

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

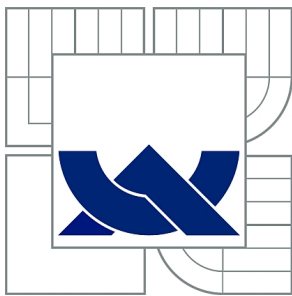
UPLATNĚNÍ DIAGNOSTICKÝCH METOD NA ZAŘÍZENÍCH
PAROPLYNOVÉHO BLOKU

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

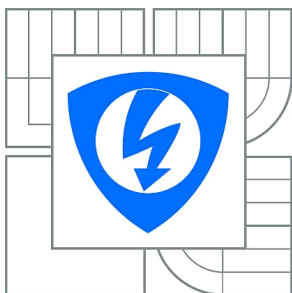
Bc. IVANA HÜBKOVÁ

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

UPLATNĚNÍ DIAGNOSTICKÝCH METOD NA ZAŘÍZENÍCH PAROPLYNOVÉHO BLOKU

APPLICATION OF DIAGNOSTIC METHODS FOR DEVICES OF STEAM-GAS BLOK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

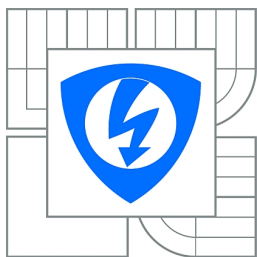
Bc. IVANA HÜBKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ANTONÍN MATOUŠEK, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Studentka: Bc. Ivana Hübková

ID: 106479

Ročník: 2

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Uplatnění diagnostických metod na zařízeních paroplynového bloku

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Základní pojmy
2. Diagnostika energetických zařízení
3. Návrh diagnostického systému pro vybraná energetická zařízení
4. Zvyšování spolehlivosti včasným předpovídáním poruch

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 24.5.2013

Vedoucí práce: doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá spolehlivostí technických zařízení obecně a je tedy vysvětlena vanová křivka, poruchy a závady zařízení a je stručně nastíněna spolehlivost soustav.

Dále se tato práce věnuje technické diagnostice, která je velmi stručně popsána teoreticky a následně je pomocí odvětví vibrodiagnostiky provedeno měření na vybraných čerpadlech a ventilátorech v teplárně Červený mlýn v Brně. Vyhodnocení jejich stavu je provedeno podle příslušných norem. Diagnostikovány jsou také odvaděče kondenzátu pomocí ultrazvukové diagnostiky.

V poslední části práce je řešena spolehlivost vybraných konkrétních čerpadel z výše uvedeného provozovny. Jsou zobrazeny křivky spolehlivosti vybraných čerpadel a zpracována data z jejich dlouhodobého měření vibrací.

KLÍČOVÁ SLOVA:

spolehlivost zařízení; vanová křivka; vibrace; vibrodiagnostika; technická diagnostika; odvaděč kondenzátu; poruchy strojů, spolehlivost soustav; ultrazvuková diagnostika

ABSTRACT

This master's thesis deals with problem of reliability of technical device in general and so there is explained bathtub curve, defects and malfunctions of devices and then there is a brief outline of reliability system.

This thesis further briefly describes technical diagnostic and then there is performed the vibrodiagnostic measurements of selected pumps and ventilators in heating plant Červený mlýn in Brno. Evaluation of their condition is done according to relevant standards. Further there was done a diagnostic of the steam traps through the ultrasound diagnostic.

The last part of my thesis deals with the reliability of selected specific pumps in foregoing rating plant. There are showed reliability curves of selected pumps and elaboration of data from their long-term vibrations measurement.

KEY WORDS:

equipment reliability; vibration; vibrodiagnostic; technical diagnostic; steam trap; failure of machinery; system reliability; ultrasonic diagnostic

HŮBKOVÁ, Ivana *Uplatnění diagnostických metod na zařízeních paroplynového bloku*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2013. 55 s. Vedoucí práce byl doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Uplatnění diagnostických metod na zařízeních paroplynového bloku“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení S 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Antonínu Matouškovi, CSc. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD	12
2 SPOLEHLIVOST ZAŘÍZENÍ.....	14
2.1 OBECNÉ VYSVĚTLENÍ SPOLEHLIVOSTI.....	14
2.2 PORUCHY ZAŘÍZENÍ.....	14
2.3 SPOLEHLIVOST SOUSTAV.....	16
2.3.1 HODNOCENÍ BEZPORUCHOVOSTI SOUSTAV	16
2.3.2 SÉRIOVÁ SOUSTAVA	17
2.3.3 PARALELNÍ SOUSTAVA	17
2.4 ZVYŠOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI SOUSTAV	17
2.4.1 ZVYŠOVÁNÍ PASIVNÍ BEZPORUCHOVOSTI.....	17
2.4.2 ZVYŠOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI ZÁLOHOVÁNÍM.....	17
3 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA ZAŘÍZENÍ.....	19
3.1 ZÁKLADNÍ POJMY	19
3.2 ROZDĚLENÍ TECHNICKÉ DIAGNOSTIKY.....	20
3.3 METODY TECHNICKÉ DIAGNOSTIKY	22
4 VIBRODIAGNOSTIKA	25
5 PRAKTICKÁ MĚŘENÍ.....	28
5.1 MĚŘENÍ VIBRACÍ TOČIVÝCH STROJŮ	28
5.1.1 VIBROTEST 60	28
5.1.2 VLASTNÍ MĚŘENÍ	29
5.1.3 VYHODNOCENÍ ČERPADEL.....	30
5.1.4 VYHODNOCENÍ VENTILÁTORŮ.....	32
5.2 ULTRAZVUKOVÁ DIAGNOSTIKA.....	34
5.2.1 VAPOPHONE VKP-EX	35
5.2.2 VLASTNÍ MĚŘENÍ	36
5.2.3 VYHODNOCENÍ ODVADĚČŮ	36
6 SPOLEHLIVOST ČERPADEL.....	41
6.1 OBĚHOVÁ ČERPADLA PRVNÍHO STUPNĚ.....	41
6.2 VELKÁ NAPAJECÍ ČERPADLA	45
6.3 DALŠÍ VYBRANÁ ČERPADLA	47
7 ZÁVĚR.....	51
POUŽITÁ LITERATURA	54

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Vanová křivka</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 2 Blokové schéma sériové soustavy</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 3 Blokové schéma paralelní soustavy</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 4 Únik tepla z potrubí zjištěný pomocí bezkontaktního měření teploty</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 5 Vznik vířivých proudů</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 6 Hustota vířivých proudů bezvadného a vadného materiálu</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 7 Typické spektrum statické nevyváženosti točivého stroje</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 8 Typické spektrum momentové nevyváženosti točivého stroje</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 9 Typické spektrum ohnuté hřídele točivého stroje.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 10 Typické spektrum úhlové nesouososti točivého stroje</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 11 Typické spektrum radiální nesouososti točivého stroje</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 12 Měřicí přístroj Vibrotest 60</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 13 Vyznačená měřicí místa vertikálních a horizontálních točivých strojů</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 14 Ukázka měřicího místa L4H na konkrétním stroji</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 15 Frekvenční spektrum čerpadla demivody č. 2.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 16 Frekvenční spektrum ventilátoru horkovodního kotle v místě L1V</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 17 Frekvenční spektrum ventilátoru horkovodního kotle v místě L2V</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 18 Vlnění nahromaděného kondenzátu v potrubí</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 19 Poškození potrubí kyselinou uhličitou (vlevo) a pittingem (vpravo)</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 20 Ultrazvukový diagnostický přístroj Vapophone VKP-Ex.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 21 Správné přiložení měřicí sondy na odvaděč kondenzátu</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 22 Aproximace vibrací.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 23 Křivka spolehlivosti oběhového čerpadla prvního stupně</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 24 Trend vibrací oběhového čerpadla prvního stupně č. 1</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 25 Trend vibrací oběhového čerpadla prvního stupně č. 2</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 26 Trend vibrací oběhového čerpadla prvního stupně č. 3</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 27 Zahřívání stroje při nesprávném a správném ustavení stroje.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 28 Srovnávání souososti pomocí laseru.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 29 Křivka spolehlivosti velkého napájecího čerpadla</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 30 Trend vibrací napájecího čerpadla č. 1</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 31 Trend vibrací napájecího čerpadla č. 2</i>	<i>47</i>

<i>Obr. 32 Trend vibrací hlavního olejového čerpadla spalovací turbíny.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 33 Trend vibrací malého napájecího čerpadla č. 2.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 34 Trend vibrací velkého kondenzátního čerpadla č. 2.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 35 Trend vibrací chladicího čerpadla č. 1.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 36 Trend vibrací chladicího čerpadla č. 2.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 37 Trend vibrací čerpadla chlazení KUP č. 2.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 38 Trend vibrací čerpadla chlazení KUP č. 1.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 39 Graf celkového zhodnocení kontrolovaných čerpadel.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 40 Graf celkového zhodnocení kontrolovaných ventilátorů.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 41 Graf celkového zhodnocení kontrolovaných odvaděčů kondenzátu.....</i>	<i>52</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Závislosti frekvence na hloubce vniku vířivých proudů do některých materiálů.....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 2 Mezní hodnoty rychlosti vibrací pro čerpadla.....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 3 Vyhodnocení čerpadel s výkonem vyšším než 200 kW.....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 4 Vyhodnocení čerpadel s výkonem nižším než 200 kW.....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 5 Mezní hodnoty rychlosti vibrací pro ventilátory.....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 6 Vyhodnocení stavu ventilátorů.....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 7 Naměřené hodnoty odvaděčů kondenzátu řady BK 15 a armatur.....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 8 Naměřené hodnoty odvaděčů kondenzátu řady BK 28 a armatur.....</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 9 Naměřené hodnoty odvaděčů kondenzátu řady BK 29 a armatur.....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 10 Naměřené hodnoty zbylých odvaděčů kondenzátu a armatur.....</i>	<i>40</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Veličina	Značka jednotky
f	frekvence	Hz
h	hloubka vniku vířivých proudů do materiálu	μm
p	tlak páry	bar
t_{vst}	teplota kondenzátu před odvaděčem	$^{\circ}\text{C}$
t_{vys}	teplota kondenzátu za odvaděčem	$^{\circ}\text{C}$
v	rychlost vibrací	$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
VAP	ultrazvukový šum	-

Zkratka	Celý název
BO	běžná oprava
GO	generální oprava
NT	nízkotlaké
OK	odvaděč kondenzátu
PČM	provozovna Červený mlýn
PT	parní turbína
SO	střední oprava
VT	vysokotlaké

1 ÚVOD

Rozvoj techniky a obecně veškerých technických zařízení je v poslední době velmi rychlý a ve své podstatě i nepostradatelný. V této práci se budeme zabývat obecně zařízeními, která jsou používána v teplárnách, jako jsou například čerpadla, kotle, turbíny, ventilátory, apod. S rozvojem těchto zařízení souvisí i nárůst požadavků na jejich životnost, přesnost, kvalitu a také v neposlední řadě spolehlivost během jejich provozu. Aby tyto požadavky mohly být splněny, musí se stále zdokonalovat celý proces již od jejich projektování, přes proces výroby, až po uvedení zařízení do provozu. Když je už zařízení v provozu, musí se zlepšovat zejména včasné předvídání poruch, čímž je možné prodloužit jejich životnost, ale také se díky tomu zabrání případným prostojům, výpadkům či dokonce haváriím.

Samozřejmě spolehlivost zařízení udává již kvalita projektování zařízení, jeho konstrukce, technologie výroby a také závisí na zkouškách, které výrobce provádí před uvedením do provozu. Úkolem včasné diagnostiky není pouze včasné zjištění vzniklé poruchy, ale hlavně vznikajícím poruchám předcházet. Po uvedení velkých energetických zařízení do provozu je nutné na nich provádět periodická i průběžná měření, která jsou schopna odhalit možné narušení jednoho zařízení a tím zároveň předejít havárii celého systému, pokud je zařízení jeho součástí (např. turbíny, čerpadla, odvaděče kondenzátu v elektrárnách a teplárnách, atd.). Dále také závisí spolehlivost zařízení během provozu na zacházení obsluhy se zařízením, na zatěžování zařízení, způsobu údržby a okolních podmínkách.

Splnění těchto požadavků určitě musí doprovázet i ekonomické aspekty, tedy se předpokládají co nejnižší náklady. Musí se předem promyslet, jestli je zařízení natolik důležité, aby se diagnostika zařízení v průběhu provozu vyplatila. Je zřejmé, že čím je zařízení důležitější, anebo pokud je součástí důležitého systému, že pravidelná kontrola zařízení, tedy diagnostika, je nepostradatelná. Jak bylo řečeno, tak technická diagnostika je prostředek, který určuje stav technického zařízení, sleduje jeho technické parametry a na základě získaných informací se může zabránit poškození zařízení či jeho destrukci tím, že se zařízení odstaví a provede se případná oprava.

V návaznosti na výše uvedené skutečnosti je v této práci popsána spolehlivost technických zařízení. V tomto oboru je vhodné uvést a popsat vanovou křivku zařízení, která graficky zobrazuje intenzitu poruch v průběhu jeho života. Jsou zde popsány nejčastěji vyskytující se poruchy strojů, jakými jsou např. rázová zatížení, opotřebení, zadírání, atd. Dále se v oboru spolehlivosti nesmí zapomínat na spolehlivost více zařízení, která pracují jako jeden celek, tedy soustavy.

Jak bylo již zmíněno, technická diagnostika je a bude jedním z nejdůležitějších oborů v technickém provozu. Každé důležité zařízení je diagnostikováno, ať už průběžně nebo v požadovaných časových intervalech. Důležitým aspektem je výběr nejvhodnější diagnostické metody pro zařízení, která se budou kontrolovat. Ne každé zařízení se může kontrolovat jakoukoliv diagnostickou metodou, protože poruchy každého druhu zařízení se projevují jiným způsobem.

V této práci je uvedeno několik diagnostických měření na vybraných zařízeních v teplárně Červený mlýn v Brně. Nejvhodnější diagnostická metoda je volena pro točivé stroje a pro odvaděče kondenzátu. Uvedená zařízení jsou pomocí těchto metod diagnostikována, je provedeno vyhodnocení jejich aktuálního stavu a případně navržena vhodná oprava.

Poslední část práce se zabývá zpracováním dodaných dat z provozovny Červený mlýn. Konkrétně se jedná o naměřené hodnoty vibrací čerpadel od roku 2000. Pomocí těchto shromážděných dat jsou programem Matlab vykresleny trendy vibrací vybraných čerpadel a následně vyhodnocen jejich dlouhodobý stav. U vybraných čerpadel bude zobrazena křivka spolehlivosti.

2 SPOLEHLIVOST ZAŘÍZENÍ

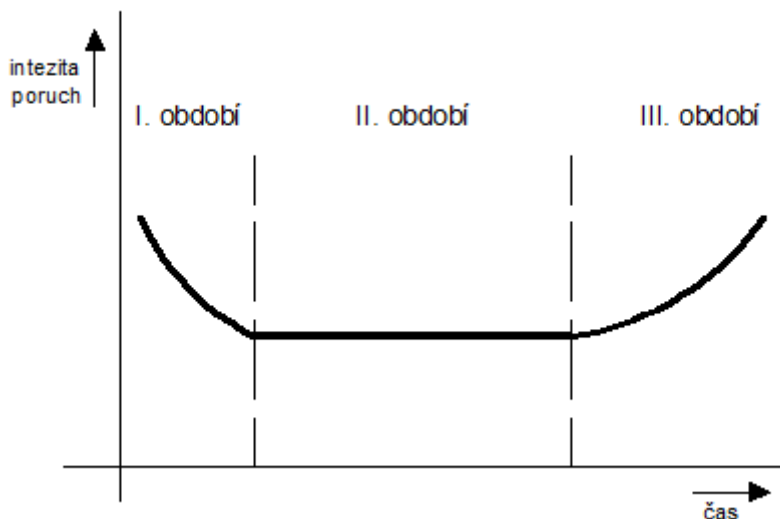
2.1 Obecné vysvětlení spolehlivosti

Spolehlivost je jedna z nejdůležitějších vlastností kvality a je definována normou. Podle zdroje [1] norma říká: „Spolehlivost je obecná vlastnost objektu spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek“. Technické podmínky jsou jisté technické vlastnosti zařízení, které jsou určeny pro jeho danou funkci, způsob provozu, skladování, údržbu a opravy. Spolehlivost zařízení můžeme rozdělit na její konkrétní vlastnosti, a to:

- bezporuchovost, což je schopnost plnit nepřetržitě požadované funkce a to po stanovenou dobu a za stanovených podmínek,
- opravitelnost je způsobilost ke zjišťování příčin vzniku jeho poruch a odstraňování jejich následků,
- udržovatelnost je způsobilost k předcházení jeho poruch předepsanou údržbou,
- životnost je schopnost plnit požadované funkce do dosažení mezního stavu při stanoveném systému předepsané údržby a oprav,
- pohotovost je komplexní vlastnost zahrnující bezporuchovost a opravitelnost zařízení v podmínkách provozu,
- skladovatelnost je schopnost zachovávat nepřetržitě po dobu skladování a přepravy bezzávadný stav a to při dodržení předepsaných podmínek.

