálním, vertikálním a axiálním směru (viz obrázek č. 38).

Při běžných kontrolních pochůzkách stačí změřit vibrace pod úhlem 45° + axiální směr. Pokud zjistíme při kontrolní pochůzce zhoršený stav vibrací, může se provést další měření s lokalizací se specifikací a predikcí.



Obrázek 39 Měřicí bod pro běžnou pochůzku

### 5.5.2. Výběr měřitelné veličiny

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [20]

Ve vibrodiagnostice se měří vibrace, což je periodický pohyb. U vibrací jsou měřeny a následně vyhodnocovány tři základní veličiny:

- **Rychlost** [ mm/s ]
- **Zrychlení** [ mm/s<sup>2</sup> ], nebo [ g ], ( g= 9.81 m/s<sup>2</sup>)
- **Výchylka** [ μm ]

Rychlost vibrací se využívá pro identifikaci poruch projevujících se v nízkých nebo středních frekvencích, velmi často se sleduje rychlost vibrací ve frekvenčním pásmu 10 - 1000 Hz. V tomto pásmu se velmi často projevuje nevývaha, nesouosost, uvolnění a řada dalších.

Sledování zrychlení vibrací je důležité pro včasnou identifikaci poruch projevujících se ve vysokých frekvencích, zpravidla v jednotkách až desítkách kHz, kde se projevují počáteční projevy závady ložisek, převodů, mazání apod.

Výchylka vibrací se využívá pro monitorování technického stavu turbín, za pomoci snímání vibračního signálu z bezdotykových sond pracujících na principu vířivých proudů.

V našem případě využijeme měření rychlosti a měření zrychlení.

### 5.5.3. Celkové vibrace stroje

Měření a vyhodnocení celkových vibrací stroje bylo provedeno na základě kritéria dle ČSN ISO 10816-1 příloha A. Tato norma uvádí v tabulce A. 1, hranice pásma, která stanovuje efektivní hodnoty rychlosti vibrací pro velké stroje se jmenovitým výkonem větším než 300kW a menším nebo rovným 50MW; elektrické stroje s výškou osy hřídele  $H \geq 300\text{mm}$ .

Klasifikace uložení	Hranice pásma	Efektivní hodnota vibrací [mm/s]
Tuhé	A/B	2,3
	B/C	4,5
	C/D	7,1

Tabulka 16 Hranice pásma vibrací

Pásmo A: V tomto pásmu mají být za obvyklých podmínek vibrace nových strojů.

Pásmo B: V tomto pásmu se mohou pohybovat stroje neomezeně.

Pásmo C: V tomto pásmu se považuje stav stroje za neuspokojivý.

Pásmo D: Hrozí nebezpečí poškození stroje

### 5.5.4. Měření čerpadla před výměnou

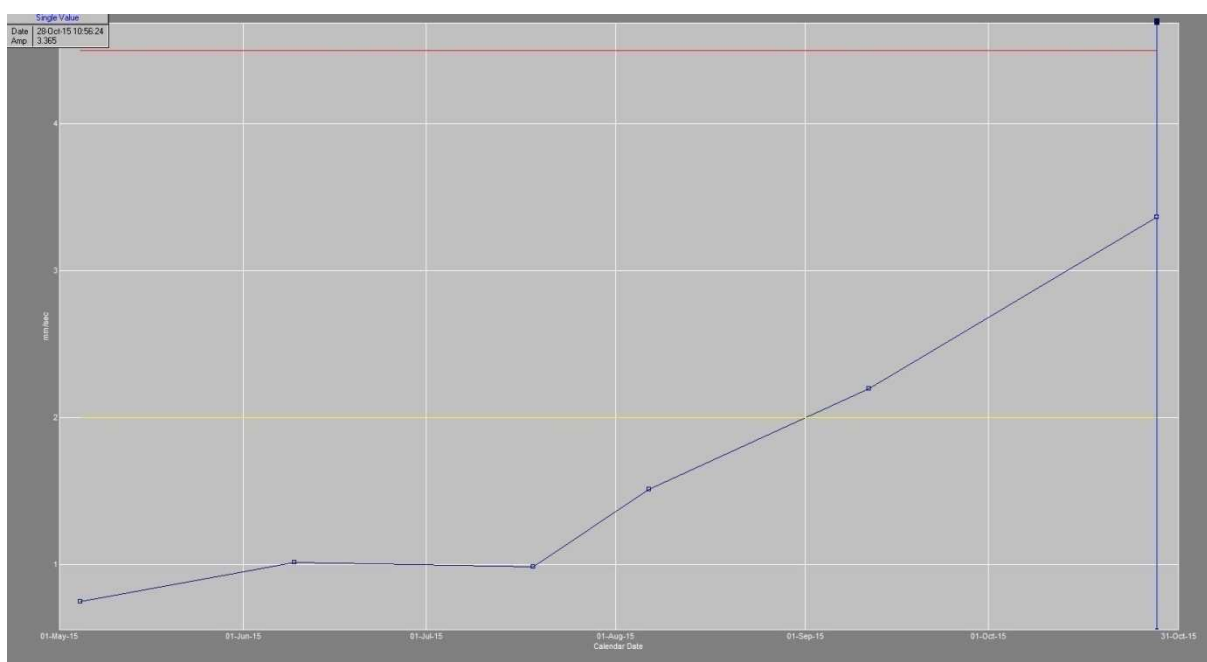
K výměně čerpadla CDB 100-230-14/12, se přistoupilo na základě vibrodiagnostiky. Zhoršování technického stavu čerpadla je zobrazeno v trendech (viz obrázek 40). Čerpadlo se začalo sledovat v dubnu 2015 a provoz byl ukončen v říjnu 2015.