2.2 Poruchy zařízení

Na následujícím grafu na obr. 1 je zobrazená tzv. vanová křivka, která naznačuje intenzitu poruch zařízení v závislosti na čase. Tato křivka se dá pomyslně rozdělit na tři oblasti, nebo také období zařízení.



Obr. 1 Vanová křivka

První období je období časných poruch, kdy se zařízení zabíhá a objevují se poruchy v důsledku nedostatků při návrhu nebo při výrobě a montáži zařízení. Po odstranění těchto poruch jejich intenzita klesá a zlepšuje se bezporuchovost. Druhé období je období technického

života zařízení. Poruchy jsou téměř konstantní a jsou způsobeny nejčastěji z vnějších příčin. Ve třetím období se projevují známky stárnutí, narůstá opotřebení zařízení a tím i jeho poruchy.

Nikdy nejde zařízení zkonstruovat tak dokonale, aby se u něj neobjevily v průběhu jeho životnosti nějaké vady, závady nebo poruchy. Pokud je schopno zařízení plnit své určené funkce a dodržuje dané parametry, tak tento jeho stav se označuje jako bezporuchový, bezzávadný. Naopak, pokud určené parametry nedodržuje, je tento stav nazýván jako poruchový. Přechod z bezzávadného stavu do poruchového nastává právě tehdy, když se vyskytne na zařízení porucha.

Vadou zařízení se rozumí změna jeho stavu, která nemá podstatný vliv na jeho činnost, tudíž se dá říci, že neovlivňuje jeho funkční spolehlivost.

Závada, nebo také poškození, spočívá v narušení bezporuchového stavu, ale zařízení je i nadále schopno provozu, je schopné plnit svou danou funkci a dodržovat stanovené parametry v mezích, které určuje jeho technická dokumentace, ale není už jasné, jak se zařízení bude chovat, pokud bude dále v provozu.

Porucha zařízení je jev, jehož následkem zařízení ztratí schopnost plnit určenou funkci, která se po něm vyžaduje. Poruchy mohou vznikat ze dvou příčin a to buď z vnitřních, nebo vnějších. Pokud nastala porucha z vnějších příčin, tak s největší pravděpodobností nebyly dodrženy stanovené provozní podmínky a předpisy pro zatěžování, obsluhu a údržbu zařízení. Vnitřní poruchy vznikají, pokud už má zařízení nějaké nedostatky například z výroby.

Havárie je porucha, při které může dojít k nezvratnému poškození zařízení, k ohrožení pracovního, ale i životního prostředí, k ohrožení bezpečnosti, zdraví a v nejhorších případech i ohrožení na životě obsluhy a dalších osob. Vznikají velké ekonomické potíže a ztráty.

Poruchy můžeme třídit podle různých hledisek a to na poruchy:

- dle příčiny vzniku:
 - z vnějších příčin,
 - z vnitřních příčin,
- dle časového průběhu změn:
 - náhlé
 - postupné
 - občasné
- dle původu poruchy:
 - konstrukční, kdy poruchy mohou být zaviněny nevhodnou volbou materiálu, nesprávným dimenzováním součástí, nerespektováním podmínek správného tvaru s ohledem na působící síly, nevhodnou volbou uložení a třeba také nevyvážeností rotujících částí, únavou materiálu, atd.,
 - technologické, které mohou být zaviněny nedodržením rozměrových tolerancí, nedůslednou kontrolou, špatnou montáží, zanedbáním úchylek tvaru a polohy, nevhodnou volbou technologie atd.,
 - provozní, kdy mohou vzniknout změny ve vlastnostech materiálu během provozu, zařízení se nedostává dostatečné nebo správné údržby, nedostatečnou nebo nesprávnou opravou, nepovolenými zásahy do chodu zařízení atd.

Nejčastějšími příčinami vzniku provozních poruch součástí technických zařízení jsou podle zdroje [4] zejména:

- Výskyt dynamických náhlých a rázových zatížení, která mají vliv na vznik vibrací a tím i na únavovou pevnost. Tímto náhlým a rázovým zatížením se může součást přetížit, kdy vlivem rázu může zatížení vzrůst až na dvojnásobnou hodnotu.
- Únavový jev je vyvolán cyklickým napětím v součásti a jeho následkem je růst trhlin. Nejprve se v součásti utvoří mikrotrhliny, dále dochází k nárůstu objemu deformovaného materiálu a v poslední fázi se trhliny šíří do hloubky materiálu. Tímto jevem nastává mechanický lom součásti zařízení.
- Zbytkové deformace, které vznikají v důsledku přetížení součásti nad mez pružnosti materiálu. Přetížení vyvolá plastickou deformaci a tedy změnu rozměrů a tvaru součásti.
- Opatřebení, které vniká na povrchu vzájemně se stýkajících funkčních ploch součástí. Mohou se zmenšovat rozměry součástí, mění se jejich geometrický tvar a povrch součástí a tím ovlivňují správnou funkci zařízení.
- Zadírání součástí, ke kterému dochází při porušení nebo selhání mazacího systému. Pokud selže mazací systém a dojde ke styku dvou kovových ploch, tak v místě jejich styku se zvýší tření, tím se styková plocha značně zahřeje a dojde k natavení výstupků. Při dalším pohybu se výstupky zadírají a vznikají škrábance na stykových plochách.
- Koroze, je elektrochemický jev, který probíhá na povrchu kovů v agresivním prostředí. Koroze začíná skoro ihned po výrobě, kdy napadá nejprve povrch zařízení nebo jeho součásti, a dále postupuje do hloubky materiálu. Jejím vlivem se zhoršuje kvalita povrchu, vznikají na něm trhlinky, které se postupně rozšiřují, a tím se zeslabuje jeho nosný průřez.

2.3 Spolehlivost soustav

Všechny technické soustavy se dají z pohledu spolehlivosti zjednodušit na základní struktury zapojení prvků soustav, a to na:

- sériové,
- paralelní,
- kombinované – kombinace sériového a paralelního,
- složité – např. elektrárny a teplárny.

Kritérium pro hodnocení spolehlivosti má pravděpodobnostní charakter, což znamená, že spolehlivost soustav je ovlivňována a určována náhodnými jevy a činiteli. Pro hodnocení spolehlivosti se používají teorie pravděpodobnosti a matematická statistika.

2.3.1 Hodnocení bezporuchovosti soustav

Pokud se zkoumá spolehlivost soustavy, tak se využívá toho, že se dá rozdělit na menší počet jednotlivě pracujících zařízení. Spolehlivosti těchto zařízení určují spolehlivost celé soustavy. U složitých soustav, jakými jsou i teplárny a elektrárny, se jako prvky volí jednotlivé konstrukční nebo funkční části soustavy, které jsou o řád jednodušší než soustava. Pokud jsou spolehlivosti jednotlivých zařízení známy, nebo je zjistit lze, může se spolehlivost soustavy předvídat už v době jejího návrhu.

2.3.2 Sériová soustava

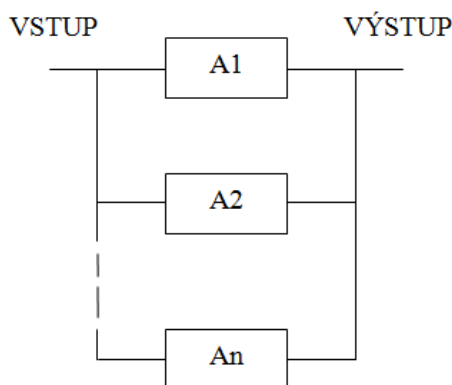
Sériová soustava je taková soustava, jejíž všechny prvky jsou zapojené za sebou, a tedy od prvního prvku k poslednímu je pouze jedna cesta. Pokud vznikne porucha na jakémkoliv prvku v takové soustavě, tak to vede k poruše celé soustavy. Na obr. 2 je zobrazené blokové schéma soustavy se sériovým zapojením.



Obr. 2 Blokové schéma sériové soustavy

2.3.3 Paralelní soustava

Paralelní soustava je taková soustava, jejíž všechny prvky jsou spojeny paralelně, tedy vedle sebe tak, jak znázorňuje obr. 3. Pokud vznikne porucha na jednom jakémkoliv prvku, tak to neznamena poruchu soustavy. Porucha soustavy by nastala pouze v případě, kdyby nastala porucha všech paralelních prvků. Z toho vyplývá, že jako paralelní soustavy se používají záložní systémy.



Obr. 3 Blokové schéma paralelní soustavy

2.4 Zvyšování spolehlivosti soustav

2.4.1 Zvyšování pasivní bezporuchovosti

Prvním a nezákladnějším prostředkem pro zvýšení spolehlivosti soustav je zvyšování jejich bezporuchovosti. Tato skutečnost se zaměřuje zejména na spolehlivost prvků soustavy. Zvýšit bezporuchovost jednotlivých zařízení, které jsou součástí dané soustavy, je možné například:

- dodržováním správného pracovního režimu, kdy by se zařízení neměla vystavovat například ani krátkodobým přetížením,
- použitím zařízení, u kterých výrobce udává co nejvyšší spolehlivost nebo jejich spolehlivost ověřit zkouškami, které by odhalily případné skryté vady.

2.4.2 Zvyšování spolehlivosti zálohováním

U složitých soustav, kterými jsou například elektrárny a teplárny, se pro zvyšování bezporuchovosti využívá zálohování.

Pokud musí mít soustava po stanovenou dobu nepřetržitý provoz bez poruchy, používá se nejčastěji stálé zálohování, kdy jsou záložní zařízení stále připojeny v soustavě a plní stejné funkce. Při poruše zůstává postižené zařízení zapojené, a proto se musí zhodnotit, jaké následky porucha na zařízení zanechá.

Pokud z hlediska důležitosti soustavy může dojít ke krátkodobému přerušení, tak se používá substituční zálohování. V takovém případě se při poruše automaticky odpojí pouze porouchané zařízení a připojí se záložní.

Podle pracovního režimu může být substituční zálohování provedeno jako:

- zatížené, kdy současně pracují jak záložní tak zálohovaná zařízení a jsou stejně provozně zatížena,
- odlehčené, kdy zálohované zařízení je v plném provozu a záložní prvek je v odlehčeném provozu (např. mu může být přiváděna napájecí energie),
- nezatížené, kdy v plném provozu je zálohované zařízení, záložní zařízení není připojeno a při poruše se musí připojit.

3 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA ZAŘÍZENÍ

Technická diagnostika je obor, který se zabývá bezdemontážními a nedestruktivními metodami pro určení technického stavu strojů a zařízení.

Pomocí technické diagnostiky se zjišťují začínající vady či poruchy zařízení a ty se dají s určitou přesností i lokalizovat, což je velká výhoda. Zejména se technická diagnostika cení ve velkých energetických provozech, jakými jsou jaderné, tepelné ale i vodní a větrné elektrárny a v neposlední řadě i teplárenské provozy. Samozřejmě je diagnostika obecně uplatňována i v jiných průmyslových sektorech než v energetice, např. slévárenství, strojírenství, ale i chemickém průmyslu a lékařství atd.

Provozní diagnostika je velmi významná část technické diagnostiky, která sleduje daná technická zařízení v průběhu jejich provozu. V praxi se pozorují jejich parametry a z těch se pak sestavují databáze hodnot, které popisují, jak se zařízení popřípadě celá soustava chová a z toho se pak dá usuzovat jeho budoucí chování. Hlídané parametry zařízení určuje výrobce a tyto parametry musí být udržovány v určitých mezích, aby nedošlo k poruše a aby byl provoz ekonomický. U většiny zařízení nemusí být diagnostika trvalá, ale stačí pouze periodické měření parametrů.

Hlavním důvodem použití diagnostických metod právě v energetice a v řadě dalších důležitých odvětví je předcházet možným haváriím, které by mohly způsobit hospodářské či ekonomické škody nebo dokonce ztráty na životech. Pokud se nebudou uvažovat ztráty na životech, tak ekonomické aspekty technické diagnostiky hrají v dnešní době jednu z největších rolí. Pokud povedení diagnostiky několika desítek velkých strojů bude stát řádově desetitisíce, tak je to malá částka oproti opravě pouze jednoho takového stroje, která se může pohybovat řádově ve statisících.

Dále budou zmíněny základní pojmy technické diagnostiky, uvedeno bude její základní rozdělení a popsány konkrétní diagnostické metody aplikované na energetický provoz.

3.1 Základní pojmy

Diagnóza je učení okamžitého technického stavu kontrolovaného zařízení a vyhodnocení jeho provozuschopnosti za určitých technických podmínek.

Prognóza ukazuje nejpravděpodobnější technický stav zařízení, který by mohl nastat v budoucnu. Vyhodnocení budoucího stavu zařízení se nejčastěji provádí pomocí statistiky.

Geneze analyzuje nejpravděpodobnější příčiny vzniku poruchy a tím zabraňuje předčasnému zhoršení technického stavu zařízení.

Diagnostické prostředky jsou soubory technických zařízení (senzory, čidla, atd.) a pracovních postupů pro vyhodnocení stavu diagnostikovaného stroje. Diagnostické prostředky mohou být:

- Vnitřní, kdy je diagnostické zařízení zabudované do diagnostikovaného stroje. Používá se u zařízení, která vyžadují častou diagnostiku a to bez zásahu do jeho chodu.
- Vnější, kdy je naopak diagnostikovaný stroj oddělený od diagnostického zařízení. Používá se tam, kde se diagnostické zařízení používá pro více diagnostikovaných zařízení.

- ON-LINE prostředky, které provádějí diagnostiku zařízení průběžně nebo v častých časových intervalech během provozu a stejně vyhodnocují jeho technický stav.
- OFF-LINE prostředky jsou měřicí systémy, které diagnostiku provádí u zařízení, které jsou mimo provoz. Také se takto nazývá diagnostický postup, kdy se pomocí přenosných přístrojů (tzv. kolektory dat) naměří potřebná data a uloží se do paměti. Vyhodnocení stavu zařízení provádí kvalifikovaný pracovník na svém externím pracovišti.

Technický stav diagnostikovaného zařízení je takový stav, kdy zařízení za daných podmínek vykonává požadované funkce.

Provozoschopný stav zařízení je takový stav, kdy je zařízení schopno vykonávat stanovené funkce podle technických podmínek.

Funkční zařízení je takové, které je schopno vykonávat alespoň některou svou funkci.

Diagnostické modely jsou zjednodušená zobrazení originálních zařízení, která se používají ke sledování jejich chování a simulacím. Základní dělení diagnostických modelů je:

- fyzikální model, kterým je hmotné a reálné zařízení, sestavené na stejném principu jako originál (zmenšený model strojního zařízení) nebo na analogickém principu (např. elektrický model tepelného nebo hydraulického systému),
- matematický model, který je abstraktní a je nejčastěji tvořen soustavou rovnic a nerovnic a vztahů mezi diagnostikovanými veličinami.

3.2 Rozdělení technické diagnostiky

Podle literatury [4] se pro zjišťování technických stavů zařízení používá různých druhů diagnostik. Dělení technické diagnostiky se může rozdělit podle různých hledisek, které v sobě zahrnují cíle, metody, výsledky, rozsah, zařazení v provozu, hlavní sledované parametry atd.

Funkční diagnostika získává data z funkční schopnosti diagnostikovaného zařízení. Tato diagnostika se zaměřuje hlavně na měření funkčních a provozních parametrů pro zajištění správného a ekonomického provozu. Při běžném provozu příslušné parametry hlídá obsluha a zároveň provádí drobné zásahy a opravy pro nabytí původního provozního stavu.

Diagnostika závad a poruch zjišťuje rozsah poškození diagnostikovaného zařízení a zároveň určuje i příčiny závad a poruch. Dále slouží k prohlídkám zařízení, které budou uvedeny do provozu, diagnostikuje výrobky po opravách.

Přímá diagnostika zjišťuje stav objektu pomocí přímého měření parametrů.

Nepřímá diagnostika se používá u zařízení, kde není možnost přímého přístupu ke sledovaným uzlům, tedy určuje stav sledovaného zařízení nepřímým měřením sledovaných parametrů.

Souborná diagnostika podává informaci o celkovém stavu diagnostikovaného zařízení pomocí jednoho nebo více parametrů, které v sobě zahrnují více činitelů majících vliv a stav.

Hlubková diagnostika získává informace o stavu jednotlivých skupin nebo samostatných částí sledovaného zařízení, které mají hlavní podíl na jeho spolehlivosti. Využívá se tam, kde komplexní diagnostika nedá dostatečný počet informací nebo tam, kde by při poruše zařízení mohlo dojít k havárii.

Subjektivní diagnostika zjišťuje stav objektu pomocí smyslových orgánů, znalostí a zkušeností zkušební technika. Neprovádí se měření, ale porovnání za pomoci různých pomůcek např. lupy nebo endoskopu. Nejčastěji se u této diagnostiky využívá zraku, sluchu a hmatu. Příkladem je vizuální obhlídka objektu podle předem daného postupu, naslouchání chodu stroje, hlídání zvýšení hladiny šumu, sledování teplot hmatem atp.

Objektivní diagnostika se vyznačuje tím, že informace i data pro posuzování stavu diagnostikovaného zařízení se získávají z měřicích a vyhodnocovacích přístrojů. Pro provádění diagnostiky jsou potřebné znalosti o hodnotách mezních stavů sledovaných parametrů. Tyto parametry jsou porovnávány s okamžitými hodnotami na přístrojích. K získaným výsledkům diagnostiky není zapotřebí kvalifikované obsluhy, což je výhodné.

Částečná diagnostika sleduje pouze určené části zařízení nebo díly strojů, které mají malou spolehlivost, a nelze ji jinak zvýšit.

Celková diagnostika zjišťuje stav jednotlivých částí nebo dílů diagnostikovaného zařízení a jejich přezkušování. Protože se jedná o demontážní diagnostiku, provádí se v předem stanoveném termínu nebo při poklesu pracovních výkonů.

Mezioperační diagnostika je taková, která slouží ke kontrole funkčních celků během výrobního procesu. Používá se pro součásti technických zařízení, na kterých závisí spolehlivá a bezpečná činnost celého objektu. Je finančně náročná, proto se musí předem rozhodnout, jestli se pro dané zařízení vyplatí.

Výstupní diagnostika zjišťuje, jestli má finální zařízení požadované vlastnosti ještě před uvedením do provozu.

Provozní diagnostika je taková, která probíhá za provozu a dělí se:

- Servisní diagnostika

Má zjistit, jestli má finální výrobek před uvedením do provozu požadované vlastnosti dané technickými podmínkami a pokud je někde závada, tak ji lokalizovat a stanovit plán oprav.

- Periodická diagnostika

Sleduje technické zařízení, aby zabránila jeho výpadku nebo havárii. Diagnostika probíhá podle předem vypracovaného plánu periodických prohlídek. Časové periody se stanovují pomocí kompromisu mezi ekonomickými, technickými a provozními podmínkami a ze zkušeností provozu daného zařízení. Prohlídky se provádí nepřímo periodickým sledováním vybraných parametrů za provozu nebo za speciálních podmínek a jejich srovnáním s hodnotami pro bezporuchový provoz. Zařízení pro tuto diagnostiku může být přenosné a využitelné pro větší počet objektů a i pro rozdílné typy zařízení.

- Průběžná diagnostika

Slouží k trvalému sledování a hlídání provozu technických systémů. Tato diagnostika se zavádí všude tam, kde může nenadálou poruchou vzniknout havárie s velkými katastrofálními následky (např. jaderná elektrárna) nebo kde náhlou poruchou s následným výpadkem mohou vzniknout velké ekonomické škody. Cílem této diagnostiky je včasné nalezení vznikající poruchy vznikající poruchy, její signalizaci, popřípadě i samočinného odstavení zařízení z provozu, aby nedošlo k havárii. Diagnostikování se provádí průběžným sledováním a vyhodnocováním změn vhodných parametrů vzhledem k mezním přípustným hodnotám. Při monitorování není třeba provádět žádné testy pro zjištění stavu, protože diagnostikované

zařízení musí být stále v bezporuchovém stavu a lokalizace poruch by byla bezpředmětná, protože k havárii může dojít velmi rychle po vzniku poruchy.

3.3 Metody technické diagnostiky

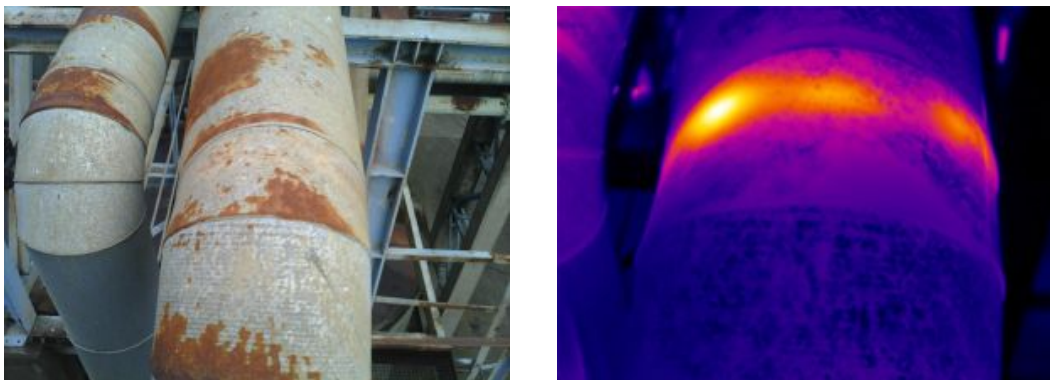
V této kapitole budou popsány některé metody technické diagnostiky, které se v energetickém provozu používají. Jsou jimi:

- Termodiagnostika

Termodiagnostika využívá kontaktního nebo bezkontaktního měření teploty strojů a jejich konstrukčních částí. Nejčastěji se používá bezkontaktní měření teploty, protože je značně jednodušší a v této době už i dostatečně přesné. Dá se použít jako prvotní kontrolní měření, podle kterého se rozhodne, jestli je potřeba další nákladnější diagnostika daného stroje. Bezkontaktní měření teploty je měření povrchové teploty, protože využívá měření emitovaného záření v infračerveném pásmu.

Diagnostika pomocí měření teploty se používá ke zjištění místa a velikosti ztrát energie a tepla, ke kontrole průtoku kapaliny nebo plynu u tepelných výměníků, ke zjištění okamžitého stavu mazání kluzných ložisek atd.

Na následujícím obr. 4 ze zdroje [20] je na fotografii vlevo je vidět běžný rozvod tepla získaný z digitálního fotoaparátu a vpravo je termovizní snímek tohoto rozvodu, kde je patrný únik tepla.



Obr. 4 Únik tepla z potrubí zjištěný pomocí bezkontaktního měření teploty

- Tribodiagnostika

Tato diagnostika se vyvinula ze samostatného vědního oboru tribologie, která se zabývá mazáním, třením a opotřebením při styku a pohybu dvou a více součástí.

Tribodiagnostika se uplatňuje se při kontrole všech technických maziv, tekutin, emulzí apod. Mazací olej ve stroji je v kontaktu s funkčními plochami strojů ale i s okolím, a proto se v něm objevují různé nečistoty a malé částičky uvolňovaného materiálu. Z odebraného vzorku oleje se dá zjistit blížící se porucha např. v důsledku nadměrného opotřebením stroje.

- Ultrazvuková diagnostika

Jak uvádí zdroj [21], tak poruchy zařízení jsou doprovázeny vznikem ultrazvuku ve frekvenčním rozsahu od 20 do 100 kHz, který se může šířit vzduchem, ale i konstrukcí zařízení. Ultrazvuk vzniká při úniku médií netěsnostmi spojů, trhlinami v materiálu, dále u špatně těsnících ventilů a také se generuje při chodu valivých ložisek.

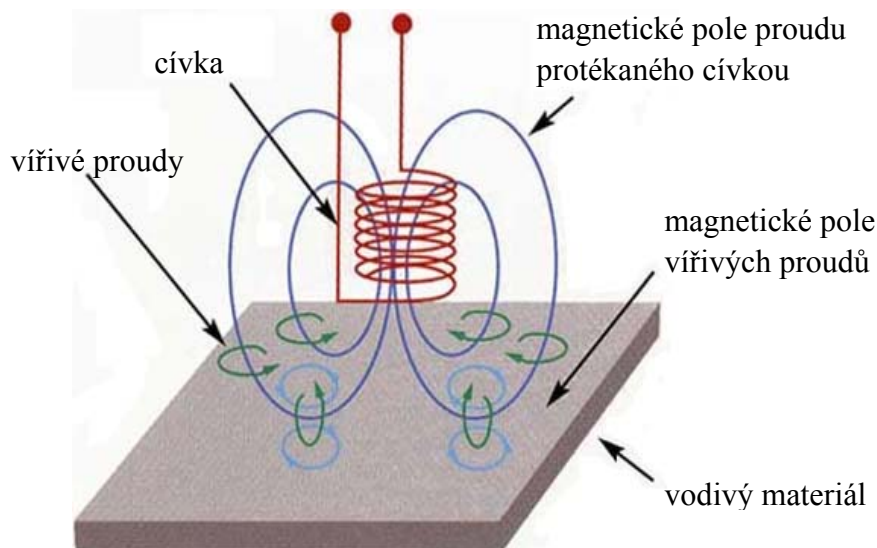
Zjišťování úniků, ať už páry, vzduchu nebo plynu, je založeno na měření ultrazvukového signálu, protože při porušení těsnosti tlakové soustavy, dochází téměř vždy k turbulentnímu proudění, které ultrazvuk generuje. Zde se může uplatnit ultrazvuk šířící se vzduchem. Při kontrole netěsností ventilů, odvaděčů kondenzátu a při hledání úniků z potrubí uložených ve zdech nebo v terénu, se uplatňuje diagnostika pomocí ultrazvuku šířícího se materiálem. Intenzita ultrazvuku klesá se vzdáleností od zdroje, proto lze dobře určit místo vzniku úniku.

Při diagnostice valivých ložisek je ultrazvukový signál snímán kontraktně a je tak možné provádět diagnostiku chodu rychloběžných i pomaloběžných ložisek. Se zvyšující se intenzitou ultrazvuku lze postupně usuzovat na nedostatečné mazání ložiska, poté na mikroskopické defekty v oběžných drahách a následně na velká poškození, která přecházejí havárii ložiska. Preventivní diagnostika chodu ložisek dokáže odhalit jejich vznikající závady dostatečně včas, aby bylo možné zajistit opravu nebo výměnu vadného ložiska ještě před tím, než dojde k jeho zničení a následným škodám na zařízení a ztrátám kvůli neplánované odstávce technologie.

- Diagnostika vířivými proudy

Metoda vířivých proudů je nejpoužívanější elektromagnetickou metodou pro zkoušení převážně elektricky vodivých materiálů, ale i elektricky nevodivých materiálů (např. pro určení tloušťky nátěru).

Teoretické vysvětlení vzniku vířivých proudů je ukázáno na obr. 5 ze zdroje [13]. Konkrétním příkladem je sonda tvořená cívkou protékanou elektrickým proudem, kolem které se vytvoří magnetické pole. Pokud se tato sonda bude přibližovat k elektricky vodivému materiálu, bude se v něm indukovat elektrický proud, který utvoří uzavřené smyčky kolmé na magnetické pole sondy.

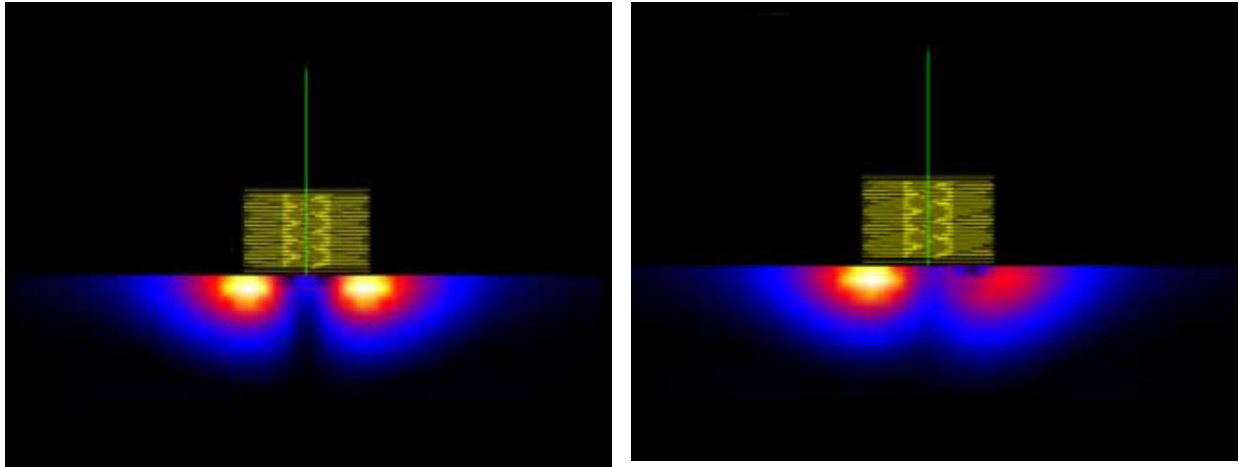


Obr. 5 Vznik vířivých proudů

Metoda vířivých proudů se často používá pro měření tloušťky tenkých materiálů, detekci ztenčování kovů způsobené korozi a mechanickým opotřebením, pro měření elektrické vodivosti a magnetické permeability.

Testování pomocí vířivých proudů je vhodné pro odhalení povrchových a podpovrchových vad materiálu. Vířivé proudy se soustřeďují blízko povrchu materiálu, ke kterému přiléhá sonda a jejich hustota se se vzdáleností snižuje, jak je vidět na obr. 6 vlevo ze zdroje [18]. Obr. 6

vpravo ze zdroje [18] ukazuje vyskytující se vadu materiálu pod pravou stranou sondy, kde se vyskytuje slabší hustota vířivých proudů.



Obr. 6 Hustota vířivých proudů bezvadného a vadného materiálu

Vířivé proudy se používají ke kontrole neferomagnetických trubek v tepelných výměnících a ke kontrole listů lopatek rotorů parních nebo spalovacích turbín.

Jak bylo již zmíněno, hustota vířivých proudů se snižuje (exponenciálně) s hloubkou průniku materiálem – tzv. povrchový jev. Hloubka vniku do materiálu je tím menší, čím vyšší je frekvence proudu sondy, jak ukazuje tab. 1 ze zdroje [19], dále hloubka vniku závisí na permeabilitě a elektrické vodivosti materiálu.

Tab. 1 Závislosti frekvence na hloubce vniku vířivých proudů do některých materiálů

materiál	hloubka vniku při dané frekvenci h (μm)	
	$f = 300\text{kHz}$	$f = 2\text{MHz}$
stříbro	115	45
hliník	157	59
zlato	134	53
kadmium	250	96
chrom	151	58
měď	121	46
mosaz	264	98
olovo	421	163
cín	310	113
zinek	223	87
ocel	47	18

4 VIBRODIAGNOSTIKA

Vibrace u rotujících strojů jsou velmi úzce vázány s jejich dynamickým namáháním, souvisí s nevyvážeností, nesouosostí, se stavem ložisek, opotřebením atd., proto je sledování vibrací tak důležité zrovna pro točivé stroje.

Vibrace neboli kmitání či chvění jsou dynamickým jevem, při kterém se hmotné body nebo tuhá tělesa pohybují kolem své rovnovážné polohy (klidové osy).

Měření vibrací je vlastně měření periodického pohybu a k popisu vibrací se můžou použít tři měřitelné pohybové veličiny, a to:

- výchylka vibrací,
- rychlost vibrací,
- zrychlení vibrací.

Výchylka vibrací je vzdálenost zařízení od jeho dané rovnovážné (nebo referenční) polohy (někdy i dvou strojů navzájem) a udává se v jednotkách délky.

Rychlost vibrací je rychlost, jakou se pohybuje kontrolovaný stroj. Vyhodnocení se udává v jednotkách délky (nejčastěji milimetry) za sekundu. Je to nejčastější způsob vyjádření velikosti vibrací.