Maximální rychlost vibrací o velikosti 3,365 mm/sec je dle ČSN ISO 10816-1 v rozsahu pásma „B“, tedy čerpadlo by se mohlo pohybovat neomezeně, ale hluk a vibrace nás přinutily

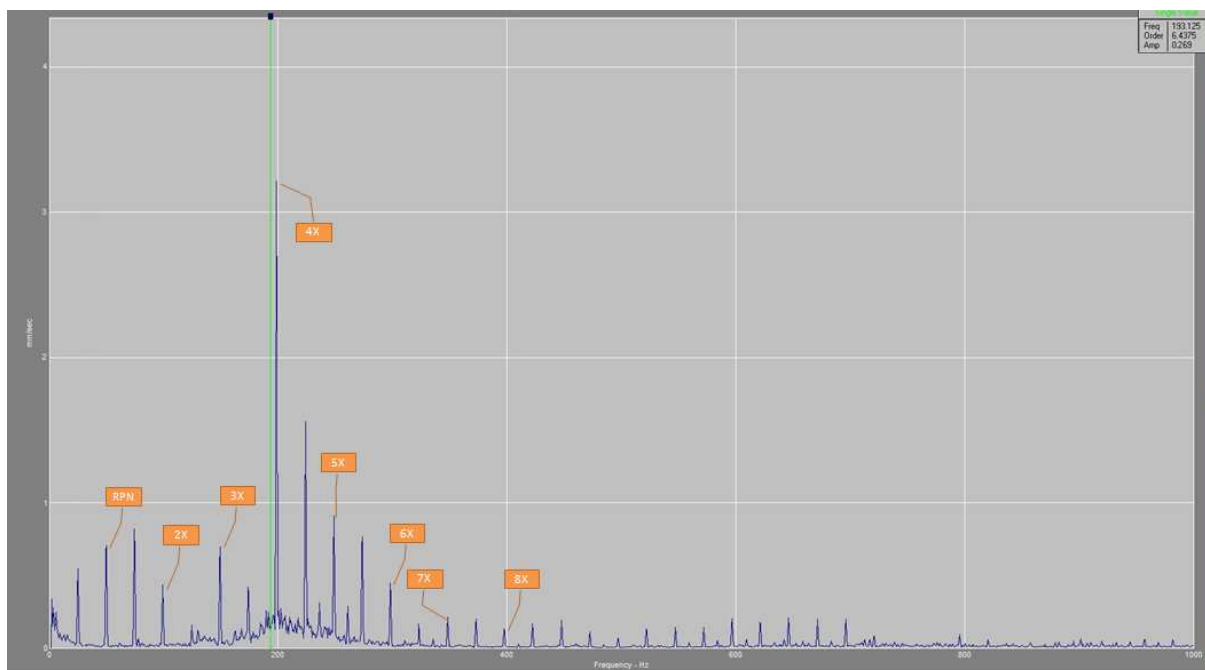
čerpadlo odstavit.

Zkoumáním frekvenčního spektra rychlosti LOZCERP3\_V (viz obrázek 41), jsem zjistil, že spektrum vykazuje subharmonické násobky v  $\frac{1}{2}$  otáčkové frekvenci. Spektrum odpovídá buď mechanickému uvolnění nebo přidírání rotoru, vzhledem k tomu, že se na čtvrté harmonické složce objevila resonance, tudíž lze mít za to, že jde o přidírání rotoru.

Na základě informace ze spektra a hluku, jsme se rozhodli čerpadlo CDB 100-230-14/12 definitivně odstavit z důvodu možné katastrofální poruchy.



Obrázek 40 Trendování vibrací měřícího bodu LOZCERP3\_V



Obrázek 41 Frekvenční spektrum rychlosti LOZCERP3\_V

### 5.5.5. Měření nového čerpadla

Výsledky měření vibrací nového měřeného čerpadla jsou uvedeny v tabulce 17. Měřicí přístroj MICROLOG CMVA 10 máme nastavený na měření efektivní hodnotu vibrací (RMS).

Last Measurement Report -

Last Measurements

19-Apr

ID	Units	Date	Last Value	Previous Value	Percent Change	Alarm Status
Machine Cerpadlo c.4.1						
LOZMOT1_VIB_V	mm/sec	19-Apr-16	1.537	None	---	---
LOZMOT1_VIB_H	mm/sec	19-Apr-16	1.51	None	---	---
LOZMOT1_VIB_A	mm/sec	19-Apr-16	0.841	None	---	---
LOZMOT2_VIB_V	mm/sec	19-Apr-16	1.224	None	---	---
LOZMOT2_VIB_H	mm/sec	19-Apr-16	1.022	None	---	---
LOZCERP3_VIB_V	mm/sec	19-Apr-16	1.293	None	---	---
LOZCERP3_VIB_H	mm/sec	19-Apr-16	1.054	None	---	---
LOZCERP4_VIB_V	mm/sec	19-Apr-16	1.026	None	---	---
LOZCERP4_VIB_H	mm/sec	19-Apr-16	1.001	None	---	---
LOZCERP5_VIB_A	mm/sec	19-Apr-16	1.024	None	---	---

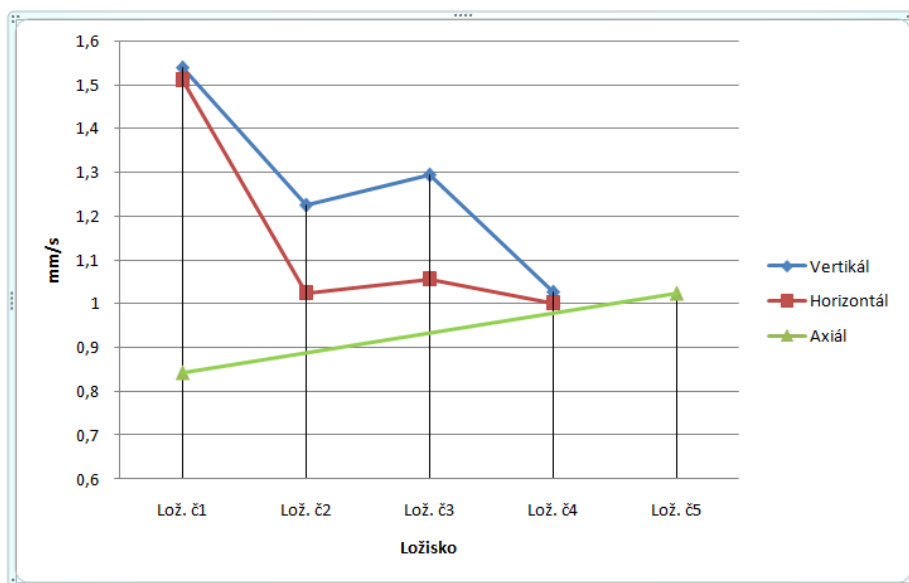
Tabulka 17 Výsledky měření vibrací v mm/s

Výrobce stanovil povolené hodnoty efektivní rychlosti kmitání měřené na ložiskových konzolách v horizontálním a vertikálním směru na  $4,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při překročení hodnoty  $7,1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  doporučuje stroj odstavit.

Když porovnáme výsledky měření dle ČSN ISO 10816-1, jsme v pásmu „A“. V tomto pásmu mají být za obvyklých podmínek vibrace nových strojů.

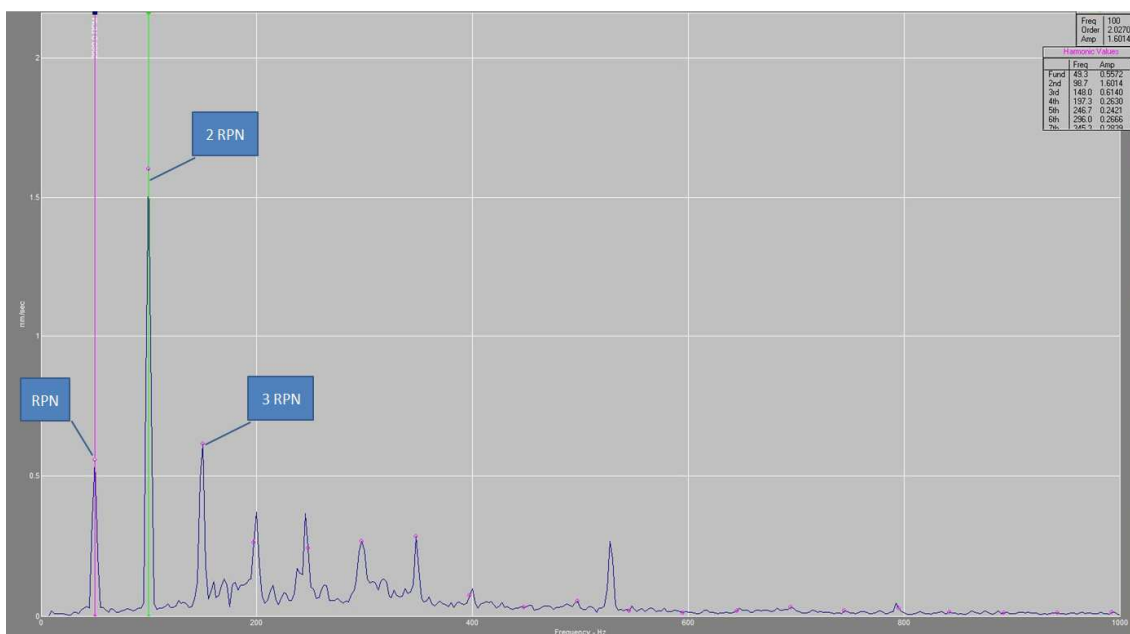


Pro lepší přehled jsem přenesl výsledky měření do grafu (viz obrázek 42).



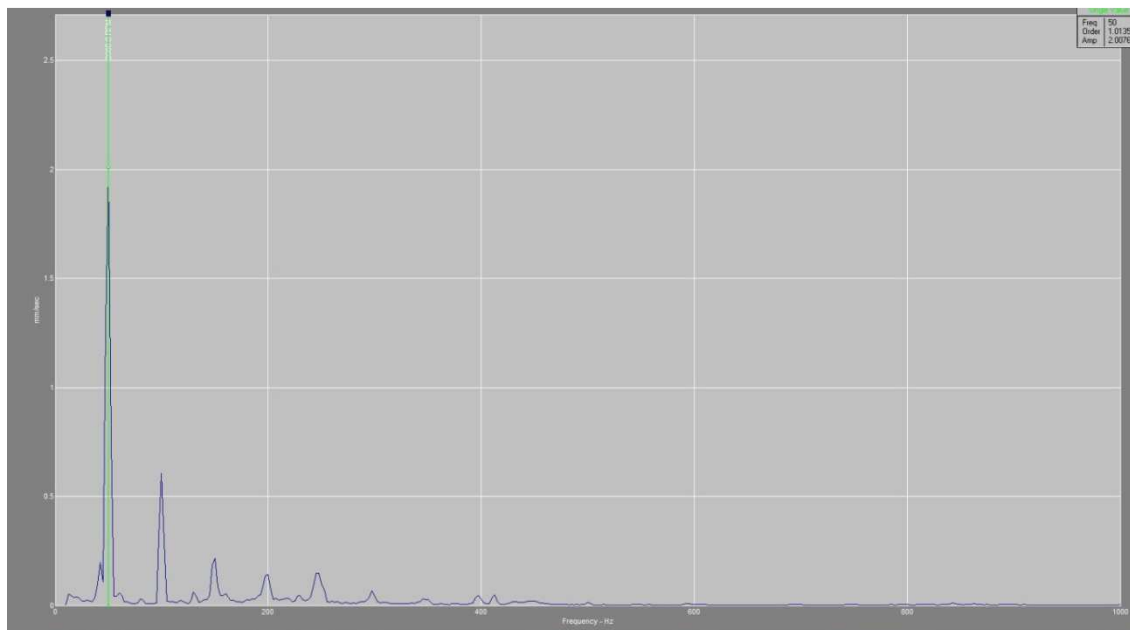
Obrázek 42 Porovnání vibrací měřených bodů

Při zkoumání frekvenčního spektra rychlosti ložiska č. 3 ve vertikálním směru jsem zjistil, že spektrum vykazuje příznaky paralelní nesouososti, když 2X složka je vyšší než 1X a 3X je nejnižší.



Obrázek 43 Frekvenční spektrum rychlosti LOZCERP3\_V

Změnil jsem názor při zkoumání frekvenčního spektra rychlosti ložiska č. 2 ve vertikálním směru. Pokud by se jednalo pouze o paralelní nesouosost, špičky by byly podobné jako u frekvenčního spektra ložiska č. 3. Usoudil jsem, že spektra vykazují paralelní nesouosost v kombinaci s mechanickým uvolněním ložiskového domku ložiska č. 3.



Obrázek 44 Frekvenční spektrum rychlosti LOZMOT2\_V

### 5.5.6. Lokalizace poškození valivých ložisek

Ložisko vytváří vibrační signály, které mají opakující se charakter. Vibrační signály jsou zdaleka nižší amplitudou, ale ve vyšších frekvencích. K detekci vznikající poruchy ložiska, použijeme obálku zrychlení ENV. Obálka zrychlení odfiltruje nízkofrekvenční signály a zvýrazní vysokofrekvenční signály ložiska. Opakující rázové signály jsou zesíleny a projevují se v poruchových frekvencích jako špičky. Před měřením je nutné nastavit přístroj frekvenčního pásma, podle tabulky 18. Microlog vydal pro obálku zrychlení doporučené hodnoty (Tabulka 19). Tyto hodnoty jsou určeny pro magneticky uchycené a pro trvale namontované snímače.