Zrychlení vibrací se měří pomocí snímačů zrychlení a vyjadřují se buď v absolutních jednotkách, nebo v násobcích tíhového zrychlení.

Vyhodnocení vibrací se může rozdělit do dvou skupin, kterými jsou:

- Metody pro analýzu signálu v časové oblasti

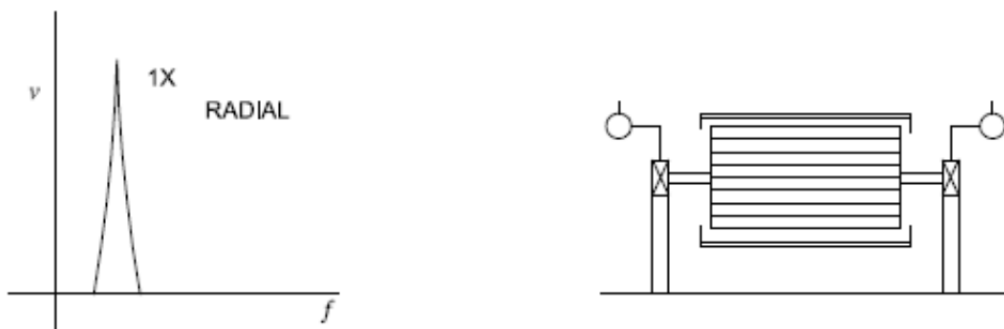
Touto metodou se dá určit celková úroveň vibrací a časové průběhy určujících veličin. Sledují elektivní nebo špičkové hodnoty výchylky, rychlosti nebo zrychlení vibrací.

- Metody pro analýzu signálu ve frekvenční oblasti

U této metody se naměří signál proměnný v čase a dále se už zpracovává numericky, protože základem frekvenční analýzy je diskrétní Fourierova transformace (DFF) nebo rychlá Fourierova transformace (FFT). Je to jediná metoda, která dokáže zjistit poruchu hrozící v jednotlivých částech kontrolovaného stroje. Součástí frekvenční analýzy je i amplitudové a fázové spektrum vibrací, které slouží pro včasné zjištění závad a poruch na točivém stroji, kterými jsou například nevyváženost, nesouosost, opotřebenění ložisek atd.

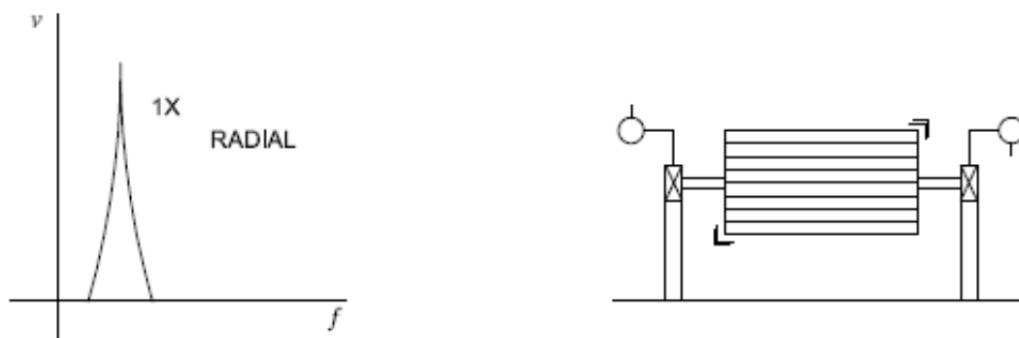
Na následujících obrázcích jsou nastíněna typická spektra pro některé poruchy točivých strojů a soustrojí podle [23].

Na obr. 7 je problémem statická nevyváženost, má stejnou fázi a je stálá. Amplituda způsobená nevyvážeností roste s druhou mocninou otáček. Otáčková frekvence 1X je vždy ve spektru a obvykle je tato špička největší. Vyvážení se provede vložením jednoho vývažku do jedné roviny, která prochází těžištěm.



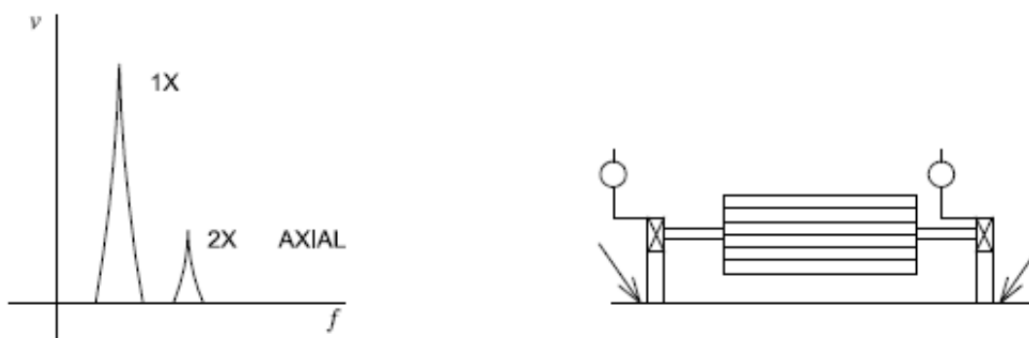
Obr. 7 Typické spektrum statické nevyváženosti točivého stroje

Na obr. 8 je zobrazena momentová nevyváženost, ta vyvolává vibrace, které jsou na stejném hřídeli fázově posunuty o 180° . Ve spektru je obvykle vždy největší špička otáčkové frekvence 1X. Amplituda roste s druhou mocninou otáček. Momentová nevyváženost může způsobovat vysoké radiální i axiální vibrace. Vyvážení se provádí vložením vývažků alespoň do dvou rovin.



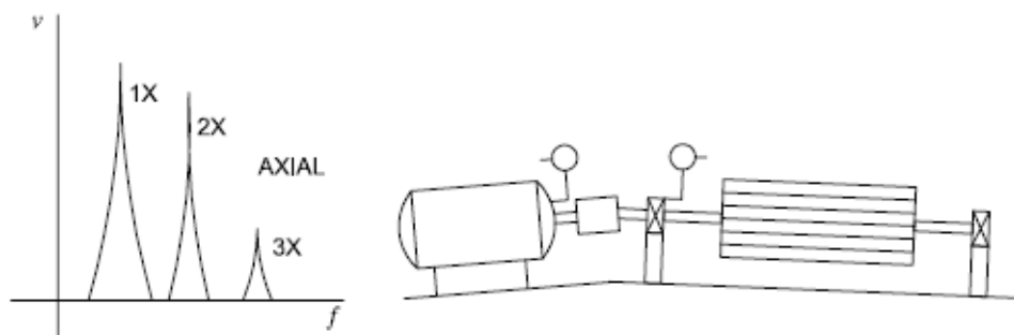
Obr. 8 Typické spektrum momentové nevyváženosti točivého stroje

Obr. 9 zobrazuje ohnutý hřídel, který způsobuje vysoké axiální vibrace a má tendence k fázovému rozdílu 180° na stejné části stroje. Dominantní vibrace jsou obvykle na frekvenci 1X, pokud je hřídel ohnutý blízko středu. Pokud je ohnutý blízko spojky, tak jsou dominantní vibrace na frekvenci 2X.



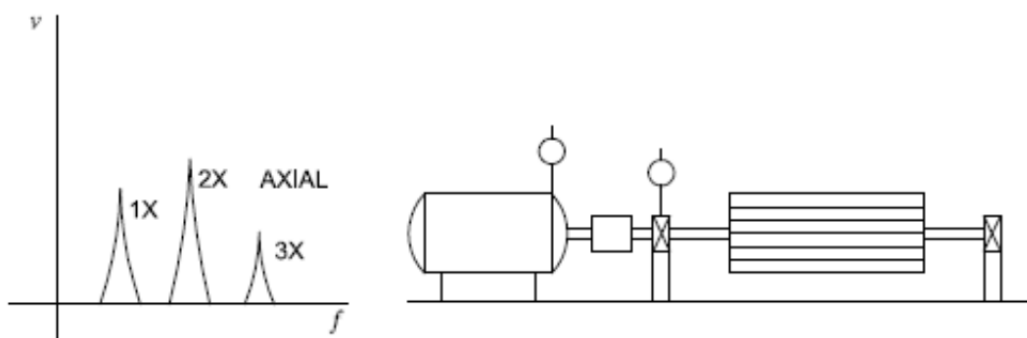
Obr. 9 Typické spektrum ohnuté hřídele točivého stroje

Na obr. 10 je zobrazena nesouosost, která je charakterizována vysokými axiálními vibracemi, po obou stranách spojky fázově posunutými o 180° . axiální vibrace obvykle obsahují vysoké složky 1X a 2X, ale i přesto může některá ze složek 1X, 2X nebo 3X dominovat. Stejně se mohou také projevit problémy spojky.



Obr. 10 Typické spektrum úhlové nesouososti točivého stroje

Obr. 11 poukazuje na radiální nesouosost, je podobná nesouososti úhlové, ale vykazuje vysoké radiální vibrace s fázovým posunutím po obou stranách spojky blíží se 180° . Ve spektru je složka 2X často větší než 1X, ale závisí na konstrukci spojky. Když je úhlová nebo radiální nesouosost příliš velká, pak mohou být generovány buď špičky vysokých amplitud vyšších harmonických frekvencí (4X-8X) nebo i celá řada vysokých harmonických frekvencí.



Obr. 11 Typické spektrum radiální nesouososti točivého stroje

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že pro vyhodnocení stavu stroje nebo soustrojí pomocí jejich naměřených spekter je potřeba kvalifikované a hlavně zkušené obsluhy.

Nejčastějšími závadami, které zvyšují vibrace strojů, jsou:

- nevyváženost rotorů.
- nesouosost spojek, ložisek a převodů,
- mechanické uvolnění,
- poškození valivých ložisek,
- opotřebení převodů,
- zadírání,
- hydraulické a aerodynamické problémy,
- deformace.

5 PRAKTICKÁ MĚŘENÍ

Praktická měření této práce budou probíhat na vybraných strojích v teplárně Červený mlýn v Brně. Diagnostikovat se budou některé točivé stroje a odvaděče kondenzátu.

5.1 Měření vibrací točivých strojů

Pro diagnostiku točivých strojů se nejčastěji používá měření vibrací. Právě vibrace jsou zapříčiněny dynamickým namáháním stroje, a proto se díky nim dá určit objektivní technický stav točivého stroje.

Měření vibrací bylo provedeno na některých čerpadlech a ventilátorech, jak je spolu s vyhodnocením uvedeno v tabulkách níže. Měření vibrací těchto strojů bylo provedeno pomocí přístroje Vibrotest 60.

5.1.1 Vibrotest 60

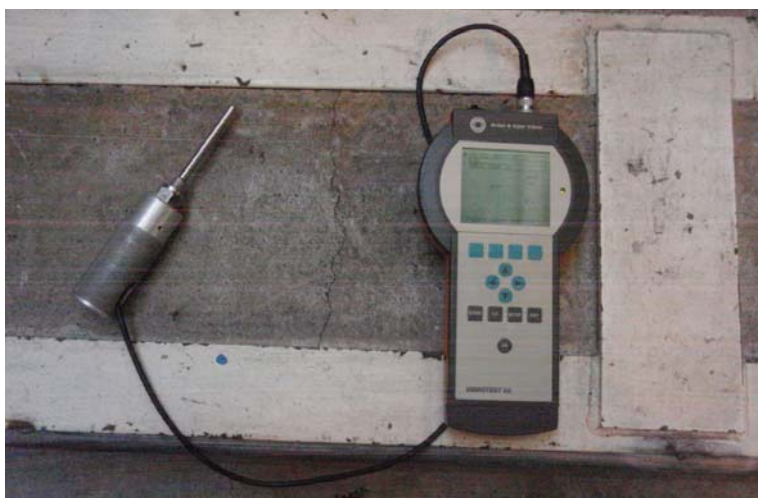
Přístroj Vibrotest 60 (obr. 12) může provádět tyto měřící funkce:

- analyzátor vibrací,
- zařízení pro provozní vyvažování,
- sběrač dat (datasběrač),

a skládá se z následujících částí:

- jednotky displeje, která má rozlišení 160 x 140 pixelů a černobílé rozlišení,
- tlačítkového pole,
- konektorů pro připojení snímačů,
- sady akumulátorů,
- mechaniky pro PC-kartu.

Tento přístroj je určený pro posuzování stavu strojů, přesnou diagnostiku závad a poškození. Dále se používá při plánování a provádění údržby strojů podle jejich skutečného stavu.



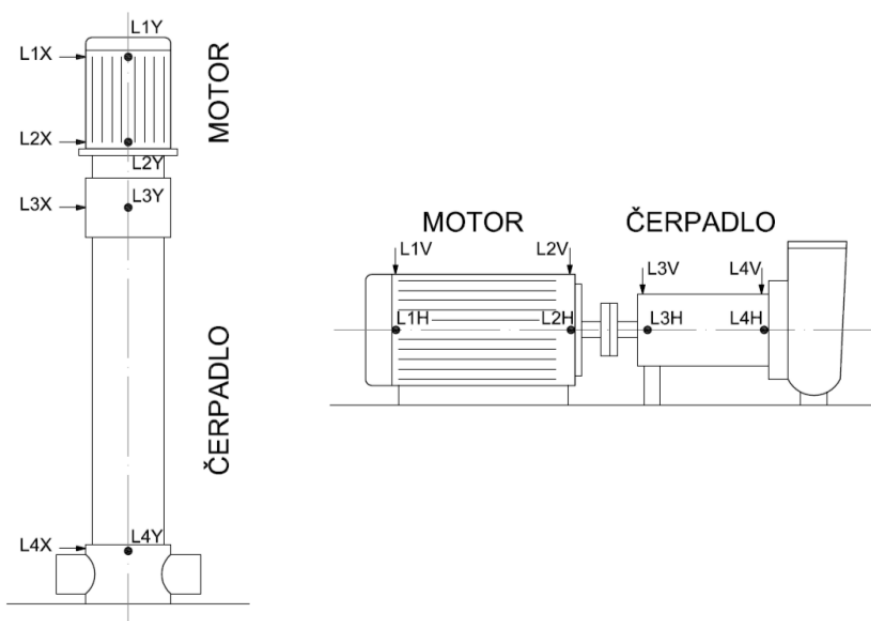
Obr. 12 Měřicí přístroj Vibrotest 60

Přístroj obsahuje několik měřících modulů, při našem měření byl použit modul 6, tedy datasběrač, kdy se naměřená data uloží do paměti PC-karty a můžou být stažena do počítače. Dále se použil také základní modul 1.1 – charakteristické hodnoty pro posuzování strojů.

5.1.2 Vlastní měření

Protože měření vibrací těchto strojů neprobíhá jednorázově, ale opakovaně, byl sestaven seznam kontrolovaných strojů v požadovaném pořadí a před zahájením každého měření je do měřicího přístroje nahrán. Jelikož měření na těchto strojích už v minulosti probíhala, tak se při zahájení měření u každého stroje ukáže poslední naměřená hodnota a aktuální hodnota vibrací a tím je okamžitě vidět, jaká nastala na stroji změna.

Měření se provádí na zaběhlém stroji (při jmenovitých otáčkách) a to vždy na 4 místech, jak ukazuje obr. 13. Aby případné změny vibrací při každém měření stroje byly znatelné, musí se měřit vždy na stejných místech kontrolovaného stroje.



Obr. 13 Vyznačená měřicí místa vertikálních a horizontálních točivých strojů

Na následující fotografii (obr. 14) je přímo vidět vyznačené místo pro vodorovné měření rychlosti vibrací L4H na hlavním olejovém čerpadle.



Obr. 14 Ukázka měřicího místa L4H na konkrétním stroji

K vyhodnocení stavu stroje se podle normy musí z naměřených hodnot použít pouze největší naměřená hodnota rychlosti vibrací.

5.1.3 Vyhodnocení čerpadel

V následující části budou vyhodnocovány stavy čerpadel, která podle normy ČSN ISO 10816-7 spadají do kategorie II, tedy čerpadla pro všeobecné aplikace. Při jejich vyhodnocování se musí znát mezní hodnoty rychlosti vibrací jednotlivých pásem, do kterých se stroje budou zařazovat. Tyto hodnoty jsou uvedeny ve výše uvedené normě a dělí se na pásma A, B, C a D. Dále se také musí brát v úvahu velikost výkonu čerpadel.

V tab. 2 jsou uvedeny hranice jednotlivých pásem pro čerpadla s výkonem vyšším a nižším jak 200 kW, podle které se bude vyhodnocování provádět.