Filtr	Frekvenční pásmo [Hz]	Rozsah otáček [ot/min]	Rozsah analýzy [Hz]
I	5 - 100	0 - 50	0 - 10
II	50 - 1000	25 - 500	0 - 100
III	500 - 10000	250 - 5000	0 - 1000
IV	5000 - 40000	2500 -	0 - 10000

Tabulka 18 Frekvenční pásma ENV obálky

Microlog - Multilog		
Stav	Pásmo III [ g ]	Pásmo IV [ g ]
Dobrý	0-0,4	0-1,5
Uspokojivý	0,4-4	1,5-15
Neuspokojivý	4-10	15-75
Nepřijatelný	10+	75+

Tabulka 19 Hodnoty pásma filtru Micrologu

Abychom mohli specifikovat závadu na ložisku, musíme znát poruchové frekvence ložisek, které se počítají podle vzorců [21]:

- **Poškození vnitřního kroužku**

$$BPFi = \frac{n}{2} * \frac{RPN}{60} * \left( 1 + \frac{B_d}{P_d} * \cos\phi \right)$$

- **Poškození vnějšího kroužku**

$$BPFO = \frac{n}{2} * \frac{RPN}{60} * \left( 1 - \frac{B_d}{P_d} * \cos\phi \right)$$

- **Poškození valivých elementů**

$$BSF = \frac{P_d}{2B_d} * \frac{RPN}{60} * \left( 1 - \left( \frac{B_d}{P_d} \right)^2 * \cos^2\phi \right)$$

- **Poškození klece**

$$FTF = \frac{1}{2} * \frac{RPN}{60} * \left(1 - \frac{B_d}{P_d} * \cos\phi\right)$$

$P_d$  = střední průměr

$B_d$  = průměr valivého elementu

$n$  = počet valivých elementů

$\phi$  = stykový úhel

$RPN$  = otáčky hřídele [1/min]

Pokud se nám nechce počítat, nebo nemáme dostatek informací o ložisku, můžeme použít online SKF Bearing Calculator (kalkulačka ložiska), který najdeme na stránkách: <http://www.skf.com/cz/knowledge-centre/engineering-tools/skfbearingcalculator.html>

Bearing frequencies : 3311 A	
Input parameters <span style="float: right;">🗑️</span>	
$n_i$ Rotational speed of the inner ring	2960 r/min
$n_e$ Rotational speed of the outer ring (only used to calculate the bearing frequencies)	0 r/min
Result	
$f_i$ Rotational frequency of the inner ring	49.3 Hz
$f_e$ Rotational frequency of the outer ring	0 Hz
$f_c$ Rotational frequency of the rolling element and cage assembly	19.7 Hz
$f_r$ Rotational frequency of a rolling element about its own axis	102.1 Hz
$f_{ip}$ Over-rolling frequency of one point on the inner ring	237 Hz
$f_{ep}$ Over-rolling frequency of one point on the outer ring	157.7 Hz
$f_{rp}$ Over-rolling frequency of one point on a rolling element	204.2 Hz

Obrázek 45 Výstup z BearingCalculator

Vypočtené poruchové frekvence ložisek při 2960 ot/min pomocí online kalkulačky:

	Ložisko (č. 1) NU316 ECJ/C3[Hz]	Ložisko (č. 2) 6316 [Hz]	Ložisko (č. 3,4) 1310 ETN9 [Hz]	Ložisko (č. 5) 3311 [Hz]
BPFI	384,3	242,4	367,2	237
BPFO	257	152,2	274,1	157,7
BSF	119,4	102,3	136,2	102,1
FTF	19,8	19	28,2	19,7

**Tabulka 20 Poruchové frekvence ložisek**

Rovněž bych chtěl upozornit, že se nám v obálce zrychlení může objevit frekvence průchodu lopatek (BPF)

$$BPF = \frac{RPN}{60} * \text{počet lopatek}$$

Čerpadlo CDB 100-230-14/12 má v jednom oběžném kole 7ks lopatek.

Frekvenční pásmo obálky ENV, bylo nastaveno podle pásma III. Výsledky měření zrychlení ložisek jsou uspokojivé.

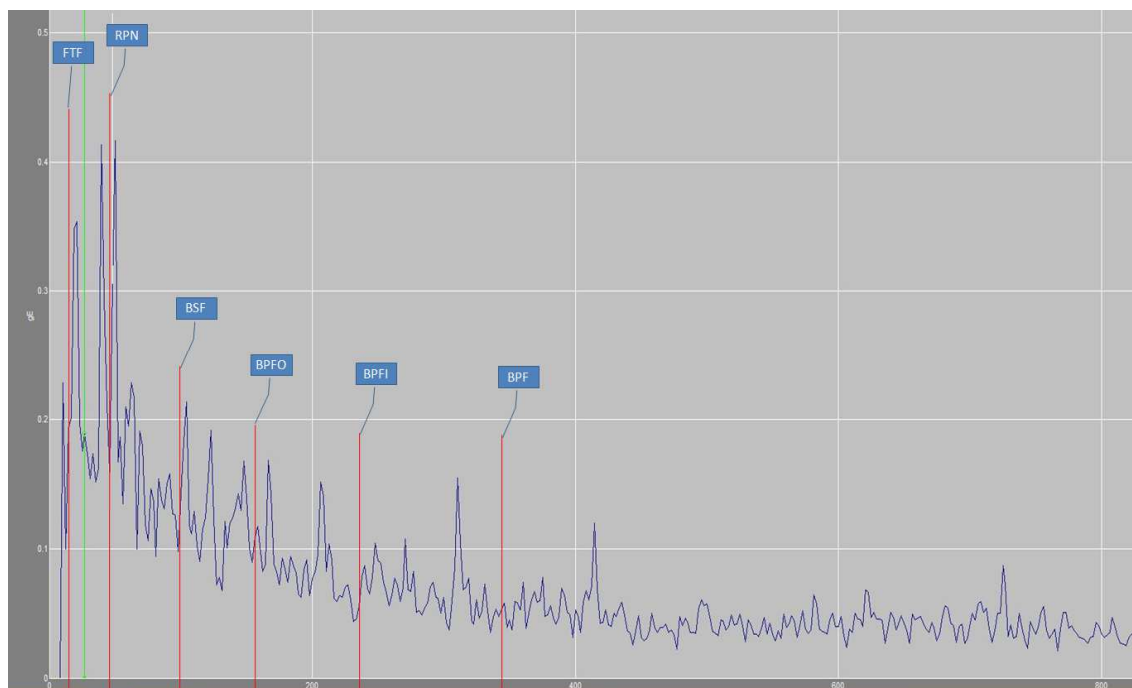
Last Measurement Report -

19-Apr

Last Measurements

ID	Units	Date	Last Value	Previous Value	Percent Change	Alarm Status
Machine Cerpadlo c.4.1						
LOZMOT1_ENV_V	gE	19-Apr-16	0.7189	None	---	A1
LOZMOT1_ENV_H	gE	19-Apr-16	0.781	None	---	A1
LOZMOT2_ENV_V	gE	19-Apr-16	0.7747	None	---	A1
LOZMOT2_ENV_H	gE	19-Apr-16	0.6251	None	---	A1
LOZCERP3_ENV_V	gE	19-Apr-16	0.945	None	---	
LOZCERP3_ENV_H	gE	19-Apr-16	0.9125	None	---	
LOZCERP4_ENV_V	gE	19-Apr-16	0.721	None	---	
LOZCERP4_ENV_H	gE	19-Apr-16	0.7696	None	---	
LOZCERP5_ENV_A	gE	19-Apr-16	0.4296	None	---	

**Tabulka 21 Naměřené hodnoty zrychlení obálky ENV**



**Obrázek 46** Frekvenční spektrum obálkové metody ložiskač. 5 v axiálním směru

Kontrolní měření jsme rovněž provedli měřicím přístrojem Marlin CMVL 3600 IS. Přístroj byl rovněž nastaven na obálku zrychlení ENV, frekvenční pásmo III. Výsledky jsou zobrazovány na displeji přístroje v číslech. Výsledky jsou podobné jak měření přístrojem Marlin CMVL 3600 IS.

## 5.6. Termodiagnostika měření

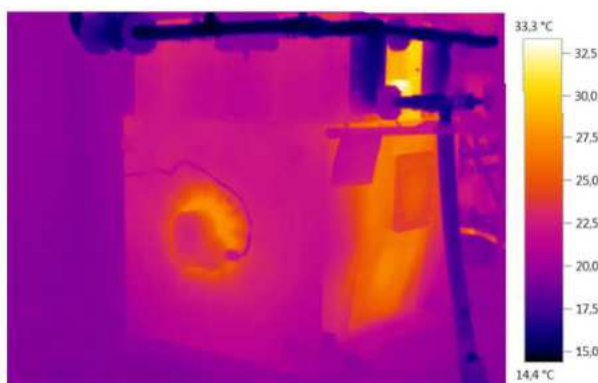
U měřících bezdotykových přístrojů, které pracují na principu infračerveného záření, se musí nastavit emisivita. Nastavení emisivity odpovídá emisivitě kobaltové modré barvě o velikosti 0,8.

Měření s termokamerou jsme provedli celkem dvakrát a to dvacet minut po spuštění čerpadla se čtyřicetiminutovým intervalem. Analýzu obrazců jsme provedli hned na pracovišti. Teplota se nijak extrémně nezvyšovala.

**Soubor:**  
IV\_00002.BMT

**Datum:**  
19.4.2016

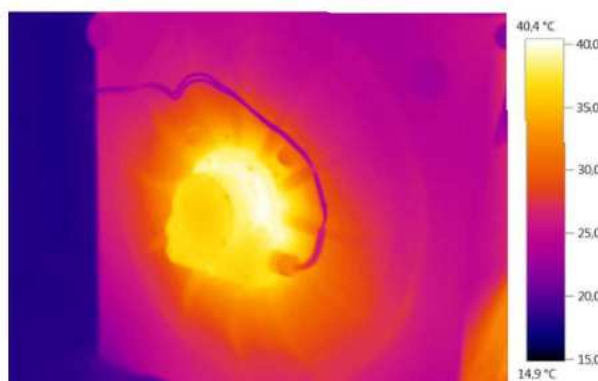
**Čas:**  
8:09:32



**Soubor:**  
IV\_00011.BMT

**Datum:**  
19.4.2016

**Čas:**  
8:50:43



Obrázek 47 Ukázka termodiagnostiky motorů

Nejteplejší místa na elektromotoru byla v oblasti příruby ložiskového domku, kde evidentně teplo pochází od rotoru. Další místa se objevila na bocích statoru.

Co se týká čerpadla, největší teploty byly zjištěny v místě: hřídel, ucpávka. U čerpadla CDB 100-230-14/12 hlavně kontrolujeme provozní teplotu mechanické ucpávky. Maximální teplota ucpávky je povolena na 80°C. Nicméně teploty jsou v pořádku a snímky zachovány pro následnou kontrolu s následnou diagnostikou.

**Soubor:**  
IV\_00010.BMT

**Datum:**  
19.4.2016

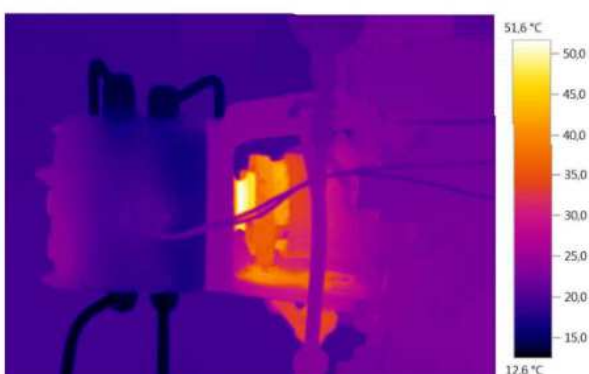
**Čas:**  
8:14:01



**Soubor:**  
IV\_00015.BMT

**Datum:**  
19.4.2016

**Čas:**  
8:52:34



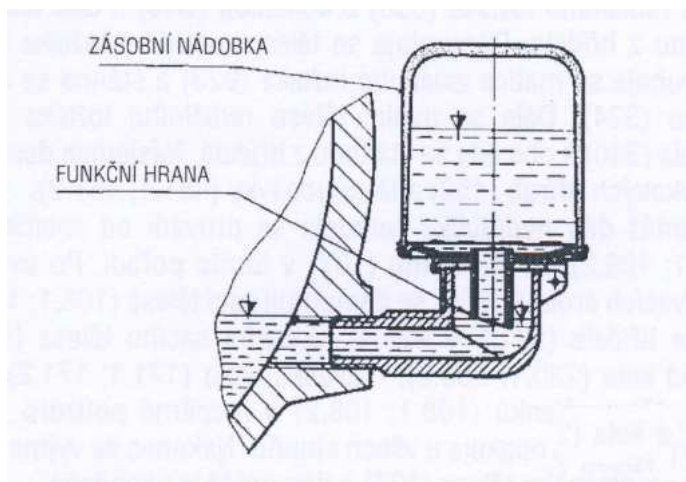
Obrázek 48 Ukázka termodiagnostiky čerpadla