Tab. 2 Mezní hodnoty rychlosti vibrací pro čerpadla

hranice pásem	výkon čerpadla ≤ 200 kW	výkon čerpadla > 200 kW
	rychlost vibrací v (mm/s)	rychlost vibrací v (mm/s)
A/B	3,2	4,2
B/C	5,1	6,1
C/D	8,5	9,5

V tab. 3 jsou vypsána kontrolovaná čerpadla o výkonu větším jak 200 kW, jejich maximální naměřená efektivní hodnota rychlosti vibrací v a vyhodnocení aktuálního stavu.

Tab. 3 Vyhodnocení čerpadel s výkonem vyšším než 200 kW

	měřený stroj	v (mm/s)	stav stroje
1	Velké napájecí čerpadlo č. 1	1,35	A- výborný
2	Velké napájecí čerpadlo č. 2	0,7	A- výborný
3	Oběhové čerpadlo prvního stupně č. 1	2,14	A- výborný
4	Oběhové čerpadlo prvního stupně č. 3	1,74	A- výborný

Rychlost vibrací těchto čtyř čerpadel spadá do pásma A. V tomto pásmu se nejčastěji nacházejí vibrace nových strojů, to tedy znamená, že tato čerpadla jsou ve výborném stavu.

V tab. 4 jsou zaznamenána kontrolovaná čerpadla s výkonem menším jak 200 kW, jejich maximální naměřená efektivní hodnota rychlosti vibrací v a vyhodnocení aktuálního stavu.

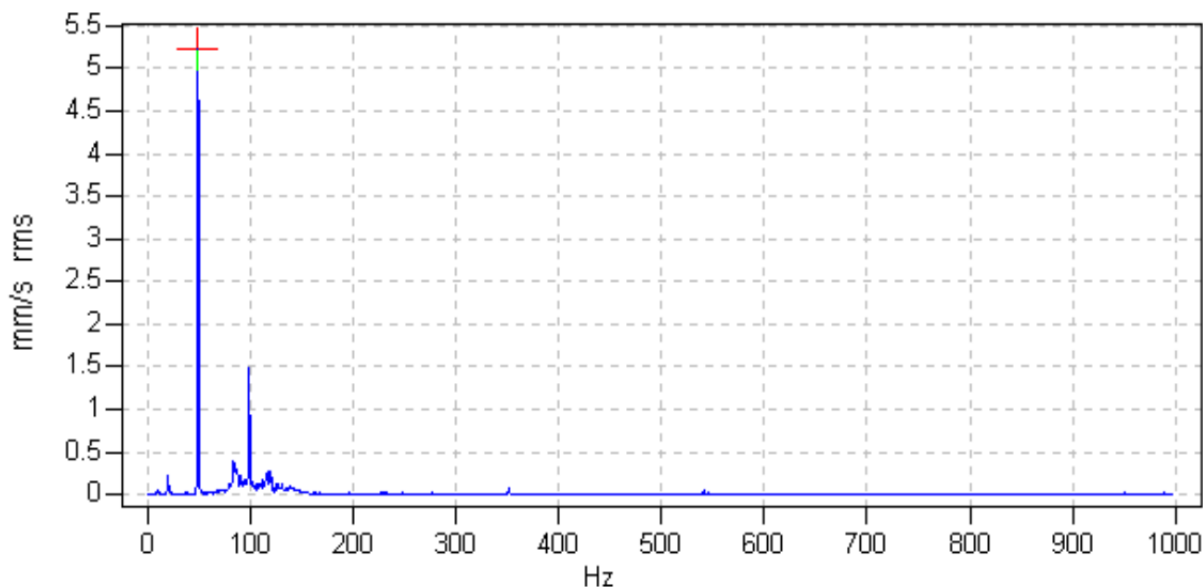
Tab. 4 Vyhodnocení čerpadel s výkonem nižším než 200 kW

	měřený stroj	v (mm/s)	stav stroje
1	Hlavní olejové čerpadlo spalovací turbíny	1,20	A - výborný
2	Malé napájecí čerpadlo č. 1	1,44	A - výborný
3	Malé napájecí čerpadlo č. 2	0,98	A - výborný
4	Velké kondenzátní čerpadlo č. 1	1,31	A - výborný
5	Velké kondenzátní čerpadlo č. 2	0,68	A - výborný
6	Chladicí čerpadlo č. 1	0,96	A - výborný
7	Chladicí čerpadlo č. 2	1,49	A - výborný
8	Čerpadlo regulačního oleje	2,52	A - výborný
9	Oběhové čerpadlo druhého stupně č. 1	0,82	A - výborný
10	Oběhové čerpadlo druhého stupně č. 2	0,90	A - výborný
11	Oběhové čerpadlo druhého stupně č. 3	0,89	A - výborný
12	Čerpadlo chlazení KUP č. 1	1,20	A - výborný
13	Čerpadlo chlazení KUP č. 2	1,77	A - výborný
14	Čerpadlo akumulace č. 1	2,15	A - výborný
15	Čerpadlo akumulace č. 2	1,35	A - výborný
16	Čerpadlo akumulace č. 3	1,30	A - výborný
17	Čerpadlo vloženého okruhu č. 1	1,1	A - výborný
18	Čerpadlo vloženého okruhu č. 2	1,36	A - výborný
19	Čerpadlo vloženého okruhu č. 3	0,97	A - výborný
20	Doplňkové čerpadlo č. 1	1,30	A - výborný
21	Doplňkové čerpadlo č. 2	0,93	A - výborný
22	Recirkulační čerpadlo č. 1	1,65	A - výborný
23	Recirkulační čerpadlo č. 2	2,46	A - výborný
24	Čerpadlo demivody č. 1	4,53	B - dobrý
25	Čerpadlo demivody č. 2	7,60	C - zhoršený

Rychlost vibrací téměř všech těchto čerpadel spadá do pásma A, to tedy znamená, že jsou ve výborném stavu a v nejbližší době nehrozí z hlediska velikosti rychlosti vibrací žádná porucha. Pouze u čerpadel vloženého okruhu č. 2 a č. 3 se objevil od posledního měření mírný nárůst BCU na místech L2, což naznačuje možné budoucí problémy s ložisky.

Rychlost vibrací čerpadla demivody č. 1 se pohybuje v pásmu B. Vibrace jsou zvýšené na otáčkové frekvenci a na druhé harmonické. Čerpadlo s těmito vibracemi je i nadále po neomezeně dlouhou dobu schopné provozu a není potřeba žádných oprav.

Jinak ale dopadlo čerpadlo demivody č. 2, jehož rychlost vibrací se pohybuje v pásmu C. Toto čerpadlo by nadále nemělo být dlouhodobě v trvalém provozu a při nejbližší vhodné době je nutné ho opravit. Na obr. 15 je zobrazeno jeho frekvenční spektrum, jsou zde vidět zvýšené vibrace na otáčkové frekvenci a na druhé harmonické, což může poukazovat na nevyváženost stroje, ale je potřeba zkontrolovat i upevnění a montáž stroje, při čemž mohla nastat nechtěná chyba.



Obr. 15 Frekvenční spektrum čerpadla demivody č. 2

5.1.4 Vyhodnocení ventilátorů

V této kapitole budou vyhodnocovány stavy ventilátorů, které podle normy ČSN ISO 10816-3 patří do strojů skupiny 1, tedy velké stroje se jmenovitým výkonem od 300 kW do 50 MW. Při jejich vyhodnocování se opět musí znát mezní hodnoty rychlosti vibrací jednotlivých pásem, do kterých se stroje budou zařazovat. Tyto hodnoty jsou uvedeny ve výše uvedené normě a dělí se na pásma A, B, C a D.

V tab. 5 jsou uvedeny hranice jednotlivých pásem pro tuhé stroje, podle které se bude vyhodnocování provádět.

Tab. 5 Mezní hodnoty rychlosti vibrací pro ventilátory

hranice pásem	rychlost vibrací v (mm/s)
A/B	2,3
B/C	4,5
C/D	7,1

V následující tabulce (tab. 6) jsou uvedeny kontrolované ventilátory, jejich maximální naměřená efektivní hodnota rychlosti vibrací v a vyhodnocení aktuálního stavu.

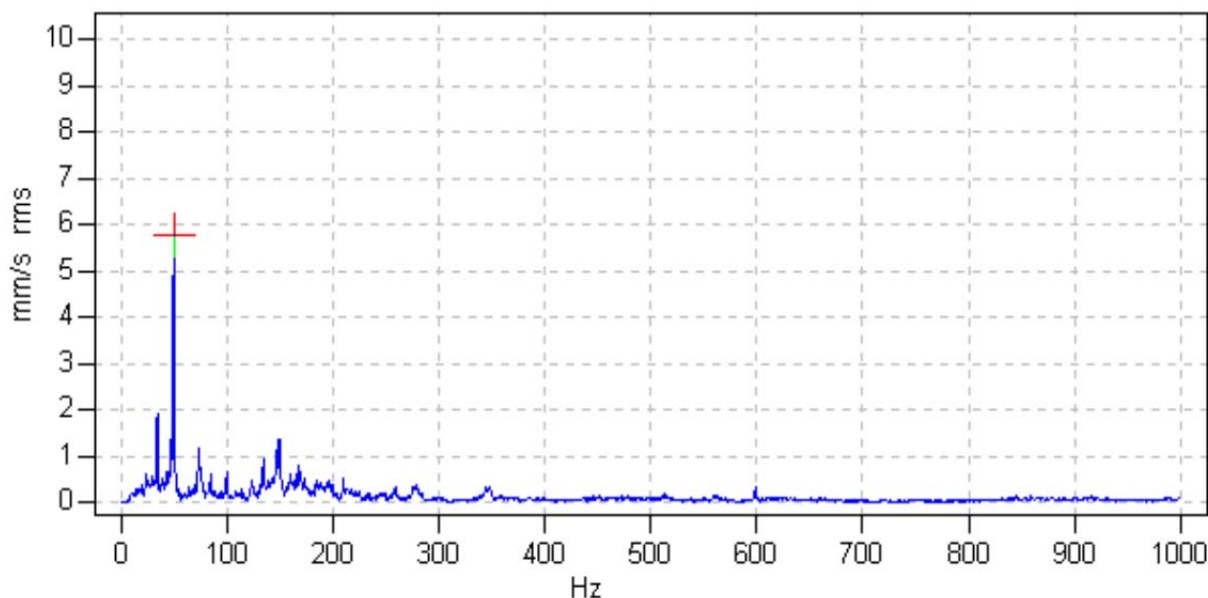
Tab. 6 Vyhodnocení stavu ventilátorů

	měřený stroj	v (mm/s)	stav stroje
1	Ventilátor KUP	2,10	A - výborný
2	Ventilátor horkovodního kotle č. 1	1,29	A - výborný
3	Ventilátor horkovodního kotle č. 1	2,63	B - dobrý
4	Ventilátor horkovodního kotle č. 2	1,64	A - výborný
5	Ventilátor horkovodního kotle č. 2	10,7	D - nevyhovující
6	Těsnící ventilátor vzduchové klapky 02	3,35	B - dobrý
7	Těsnící ventilátor vzduchové klapky 02	4,13	B - dobrý

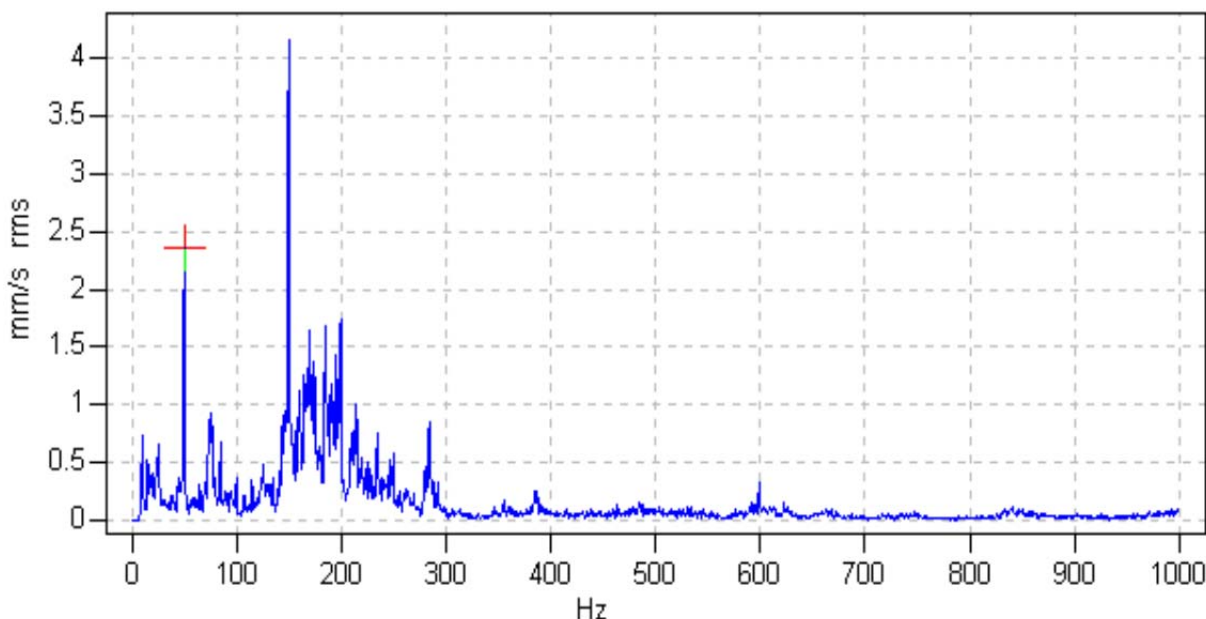
Ventilátory, jejichž stavy spadají do pásma A, jsou ve výborném stavu a v nejbližší době nehrozí z hlediska velikosti rychlosti vibrací žádná porucha.

Další tři ventilátory spadají do pásma B, ty jsou i nadále po neomezeně dlouhou dobu schopné provozu a není potřeba žádných oprav.

Stav ventilátoru horkovodního kotle spadá do pásma D. Stav tohoto stroje může být označen jako nevyhovující a je potřeba, aby byl ihned vyřazen z provozu, jinak by mohlo dojít k jeho poškození či havárii. Na obr. 16 je zobrazeno jeho frekvenční spektrum v místě L1V, kde jsou zvýšené vibrace na otáčkové frekvenci, a na obr. 17 je zobrazeno frekvenční spektrum v místě L2V, kde jsou zvýšené vibrace na otáčkové frekvenci i na 3. harmonické. Spektra poukazují na nevyváženost stroje a zvýšení vůlí.



Obr. 16 Frekvenční spektrum ventilátoru horkovodního kotle v místě L1V



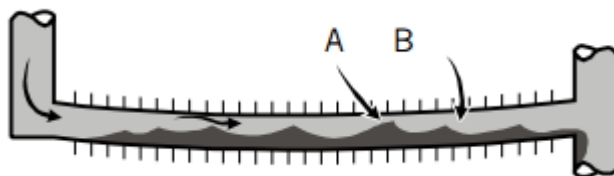
Obr. 17 Frekvenční spektrum ventilátoru horkovodního kotle v místě L2V

5.2 Ultrazvuková diagnostika

Dalšími zařízeními, která se musela kontrolovat, byly odvaděče kondenzátu a ochozové armatury. Odvaděč kondenzátu je ve své podstatě jednoduchý automatický ventil, který je v přítomnosti páry zavřený a pro kondenzát, vzduch a ostatní nekondenzovatelné plyny otevřený. Tyto odvaděče musí splňovat důležité požadavky pro provoz, kterými jsou:

- Přizpůsobení se provozním změnám, když kolísá množství kondenzátu a tlaku.
- Neustálé odvodňování a to beze ztrát páry.

Voda tedy kondenzát, který se nachází na spodní části parního potrubí, může způsobovat vodní rázy. Jak je vidět na obr. 18 ze zdroje [8], tak voda nahromaděná v potrubí se proudící parou vlní a zvedá do výšky - v bodě A je vlna velmi vysoká a brání páře v průchodu, v oblasti B způsobuje tlakové rozdíly, které tvoří tlakové vlny. Veškerá zařízení, která mění směr proudění, mohou být poškozena.



Obr. 18 Vlnění nahromaděného kondenzátu v potrubí

- Odvzdušňovat vzduch a nekondenzovatelné plyny.

Pára proudící potrubím s sebou nese i vzduch a nekondenzovatelné plyny, které tvoří zábranu mezi párou a např. stěnou výměníku. Protože vzduch má výborné izolační vlastnosti, tak zabraňuje přestupu tepla.