## 5.7. Tribodiagnostika měření

### 5.7.1. Uvedení do problematiky

Čerpadlo CDB 100-230-14/12 má dva ložiskové domky s valivými ložisky. Každý ložiskový domek je vybaven doplňovačem oleje, který udržuje správnou hladinu oleje.



Obrázek 49 Doplnovač oleje [9]

Funkce doplňovače je velmi jednoduchá, olejový prostor je spojen s prostorem zásobní nádoby přes vloženou trubku na konci seříznutou. Takto tvoří spojité nádoby. Výšku hladiny tvoří vnitřní hrana seříznuté trubky. Klesne-li hladina oleje v ložiskovém prostoru pod povolenou mez, probublá vzduch seříznutou trubičkou do zásobní nádoby a dovolí doplnění hladiny oleje v ložiskovém prostoru až do výšky hrany seříznuté trubky.

V obou ložiskových domcích je po 3 litrech turbínového oleje MOGUL TB 46. Vzorek oleje byl odebrán po 300 hodinách provozu. Výměna oleje je stanovena průvodní technickou dokumentací po 1000 hodinách provozu.

### 5.7.2. Analýza vzorku oleje

Měření obsahu vody jsme provedli Coulometrickou metodou. V titrační nádobce se průchodem proudu uvolňuje jód, který reaguje s vodou, potenciometrickou titrací. Tato metoda zjišťuje nezreagovaný jód.

Dále jsme měřili číslo celkové kyselosti (TAN). Výsledná hodnota je v [mg KOH / g]. To

znamená, že zjišťujeme, kolik potřebujeme KOH (hydroxidu draselného) v mg, na neutralizaci všech kyselých složek obsažených v 1 gramu vzorku oleje.

Dále jsme měřili obsah prvků v RTG přístroji SPECTRO XEPOS. XEPOS vyhodnocuje množství prvků v rozsahu od Na (sodík) po U (uran).

VÝSLEDKY ZKOUŠEK						
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm <sup>2</sup> /s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	0,029
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,1	0,2	0,0125
Mechanické nečistoty	mg/100cm <sup>2</sup>	ČSN 65 6220			100	
Kód čistoty		ČSN ISO 4406		19/18/15	21/20/18	
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm	metodika		50	100	27,7
obsah Cu	(mg/kg)			15	40	2,8
obsah Cr				12,5	15	10,3
obsah Sn				10	30	3
obsah Si					30	25,3
Aditiva, degradace				nový		hodnota
obsah S	ppm	metodika				61,9
obsah P	(mg/kg)					x
obsah Mg						101
obsah Mo						1
obsah Zn						7,2
obsah Ca						27,4

Tabulka 22 Výsledky analýzy



Obrázek 51 Měření kyselosti



Obrázek 50 Měření obsahu vody

Analýza oleje byla provedena v tribologické laboratoři VŠB. Po prozkoumání výsledků musím konstatovat, že olej je v pořádku.

## 6. Závěr:

Na závěr bych chtěl shrnout výsledky této diplomové práce. Prvotním impulsem bylo zjištění zhoršeného technického stavu čerpadla důlních vod na 9. patře v čerpací stanici na důlním závodě 1, lokalita Lazy, ke kterému jsme došli na základě využití vibrodiagnostiky. Trendováním vibrací jsme zjistili, že dochází k nárůstu vibrací. Výsledné spektrum připomíná vanovou křivku. Podrobným zkoumáním frekvenčního spektra jsme došli k závěru, že z velké pravděpodobnosti dochází k přidírání rotoru čerpadla. Odpovídal tomu i hluk vycházející z čerpadla. Přidírání rotoru, může vést ke katastrofální poruše. Čerpadlo jsme na základě zjištěných výsledků doporučili vyřadit z provozu.

K ustavení nového čerpadla jsme použili laserový měřicí přístroj. Následně byla provedena vibrodiagnostika, kde byly zaznamenány první výsledky měření po ustavení. Rovněž jsme využili další diagnostickou metodu a to termodiagnostiku. V této metodě jsme viděli, jaké dosahuje čerpadlo s elektromotorem teploty v běžném provozu. Žádné výchyly nebyly zaznamenány. Dále byla využita tribodiagnostiku. Rozbor oleje nám potvrdil, že olej po 300 hodinách provozu je ještě v dobré kondici.

Na závěr nezbyvá, než konstatovat, že technická diagnostika je dnes již nedílnou součástí provozů čerpacích stanic, Pomocí správně zvolených metod technické diagnostiky lze včas plánovat opravy, díky kterým jsme schopni zajistit bezpečný a spolehlivý provoz zařízení vedoucí k maximální ekonomické efektivitě.

Seznam použité literatury:

- [1] Zákon č. 44/1988 Sb. ze dne 19. dubna 1988. *o ochraně a využití nerostného bohatství.*
- [2] Vyhláška ČBÚ č. 22/1989 Sb. ze dne 29. prosince 1988. *o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při dobývání nevyhrazených nerostů v podzemí.*
- [3] RK PLAST, s.r.o. *Návod k použití pro vzduchové membránové čerpadlo WILDEN XPX4.* Horní Lhota, 2004.
- [4] DORNET, s.r.o. *Návod k použití pro vzduchové čerpací zařízení 2"- XDA- 100.* Orlová - Poruba, 2007.
- [5] SIGMA GROUP a.s. *Návod k obsluze a montáži pro odstředivá horizontální jednostupňová čerpadla NVE.* Lutín, 2010.
- [6] SH-SERVIS s.r.o. *Technické podmínky pro horizontální, odstředivá, radiální článková čerpadla 80-CV-03.* Hranice, 2002.
- [7] SIGMA GROUP a.s. *Návod k obsluze a montážní předpisy pro odstředivá horizontální článková čerpadla VN-3-10.* Hranice I- Město, 2014.
- [8] ZAMEP Sp. zo.o. *Provozně technická dokumentace WPS-80, WPS-100A, WPS-100, WPS-150 a WPS-200.* Gliwice, 2011.
- [9] SIGMA GROUP a.s. *Průvodní technická dokumentace 100-CDB-230-14/12-OU-00SP.* Lutín, 2014.
- [10] SIGMA GROUP a.s. *Návod k obsluze a montáži pro ponorná kalová čerpadla řady KDDF-080-01-E.* Lutín, 2014.
- [11] FLYGT AB. *Katalog ponorných čerpadel a míchadel.* Svvtarsvågen, 2008.
- [12] HRABEC, L, F, Helebrant a J, Mazalová. *Technická diagnostika a spolehlivost III - Ustavování strojů.* VŠB-TU Ostrava: 92 s, 2007. ISBN 978 – 80 – 248 – 1449 – 0.
- [13] *Katalog produktů* [online]. [citováno 10. března 2016]. Dostupné z WWW:<<http://www.unimetra.cz/cz/katalog/>>
- [14] *Homola produkty* [online]. [citováno 10. března 2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.homola.cz/presne-sparomerkyp1381#>>
- [15]. *Markagro* [online]. [citováno 10. března 2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.markagro.cz/produkt/ciselnikovy-uchylkomer-obycejny-0-10-mm-512-063>>

- [16] SKF výrobky [online]. [citováno 10. března 2016] Dostupné z WWW:<<http://www.skf.com/cz/products/maintenance-products/alignment-tools/index.html>>
- [17] SKF. *Návod k použití SKFTMEA 1TMEA 1PTMEA 1Pex, Příklad pro ustavení souososti hřídelů*. Praha 7, 2010.
- [18] *Strojírenství články* [online]. [citováno 14. dubna 2016]. Dostupné z WWW <<http://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/1104-termodiagnostika>>
- [19] SKF. *Návod k použití* [online]. [citováno 16. dubna 2016]. Dostupné z WWW: <[http://www.lezaji.com/download/SKF\\_merni\\_instrumenti.pdf](http://www.lezaji.com/download/SKF_merni_instrumenti.pdf)>
- [20] Blata, J. a J, Juraszek. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe*. Ostrava 2013, ISBN 978-80-248-2997-5
- [21] HELEBRANT, F a J, ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost II-Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava: 173 s.
- [22] ČSN ISO 10 816-1. *Vibrace-Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech*. Praha, 1998
- [23] KREIDL, M a R, ŠMÍD, *Technická diagnostika. BEN – technická literatura*, Praha 2006, 1. vydání, 408s. ISBN 80-7300-157-6
- [24] JENČÍK, J, J, VOLF a KOL. *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s. ISBN 80-01-02138-6
- [25] *Elty s.r.o.* [online]. [citováno 12. března 2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.merici-opticke-pristroje.cz/termovizni-kamera-testo-882>>

## 7. Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma čerpání důlní vody na povrch .....	12
Obrázek 2 Vzduchové membránové čerpadlo WILDEN T8 [3] .....	13
Obrázek 3 Vzduchové čerpadlo 2"- XDA-100 [4] .....	14
Obrázek 4 Čerpadlo 100–NVE–200-28 [5] .....	16
Obrázek 5 Čerpadlo 80-CV-03 10° [6] .....	17
Obrázek 6 Čerpadlo VN-03-10° .....	18
Obrázek 7 Čerpadlo WPS 100/6 [8] .....	19
Obrázek 8 Čerpadlo 100-CDB-230-14/12 .....	20
Obrázek 9 Čerpadlo KDDF-080-01 .....	21
Obrázek 10 Čerpadlo Flygt BS 2201 HT .....	23
Obrázek 11 Čerpadlo Flygt BS 2400 MT .....	24
Obrázek 12 Základní varianty nesouososti [12] .....	26
Obrázek 13 Elektromotor čerpadla 80-CV-10 .....	27
Obrázek 14 Utržené patky na základovém rámu .....	27
Obrázek 15 Utržené těleso ložiska .....	27
Obrázek 16 Demontované čerpadlo 80-CV-10 .....	28
Obrázek 17 Pohled na ucpané vstupní oběžné kolo .....	28
Obrázek 18 Čerpací nádoba .....	29
Obrázek 19 Opotřebovaná oběžná kola .....	30
Obrázek 20 Koroze čerpadla .....	30
Obrázek 21 Možné posunutí [9] .....	31
Obrázek 22 Příměrné pravítko [13] .....	33
Obrázek 23 Spároměrky [14] .....	33
Obrázek 24 Kalibrované kužele [13] .....	33
Obrázek 26 Indukční zařízení TKSA 11 [16] .....	34
Obrázek 27 Laserové zařízení TKSA 51 [16] .....	34

Obrázek 25 Číselníkový úchylkoměr [15] .....	34
Obrázek 28 TMA 1P .....	35
Obrázek 29 Čerpadlo s el. motorem v čerpací stanici .....	36
Obrázek 30 Hrubé ustavení .....	36
Obrázek 31 Připojení držáků měřících jednotek na spojku .....	37
Obrázek 32 Potřebné rozměry [17] .....	37
Obrázek 33 Oblast měření [17] .....	38
Obrázek 34 Protokoly č. 1 a č. 4 měření SKF .....	39
Obrázek 35 MICROLOG CMVA 10 .....	42
Obrázek 36 Marlin CMVL 3600 IS [19] .....	43
Obrázek 37 Testo 882 [25] .....	44
Obrázek 38 Měřené body .....	44
Obrázek 39 Měřící bod pro běžnou pochůzku .....	45
Obrázek 40 Trendování vibrační měřícího bodu LOZCERP3_V .....	47
Obrázek 41 Frekvenční spektrum rychlosti LOZCERP3_V .....	48
Obrázek 42 Porovnání vibrační měřených bodů .....	49
Obrázek 43 Frekvenční spektrum rychlosti LOZCERP3_V .....	49
Obrázek 44 Frekvenční spektrum rychlosti LOZMOT2_V .....	50
Obrázek 45 Výstup z BearingCalcurator .....	52
Obrázek 46 Frekvenční spektrum obálkové metody ložiskač. 5 v axiálním směru .....	54
Obrázek 47 Ukázka termodiagnostiky motorů .....	55
Obrázek 48 Ukázka termodiagnostiky čerpadla .....	56
Obrázek 49 Doplnovač oleje [9] .....	57
Obrázek 50 Měření obsahu vody .....	58
Obrázek 51 Měření kyselosti .....	58