Napájecí voda obsahuje mimo jiné i sloučeniny uhlíku – hlavně oxid uhličitý, a ten při smíchání s kondenzátem tvoří kyselinu uhličitou a jak je vidět na obr. 19 vlevo (zdroj [8]),

může silně poškodit potrubí. Obr. 19 vpravo (zdroj [8]) zobrazuje působení kyslíku na potrubí, který způsobuje pitting, neboli bodovou korozi.



Obr. 19 Poškození potrubí kyselinou uhličitou (vlevo) a pittingem (vpravo)

Pokud odvaděč nefunguje, jak má, kondenzát se neodvádí pryč ze systému, tím vznikají ztráty energie, přispívá k erozi potrubí a v nejhorším případě by mohla nastat i havárie, protože kapičky vody se v parním systému pohybují vysokou rychlostí. Nahromaděný kondenzát, který by zaplnil celý průřez potrubí (tzv. vodní zátka), by se pohyboval taktéž vysokou rychlostí a to by mělo destruktivní následky.

Pro diagnostiku odvaděčů kondenzátu se mohou použít různé metody, jakými jsou například kontroly vizuální, teplotní nebo akustické. Avšak nejvýhodnější a zároveň i nejpřesnější a nejpoužívanější diagnostickou metodou je metoda ultrazvuková, protože při proudění páry odvaděčem se v něm vytváří zvuk v nadzvukové (ultrazvukové) oblasti.

Pro ultrazvukovou diagnostiku odvaděčů kondenzátu a armatur byl použit přístroj Vapophone VKP-Ex a infrateploměr Omegascop.

5.2.1 Vapophone VKP-Ex



Obr. 20 Ultrazvukový diagnostický přístroj Vapophone VKP-Ex

Vapophone VKP-Ex, zobrazený na obr. 20 ze zdroje [9], je přenosný ultrazvukový detektor určený ke kontrole parních zařízení, především odvaděčů kondenzátu a armatur.

Tento přístroj je složený z několika částí:

- snímač ultrazvuku,
- vlastní indikační přístroj,
- spojovací kabel,
- nabíjecí akumulátor

a vše je uloženo v kabelce se závěsem pro praktické přenášení při měření mnoha zařízení v provozu.

Snímaná ultrazvuková chvění jsou převedena do elektrických impulzů, které se následně v přístroji zesílí a zobrazí. Přístroj umožňuje měření v rozmezí frekvence 40-60kHz, což je obvyklý rozsah spojený s průchodem páry odvaděčem či potrubím.

5.2.2 Vlastní měření

Před začátkem kontroly odvaděče kondenzátu se musí nastavit citlivost měření. Nejvyšší citlivost je při nastavené hodnotě 10, ale každý typ odvaděče kondenzátu produkuje jiné hladiny ultrazvuku a to i za stejných podmínek, proto se nastavení citlivosti mění podle typu odvaděče. Například pro odvaděče kondenzátu GESTRA řady BK je doporučena hodnota citlivosti 8 a řady MK hodnota citlivosti 7. Avšak vyšší rychlost kondenzátu a vyšší provozní tlaky způsobují vyšší naměřenou hladinu ultrazvuku. Aby se získaly co nejpřesnější hodnoty, používá se v praxi empirická hodnota citlivosti, tedy založená na konkrétních zkušenostech kontrolující osoby s danými odvaděči kondenzátu.

Při kontrolování odvaděčů kondenzátu se špička snímače ultrazvuku přiloží na tělo odvaděče v pravém úhlu, jak je ukázáno na obr. 21 ze zdroje [9]. Při měření odvaděče se musí brát v úvahu ultrazvukové zdroje v blízkosti testovaného odvaděče kondenzátu, které by mohly zkreslovat výsledek měření.



Obr. 21 Správné přiložení měřicí sondy na odvaděč kondenzátu

Měření odvaděčů kondenzátu se provádí pravidelně každý rok, protože, jak už bylo zmíněno, únik páry ze systému mimo jiné snižuje jeho účinnost. Aby byl co nejpřesněji zjištěn rozdíl naměřeného ultrazvukového šumu mezi posledním a aktuálním měřením, musí se vždy snímač přikládat na to samé místo.

5.2.3 Vyhodnocení odvaděčů

V této kapitole budou vyhodnocovány stavy kontrolovaných odvaděčů kondenzátu a ochozových armatur. V tabulkách je vždy uveden typ odvaděče kondenzátu, tlak páry p , teplota kondenzátu před odvaděčem t_{vst} , za odvaděčem t_{vys} a poslední sloupec VAP je hodnota měření ultrazvukového šumu. Pokud je odvaděč kondenzátu v pořádku, tak se hodnota VAP pohybuje od hodnoty 10,1 výše. Pokud je hodnota nižší, tak ze zařízení pára uniká - čím nižší hodnota, tím větší únik páry.

Převážná většina kontrolovaných odvaděčů kondenzátu byly termické bimetalové řady BK od firmy GESTRA. Tyto odvaděče jsou odolné vůči vodnímu rázu a zamrznutí, jsou vhodné pro přehřátou páru, disponují automatickým odvzdušněním, montovat se mohou horizontálně i vertikálně, mají nerezové vnitřní díly a údržba je možná bez demontáže z rozvodů páry.

Tab. 7 Naměřené hodnoty odvaděčů kondenzátu řady BK 15 a armatur

	název umístění odvaděče	typ odvaděče	tlak páry p (bar)	vstupní teplota t_{vst} (°C)	výstupní teplota t_{vys} (°C)	VAP
1	OK NT páry regul. odběru	BK 15 DN 25 PN 40	12	169	87	10,4
	1 ochozová arm.				32	10,1
2	OK NT páry za najížděcím expandérem	BK 15 DN 25 PN 40	10	29	27	10,1
	1 ochozová arm.				26	10,1
3	OK NT páry z BGT ventilu základního ohříváku	BK 15 DN 25 PN 40	10	165	69	10,3
	1 ochozová arm.				75	10,3
4	OK NT páry z BGT ventilu špičkového ohříváku	BK 15 DN 25 PN 40	10	164	96	10,5
	1 ochozová arm.				83	10,4
5	OK NT páry centrálního zástupu teplem do PČM	BK 15 DN 40 PN 40	10	162	87	10,4
6	OK NT páry centrálního zástupu teplem do PČM	BK 15 DN 40 PN 40	10	168	81	10,3
	1 společná ochozová arm.				10,4	9,2
7	OK NT páry centrálního zástupu teplem z PČM	BK 15 DN 25 PN 40	10	167	105	9,3
	1 ochozová arm.				36	10,1
8	OK NT páry rozdělovače	BK 15 DN 40 PN 40	9	148	85	10,4
9	OK NT páry rozdělovače	BK 15 DN 40 PN 40	9	151	89	10,4
	1 společná ochozová arm.				37	10,1
10	OK odluhu u spalínového kotle	BK 15 DN 25 PN 40		25	24	10,1
	1 ochozová arm.				21	10,1
11	OK NT páry ze spalínového kotle na rozdělovač	BK 15 DN 25 PN 40	9	157	92	10,4
	1 ochozová arm.				79	10,3

Odvaděče kondenzátu v tab. 7 na pozicích č. 1 a č. 11 jsou tepelně izolovány. Je nutné, aby izolace z odvaděčů byla odstraněna.

Společná ochozová armatura odvaděčů kondenzátu na pozicích č. 5 a č. 6, s hodnotou VAP 9,2, vykazuje nízký únik páry. Pokud by pára unikala dál i po zabroušení sedla této armatury, musela by se armatura vyměnit.

Dále bylo zjištěno, že odvaděč kondenzátu na pozici č. 7 podchází. Bude tedy nutná jeho výměna za typ s vyšším provozním tlakem, tedy za odvaděč BK 45 DN 25 PN 45.

Tab. 8 Naměřené hodnoty odvaděčů kondenzátu řady BK 28 a armatur

	název umístění odvaděče	typ odvaděče	tlak páry p (bar)	vstupní teplota t_{vst} (°C)	výstupní teplota t_{vys} (°C)	VAP
1	OK NT páry ner. odběru z PT	BK 28 DN 25 PN 100	10	104	65	10,3
	1 ochozová arm.				38	10,1
2	OK NT ucpávkové páry za regulačním ventilem	BK 28 DN 25 PN 100	10	95	76	10,2
	1 ochozová arm.				81	10,2
3	OK NT ucpávkové páry před regulačním ventilem	BK 28 DN 25 PN 100	10	159	87	10,4
	1 ochozová arm.				56	10,3
4	OK turbínové skříně za 1. nosičem	BK 28 DN 25 PN 100	83	196	96	10,5
	1 ochozová arm.				72	10,3
5	OK turbínové skříně za 2. nosičem	BK 28 DN 25 PN 100	10	161	92	10,4
	1 ochozová arm.				33	10,1
6	OK dýzové komory NT	BK 28 DN 25 PN 100	6	158	91	10,4
	1 ochozová arm.				47	10,2
7	OK převodního vyrovnávacího pístu	BK 28 DN 25 PN 100	6	142	89	10,4
	1 ochozová arm.				81	10,3
8	OK NT nosiče lopatek	BK 28 DN 25 PN 100	6	103	87	10,4
	1 ochozová arm.				76	10,3

V tab. 8 jsou všechny kontrolované odvaděče kondenzátu zcela v pořádku a nevykazují žádný únik páry.

Mezi kontrolovanými odvaděči v následující tab. 9 byl zjištěn jeden velký únik páry a to u odvaděče na pozici č. 5 s hodnotou VAP 6,4. Kvůli stejné poruše byl u tohoto odvaděče vyměněn termoregulátor, ale závada se stále opakuje, proto by měl být vyměněn celý odvaděč kondenzátu za stejný typ.

Dále je odvaděč kondenzátu na pozici č. 4 také tepelně izolován a je nutné izolaci co nejdříve odstranit.

Tab. 9 Naměřené hodnoty odvaděčů kondenzátu řady BK 29 a armatur

	název umístění odvaděče	typ odvaděče	tlak páry p (bar)	vstupní teplota t_{vst} (°C)	výstupní teplota t_{vys} (°C)	VAP
1	OK VT páry za hlavním uzávěrem páry	BK 29 DN 25 PN 160	83	247	93	10,5
	1.ochozová arm. – el. ventil				35	10,1
	2.ochozová arm. – el. ventil				34	10,1
2	OK VT páry před hlavním uzávěrem páry	BK 29 DN 25 PN 160	83	231	82	10,4
	1.ochozová arm. – el. ventil				33	10,1
	2.ochozová arm. – el. ventil				31	10,1
3	OK VT páry před hlavním uzávěrem páry	BK 29 DN 25 PN 160	83	223	86	10,4
	1.ochozová arm.				101	10,6
	2.ochozová arm.				76	10,3
4	OK za VT redukční stanicí pod BGT ventilem	BK 29 DN 25 PN 160	83	221	85	10,4
	1.ochozová arm.				66	10,3
	2.ochozová arm.				61	10,2
5	OK VT ucpávkové páry před regulačním ventilem	BK 29 DN 25 PN 160	83	281	204	6,4
	1.ochozová arm. – el. ventil				32	10,1
	2.ochozová arm. – el. ventil				30	10,1
6	OK VT ucpávkové páry za regulačním ventilem	BK 29 DN 25 PN 160	83	94	85	10,2
	1 ochozová arm.				33	10,1
7	OK ventilové komory PT	BK 29 DN 25 PN 160	83	238	91	10,4
	1.ochozová arm. – el. ventil				30	10,1
	2.ochozová arm. – el. ventil				29	10,1
8	OK za regulačním stupněm PT	BK 29 DN 25 PN 160	83	225	94	10,5
	1 ochozová arm.				85	10,4

V poslední tabulce hodnocených odvaděčů kondenzátu (tab. 10) se nachází více typů těchto zařízení. Jedním typem jsou plovákové odvaděče kondenzátu řady UNA od firmy GESTRA, u kterých funkčnost nezávisí na protitlaku a teplotě kondenzátu, mají kontinuální odvodnění i při výkyvech tlaku a množství, mají malou citlivost na nečistoty, žádné ztráty páry a údržba je bez demontáže z rozvodů páry.

Dalším typem je termický odvaděč kondenzátu s regulační membránou MK 45-1 s tandemovým uzávěrem (dvojitě těsnění), které jsou vhodné pro menší množství kondenzátu, odolné proti korozi a chráněné proti vodnímu rázu, mají lapač kalu a integrovanou zpětnou pojistkou. Odvaděč kondenzátu lze montovat v libovolné poloze.

Posledním typem je odvaděč KOMO 3L, který je podle zdroje [12] složený ze dvou částí vyrobených z oceli se zaručenou pevností a svařitelností, mezi kterými je membrána z vysoce kvalitního, elastického, teplovzdušného a neprodyšného materiálu. Materiál membrány je

odolný vůči běžným organickým a anorganickým chemikáliím. Obě části, mezi kterými je membrána, jsou k sobě přitahovány pomocí šroubů. Matice na šroubech jsou při výrobě dotahovány momentovým klíčem. Nad membránou, v misce, je expanzní kapalina, která tlakem páry řídí činnost odvaděče. Odvaděč je vybavený štěrbinovým lapačem nečistot.

Tab. 10 Naměřené hodnoty zbylých odvaděčů kondenzátu a armatur

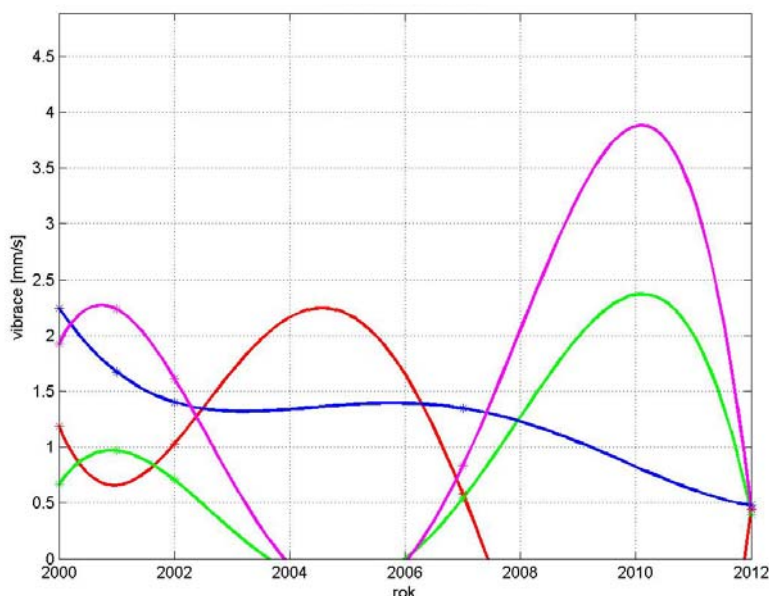
	název umístění odvaděče	typ odvaděče	tlak páry p (bar)	vstupní teplota t_{vst} (°C)	výstupní teplota t_{vys} (°C)	VAP
1.	OK VT redukční stanice - rozdělovač	UNA 25h DN 50 PN 40	12	166	85	10,4
2.	OK za VT redukční stanicí - rozdělovač	UNA 25h DN 50 PN 40	12	160	81	10,4
	1 společná ochozová arm.				58	10,2
3.	OK před parním uzávěrem	MK 45-1 DN 25 PN 40	9	162	98	10,5
	1 ochozová arm.				91	10,4
4.	OK nad regulační stanicí	KOMO 3L DN 25 PN 40	10	161	86	10,4
	1 ochozová arm.				82	10,3
5.	NT kotel – 1.uzavíratelná arm.				81	10,2
6.	NT kotel – 2.uzavíratelná arm.				33	10,1
7.	NT kotel – 1 uzavíratelná arm.				67	10,2
8.	OK potrubí parního polštáře	BK 45 DN 25 PN 40		156	98	10,4
	1 ochozová armatura				86	10,3

Tyto kontrolované odvaděče kondenzátu nevykazovaly při ultrazvukové diagnostice žádný únik páry ani jiný problém.

6 SPOLEHLIVOST ČERPADEL

Tato kapitola se bude věnovat spolehlivosti vybraných čerpadel z provozovny Červený mlýn v Brně. Provedena bude analýza dlouhodobě získávaných hodnot naměřených rychlostí vibrací na některých čerpadlech a pro oběhová čerpadla prvního stupně a napájecí čerpadla budou sestaveny křivky jejich spolehlivosti, opět podle dodaných dat.