## 8. Seznam tabulek

Tabulka 1 Technické parametry čerpadel WILDEN .....	13
Tabulka 2 Technické parametry čerpadla 2"- XDA-100 .....	15
Tabulka 3 Technické parametry čerpadla 100–NVE–200-28 .....	16
Tabulka 4 Technické parametry čerpadla 80-CV-03 .....	17
Tabulka 5 Technické parametry čerpadla VN-03-10° .....	18
Tabulka 6 Technické parametry čerpadla WPS 100/6 .....	19
Tabulka 7 Technické parametry čerpadla 100-CDB-230-14 .....	21
Tabulka 8 Technické parametry čerpadla KDDF-080-01-E .....	22
Tabulka 9 Technické parametry čerpadla Flygt BS 2201 HT .....	23
Tabulka 10 Technické parametry čerpadla Flygt BS 2400 MT .....	24
Tabulka 11 Varianty nesouososti .....	25
Tabulka 12 Výběr základních rozměru spojek [9] .....	31
Tabulka 13 Max. hodnoty $\Delta S_{\text{dovol.}}$ a $\Delta K_{\text{r dovol.}}$ [9] .....	32
Tabulka 14 Tolerance ustavování pro RPN = 2000-3000 (ot/min) .....	39
Tabulka 15 Výsledky měření ustavování .....	40
Tabulka 16 Hranice pásma vibrací .....	46
Tabulka 17 Výsledky měření vibrací v mm/s .....	48
Tabulka 18 Frekvenční pásma ENV obálky .....	51
Tabulka 19 Hodnoty pásma filtru Micrologu .....	51
Tabulka 20 Poruchové frekvence ložisek .....	53
Tabulka 21 Naměřené hodnoty zrychlení obálky ENV .....	53
Tabulka 22 Výsledky analýzy .....	58



## 9. Seznam příloh

Příloha A:

Měření SPECTRO XLabPro

SPECTRO X-LabPro			Job Number: DIPLOMKY 2016		
Sample Name	<b>DULAWA cerpadlo</b>	DULAWA cerpadlo	27.4.2016 20:45:07		
Description		Method	TurboQuant- OLEJE		
Z	Symbol	Element	<u>Norm. Int.</u>	<u>Concentration</u>	<u>Abs. Error</u>
11	Na	Sodium	7,8232	< 1005ppm	(806)ppm
16	S	Sulfur	101,7341	61,9ppm	0,3ppm
26	Fe	Iron	140,7070	27,7ppm	0,3ppm
20	Ca	Calcium	11,0340	27,4ppm	0,4ppm
14	Si	Silicon	18,0838	25,3ppm	0,4ppm
73	Ta	Tantalum	61,6563	14,4ppm	0,3ppm
27	Co	Cobalt	11,3150	11,9ppm	0,9ppm
24	Cr	Chromium	14,9354	10,3ppm	0,5ppm
30	Zn	Zinc	97,0349	7,2ppm	0,1ppm
72	Hf	Hafnium	19,6084	4,7ppm	0,2ppm
25	Mn	Manganese	12,3494	3,1ppm	0,2ppm
19	K	Potassium	0,8137	< 10ppm	(3,1)ppm
29	Cu	Copper	26,6769	2,8ppm	0,1ppm
74	W	Tungsten	14,4908	2,3ppm	0,1ppm
28	Ni	Nickel	19,3544	1,7ppm	0,1ppm
22	Ti	Titanium	0,9772	< 2,0ppm	(1,3)ppm
81	Tl	Thallium	13,5925	1,2ppm	0,1ppm

80	Hg	Mercury	6,7781	0,7ppm	0,1ppm
41	Nb	Niobium	0,8550	0,5ppm	0,2ppm
34	Se	Selenium	9,7906	0,4ppm	0,1ppm
83	Bi	Bismuth	5,0541	0,4ppm	0,1ppm
92	U	Uranium	6,4242	0,3ppm	0,1ppm
40	Zr	Zirconium	1,1705	0,3ppm	0,1ppm
33	As	Arsenic	6,2700	0,2ppm	0,1ppm
35	Br	Bromine	6,3516	0,2ppm	0,1ppm
82	Pb	Lead	2,3138	< 0,2ppm	(0,2)ppm
39	Y	Yttrium	4,3736	< 0,1ppm	(0,1)ppm
37	Rb	Rubidium	2,4318	< 0,1ppm	(0,1)ppm
32	Ge	Germanium	0,0000	< 0,5ppm	(0,0)ppm
42	Mo	Molybdenum	1,3639	< 1,0ppm	(0,0)ppm
47	Ag	Silver	1,7151	< 2,0ppm	(0,0)ppm
48	Cd	Cadmium	1,6693	< 2,0ppm	(0,0)ppm
50	Sn	Tin	11,7103	< 3,0ppm	(0,0)ppm
51	Sb	Antimony	5,9035	< 3,0ppm	(0,0)ppm
52	Te	Tellurium	5,8882	< 3,0ppm	(0,0)ppm
53	I	Iodine	0,0000	< 3,0ppm	(0,0)ppm
55	Cs	Cesium	0,0000	< 4,0ppm	(0,0)ppm
56	Ba	Barium	0,0000	< 2,0ppm	(0,0)ppm
57	La	Lanthanum	0,0000	< 2,0ppm	(0,0)ppm
58	Ce	Cerium	0,0000	< 2,0ppm	(0,0)ppm

17	Cl	Chlorine	128,9379	< 2,0ppm	(0,0)ppm
12	Mg	Magnesium	0,0000	< 101ppm	(0,0)ppm
13	Al	Aluminum	11,0542	< 20ppm	(0,0)ppm
15	P	Phosphorus	0,0000	< 3,0ppm	(0,0)ppm
23	V	Vanadium	0,0000	< 1,0ppm	(0,0)ppm
38	Sr	Strontium	6,4333	< 0,5ppm	(0,0)ppm
31	Ga	Gallium	0,0000	< 0,5ppm	(0,0)ppm
90	Th	Thorium	0,0000	< 1,0ppm	(0,0)ppm
		Sum		0,10%	