Vibrace čerpadel byly měřeny od roku 2000 a nebyly měřeny pravidelně, vždy podle potřeby. Jak bylo již zmíněno v předchozí kapitole, tak hodnoty vibrací se měří vždy na stejných čtyřech místech čerpadla. Hodnoty vibrací těchto čtyř míst každého hodnoceného čerpadla byly vyneseny do grafu a jejich aproximace byla provedena pomocí programu Matlab. Graf na obr. 22, je ukázkou, jak vypadají aproximace dodaných hodnot.



Obr. 22 Aproximace vibrací

Je vidět, že výsledné funkce jsou velmi nepřehledné a nedá se z nich odhadnout, jak se bude stav stroje do budoucna vyvíjet. Z tohoto důvodu se nakonec pro lepší vyhodnocení použilo lineární proložení naměřených dat, tedy trend.

6.1 Oběhová čerpadla prvního stupně

Oběhová čerpadla prvního stupně jsou v PČM instalována tři, v provozu jsou vždy dvě a jedno je v záloze. Tato čerpadla mají otáčky řízené pomocí frekvenčního měniče a provozní otáčky se pohybují od 600 do 1 600 min^{-1} a průtok mají 287 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$.

Oběhová čerpadla prvního stupně jsou konstruována horizontálně a jsou spolu s poháněcím elektromotorem umístěny na společné základové desce. Hydraulická část je tvořena oběžným kolem s těsníci kruhy, které je uloženo na společné hřídeli čerpadla a kozlíku. Oběžné kolo má odlehčovací otvory, které snižují axiální zatížení ložisek kozlíku. Tři z těchto otvorů mají závit, aby se do nich nechal uchytit přípravek určený k demontáži oběžného kola z hřídele. Hřídel je v místě mechanické ucpávky chráněn pouzdrem a to je ze strany ucpávky těsněno „O“-kroužkem. Do spirály opatřené těsnícím kruhem je vložena mezistěna s těsnícím kruhem, škrťacím pouzdrem a středícím kolíkem, aby se mezistěna mohla uložit do pracovní polohy. Mezistěna je opatřena chladicí komorou, která se uzavírá víkem s „O“-kroužky.

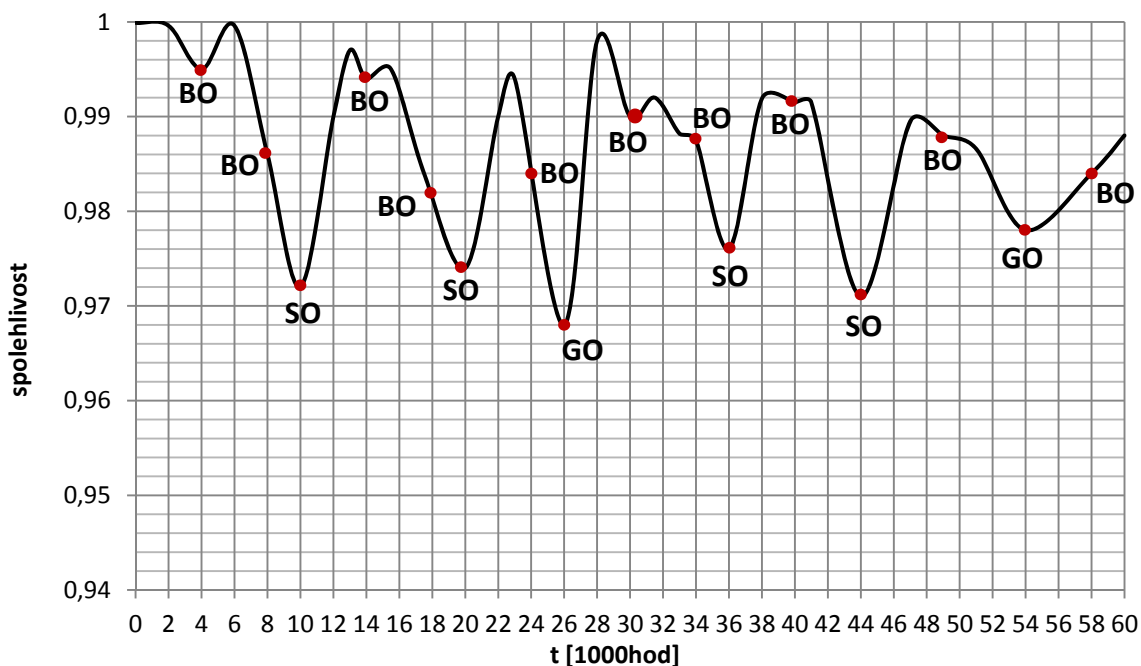
Preventivní údržba oběhových čerpadel prvního stupně je založena pouze na kontrole těsnosti zařízení a na kontrole množství oleje pro ložiska, která by měla probíhat alespoň jednou týdně. Výměna oleje je prováděna po 4 000 provozních hodinách.

Při plánovaných odstávkách se u těchto čerpadel provádí několik druhů oprav. Do běžných oprav (BO) patří právě zmíněná výměna oleje. Dále probíhají střední opravy (SO), kdy je potřeba vyměnit těsnící kruhy a tyto výměny by měly probíhat každých 10 000 provozních hodin. Při probíhající SO probíhá zároveň i BO. Nejrozsáhlejší plánovanou opravou je generální oprava (GO), která by měla probíhat po každých 25 000 provozních hodinách. Při této opravě se předpokládá kompletní výměna rotoru, všech těsnících kruhů, ložisek a ucpávek. Samozřejmostí je výměna oleje.

Obecně lze říci, že opravy jsou závislé na důležitosti zařízení, způsobu chodu daného stroje a dalších možných náznaků, které by vykazovaly, že je se strojem něco v nepořádku. Obchůzky kolem zařízení v PČM se provádějí pětkrát za směnu, a proto jsou případné odlišnosti od normálního chodu včas rozpoznány a odstraněny.

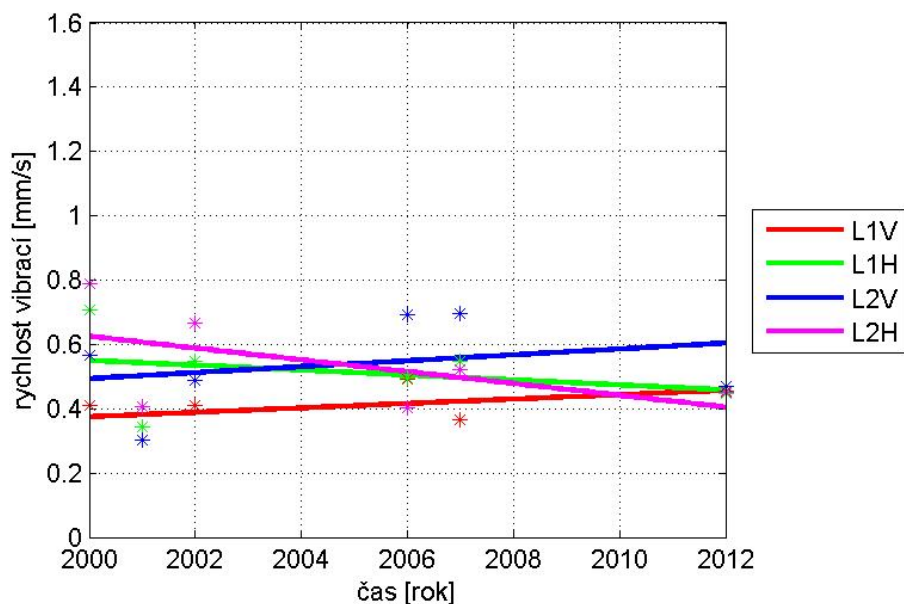
Následně budou zobrazeny trendy vynesných dodaných hodnot z měření vibrací každého oběhového čerpadla a jejich spolehlivostní křivka.

Následující graf na obr. 23 zobrazuje křivku spolehlivosti oběhového čerpadla prvního stupně, vytvořenou pomocí získaných dat. Je vidět, že vždy po SO nebo GO se spolehlivost čerpadla zvýší, ale nikdy už nemůže dosáhnout stoprocentní spolehlivosti.



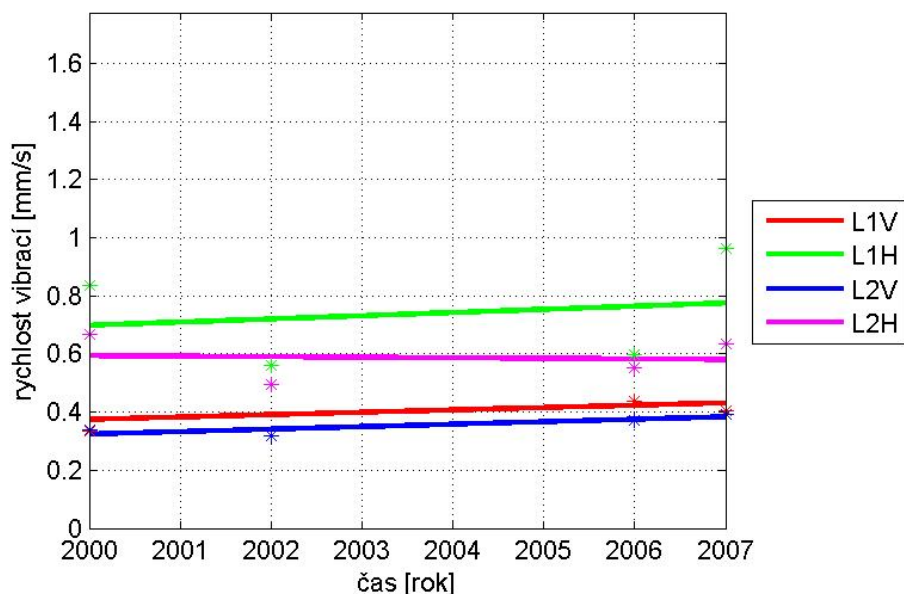
Obr. 23 Křivka spolehlivosti oběhového čerpadla prvního stupně

Graf na obr. 24 zobrazuje trend vibrací oběhového čerpadla prvního stupně č. 1 ve všech čtyřech měřicích místech. Je vidět, že ve dvou místech se vibrace zvyšují a ve zbylých dvou místech klesají. Jelikož naměřené hodnoty vibrací nepřekročily ani $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, dá se usuzovat, že je čerpadlo velmi dobře udržováno. Díky preventivní údržbě a veškerým, ať už malým nebo generálním, opravám se vibrace nezvyšují ani nad mezní hodnotu pásma A, tedy pásma, kdy jsou stroje ve výborném stavu.



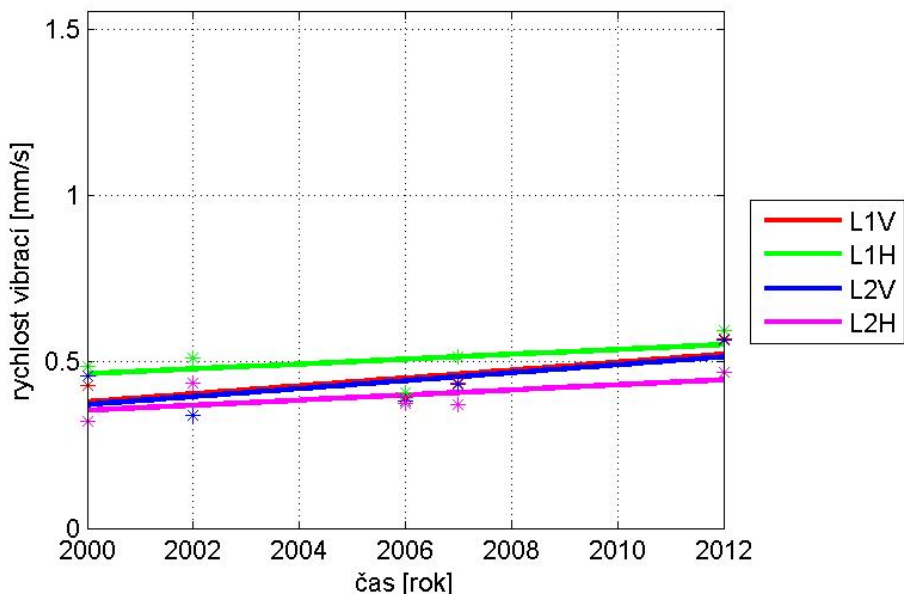
Obr. 24 Trend vibrací oběhového čerpadla prvního stupně č. 1

Graf na obr. 25 zobrazuje trend vibrací oběhového čerpadla prvního stupně č. 2. Je vidět, že ve všech měřících místech se vibrace zvyšují pouze mírně. Ale opět, vnesené hodnoty vibrací nepřekročily ani $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ z toho se dá usuzovat, že je čerpadlo velmi dobře udržováno. Díky veškerým, opravám či pouhé preventivní údržbě se vibrace nezvyšují nad žádnou mezní hodnotu. U tohoto čerpadla budou v tomto roce provedeny výměny všech ložisek u čerpadla i u poháněcího motoru, dynamické vyvážení rotoru, a srovnání sousosti pomocí laseru.



Obr. 25 Trend vibrací oběhového čerpadla prvního stupně č. 2

Graf na obr. 26 zobrazuje trend vibrací oběhového čerpadla prvního stupně č. 3. Je vidět, že ve všech měřících místech se vibrace zvyšují pouze mírně. Ale opět, vnesené hodnoty vibrací nepřekročily ani $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ z toho se dá usuzovat, že je čerpadlo velmi dobře udržováno. Díky veškerým, opravám či pouhé preventivní údržbě se vibrace nezvyšují nad žádnou mezní hodnotu.

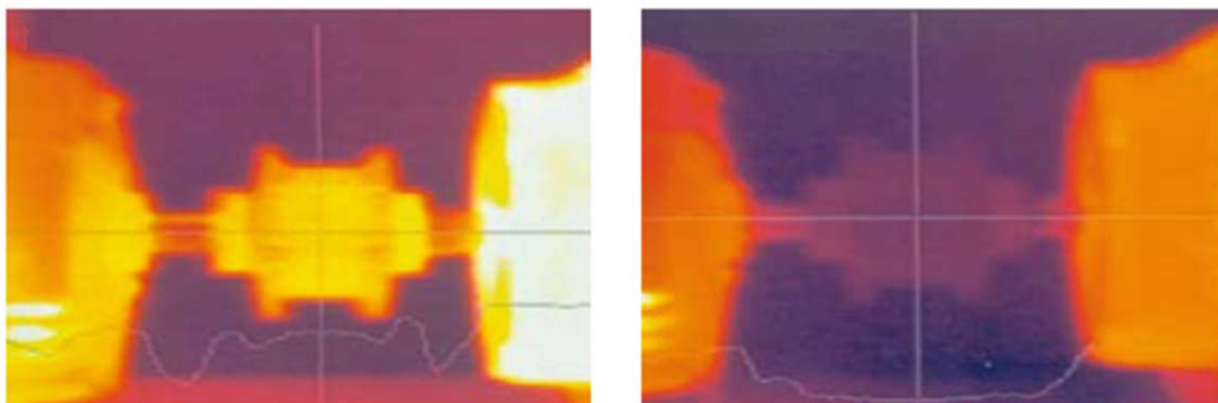


Obr. 26 Trend vibrací oběhového čerpadla prvního stupně č. 3

U tohoto čerpadla byly v roce 2012 provedeny výměny všech ložisek u čerpadla i u poháněcího motoru, dynamické vyvážení rotoru, a srovnání sousostí pomocí laseru.

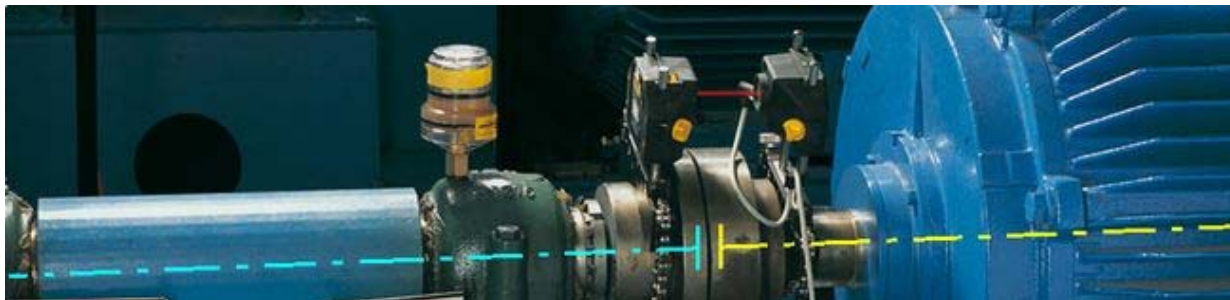
Vyvážení rotoru probíhá tak, že se nejprve změří vibrace a otáčky stroje. Na určená měřicí místa se umístí snímače a provede se úvodní měření a základní analýza vibrací. Nyní se už do vyvažovací roviny umisťují různá zkušební závaží a provádí se potřebný počet kontrolních měření. Po nalezení nejvhodnějších zkušebních závaží, která jsou schopná stroj vyvážit, se provede jemné dovyvážení a poté se už upevní vyvažovací závaží. Po tomto kroku je nutné ověřit, že provedené vyvážení bylo úspěšné a to závěrečným měřením vibrací.

Srovnání sousostí (ustavení os) dvou a více strojů se provádí, když je potřeba docílit toho, aby osy vzájemně spojených strojů byly stejné. Špatné ustavení způsobuje vysoké teploty ložisek a spojek a tím jejich předčasné opotřebení, nadměrné vibrace a může také dojít k uvolňování kotevních šroubů. To vše způsobuje vyšší náklady na provoz a údržbu strojů a snižování spolehlivosti. Na obr. jsou fotografie pořízené termovizí ze zdroje [26]. Na obr. 27 vlevo je patrné značné oteplení stroje, jehož ustavení není v tolerančních mezích, nezahřívá se pouze spojka, ale celý stroj, hlavně v oblasti ložisek. Obr. 27 vpravo je stroj ustavený přesně, nebo v povolených mezích.



Obr. 27 Zahřívání stroje při nesprávném a správném ustavení stroje

Dříve se pro srovnání sousosti používala průměrná pravítka nebo úchylkoměry, nyní se používá laser. Metoda měření sousosti laserem je rychlá, snadná a spolehlivá. Před začátkem měření se namontují držáky laseru na hřídele, které se budou ustavovat a je potřeba nastavit laser do středu detektoru, jak ukazuje obr. 28 ze zdroje [25]. Posléze se do přístroje napojeného na detektor zadají rozměry stroje a zvolí se patky stroje, se kterými se bude hýbat (většinou patky motoru). Provede se měření a výsledek se zobrazí na displeji přístroje a ukáže, jaké se mají pro srovnání sousosti provést korekce.



Obr. 28 Srovnávání sousosti pomocí laseru

6.2 Velká napájecí čerpadla

Velká napájecí čerpadla jsou v provozovně Červený mlýn instalována dvě a jedno je vždy v záloze. Tato čerpadla mají otáčky $2\,980\text{ min}^{-1}$ a průtok $24\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

Tato čerpadla jsou konstruována jako horizontální, članková a mají vyrovnávací zařízení axiálního tahu. Čerpadlo se skládá ze sacího a výtlačného tělesa, mezi kterými jsou zasazeny jednotlivé stupně. Hřídel je uložena v radiálních kluzných ložiskách, které jsou mazané brodicím kroužkem v olejové náplni a ta je chlazená vodou z cizího zdroje. V přírubách ložiskových konzol jsou umístěné stavěcí šrouby, kterými se dorovnává poloha rotoru vůči statoru. Ucpávky jsou měkké šňůrové a chlazené opět vodou z cizího zdroje.

Preventivní údržba napájecích čerpadel je založena na dotahování ucpávek, aby z nich voda neustále neprosakovala. Ucpávky se dotahují za provozu a to stejnoměrně všemi šrouby. Pokud voda neukapává, musí se ucpávka povolit, pokud teče, musí se utáhnout. Tato kontrola by se měla provádět alespoň jednou týdně.

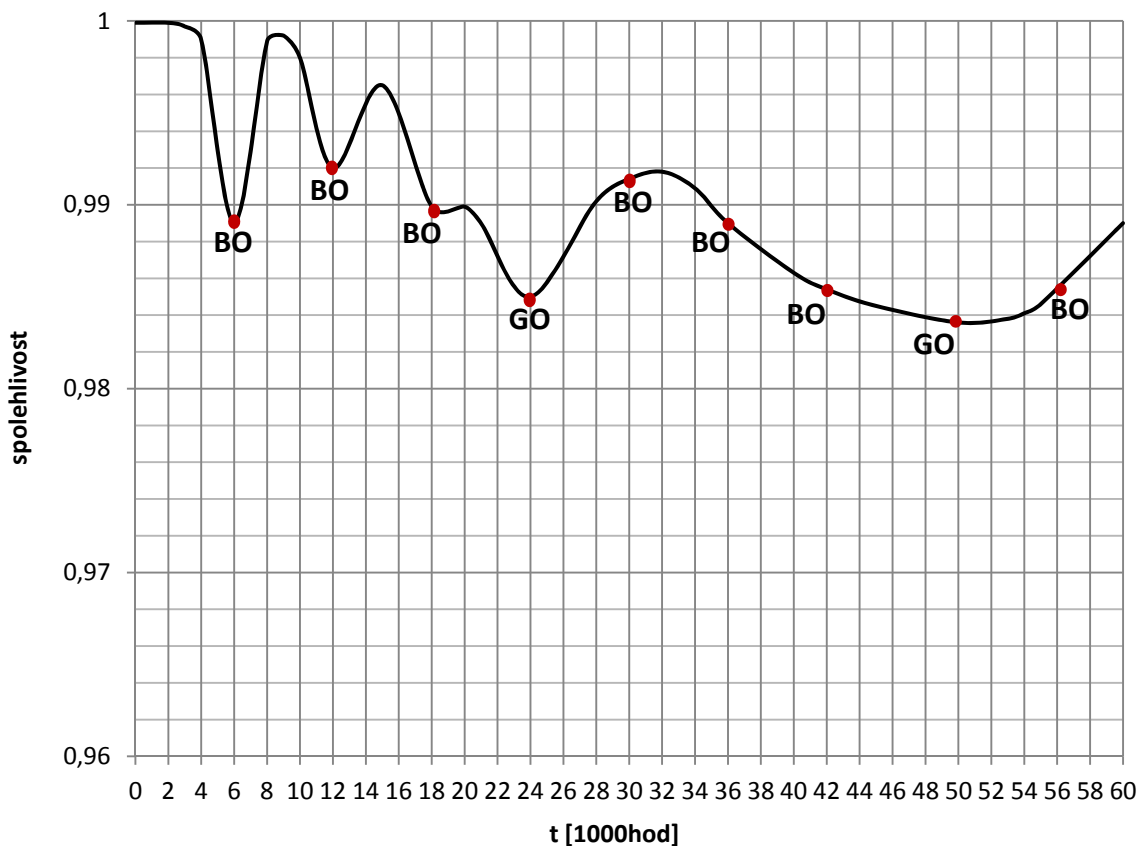
Pravidelná výměna oleje napájecích čerpadel se má provádět vždy po 2 000 provozních hodinách. U těchto čerpadel mezi běžné opravy (BO) patří výměna ucpávkových šňůr, která by se měla provádět jednou ročně. Střední opravy (SO) se zde nepředpokládají, protože je téměř shodná s GO. Doba mezi dvěma GO je 25 000 provozních hodin a předpokládá se kompletní výměna rotoru, výměna všech těsnících kruhů a těsnění, kompletní ucpávky a ložisek.

Ale jak už bylo zmíněno u výše uvedených čerpadel, tak doby SO respektive GO jsou brány spíše orientačně, záleží na aktuální situaci, která je několikrát denně kontrolována, a na provedených diagnostických zkouškách, protože veškeré opravy jsou finančně velmi nákladné.

Dále budou zobrazeny trendy dodaných hodnot z měření vibrací obou napájecích čerpadel a jejich spolehlivostní křivka.

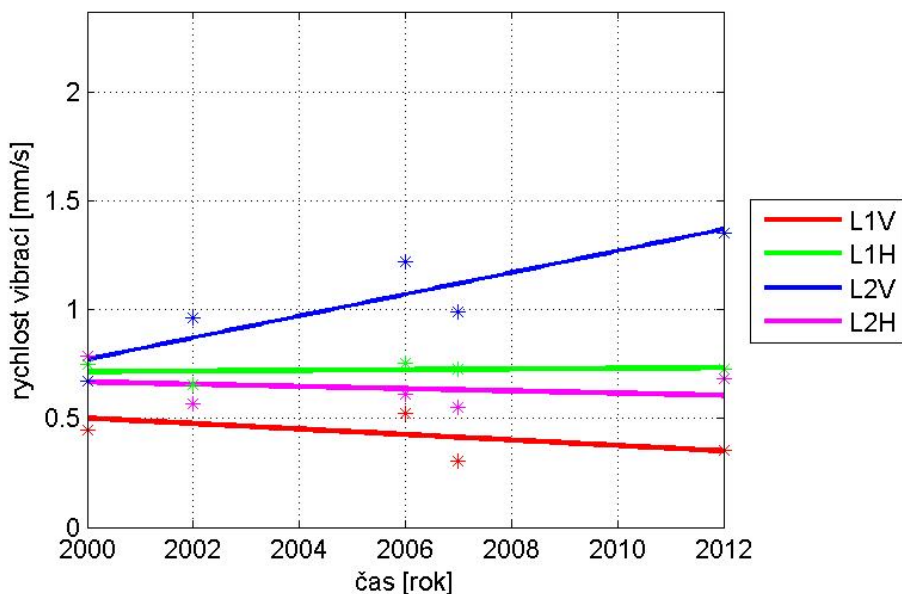
Následující graf na obr. 29 zobrazuje křivku spolehlivosti napájecího čerpadla, vytvořenou pomocí získaných dat. Je vidět, že vždy po GO se spolehlivost čerpadla zvýší, ale nikdy už nemůže dosáhnout stoprocentní spolehlivosti. Lze předpokládat, že pokud budou i nadále

dodržovány předpisy údržby a naplánovaných oprav, tak životnost čerpadel bude řádově v několika statisících provozních hodin.



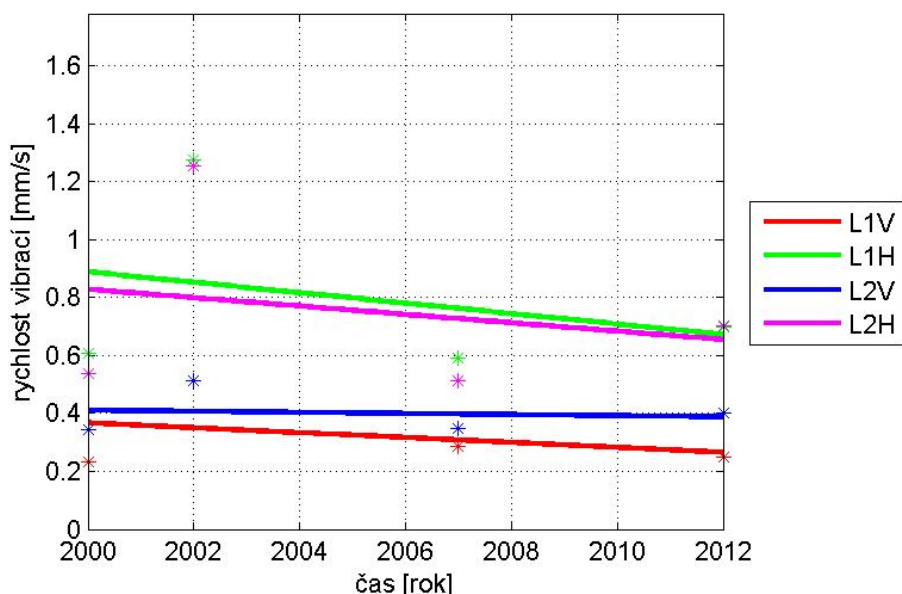
Obr. 29 Křivka spolehlivosti velkého napájecího čerpadla

Tento graf (obr. 30) zobrazuje trend vibrací napájecího čerpadla č. 1. Je vidět, že vibrace nepřekročily žádnou mezní hodnotu, ale v jednom měřícím místě se zvyšují. Pokud by zvyšování vibrací pokračovalo i přes plánované GO, mohlo by to poukazovat na poruchu v hydraulické části čerpadla, ale to by se muselo potvrdit diagnostikou.



Obr. 30 Trend vibrací napájecího čerpadla č. 1

Následující graf na obr. zobrazuje trend vibrací napájecího čerpadla č. 2. Je vidět, že vyskytující se vyšší vibrace se snižují a při posledním měření se pohybovaly kolem hodnoty $0,6 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, což je hodnota nízká a nepoukazuje do budoucna na žádné komplikace.

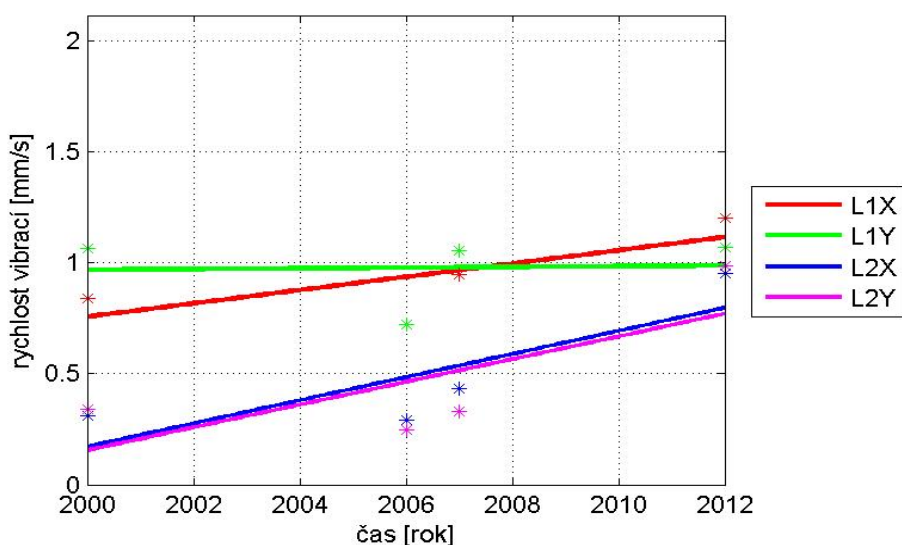


Obr. 31 Trend vibrací napájecího čerpadla č. 2

6.3 Další vybraná čerpadla

V této kapitole budou zobrazeny trendy vibrací některých čerpadel a budou podle nich naznačeny možné stavy do budoucna.

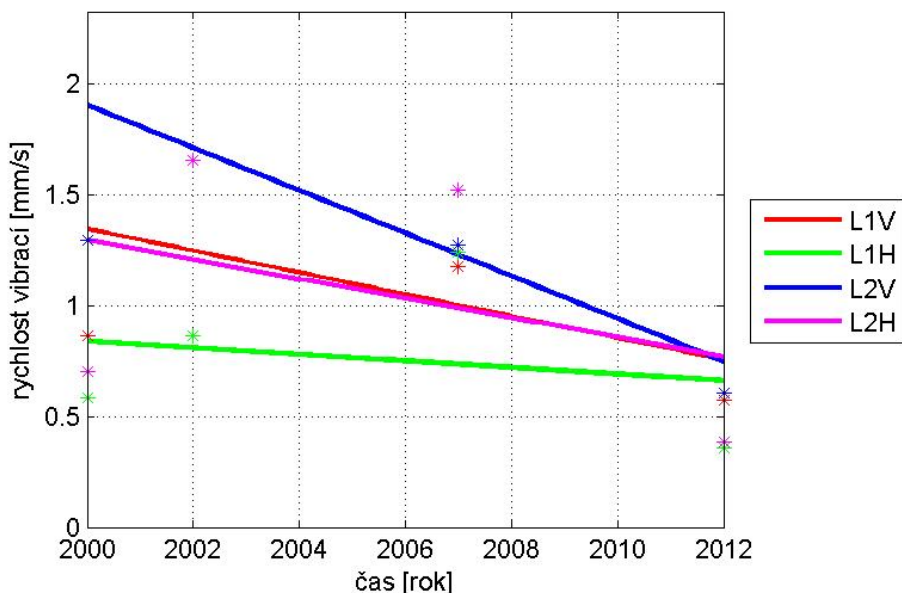
Na následujícím grafu (obr. 32) je zobrazen trend vibrací hlavního olejového čerpadla spalovací turbíny. Je vidět, že vibrace se ve všech čtyřech měřících místech zvyšují. I když se zvyšují pouze mírně, může to poukazovat na blížící se opravu. Nicméně z tohoto grafu vyplývá, že čerpadlo je velmi dobře udržováno.



Obr. 32 Trend vibrací hlavního olejového čerpadla spalovací turbíny

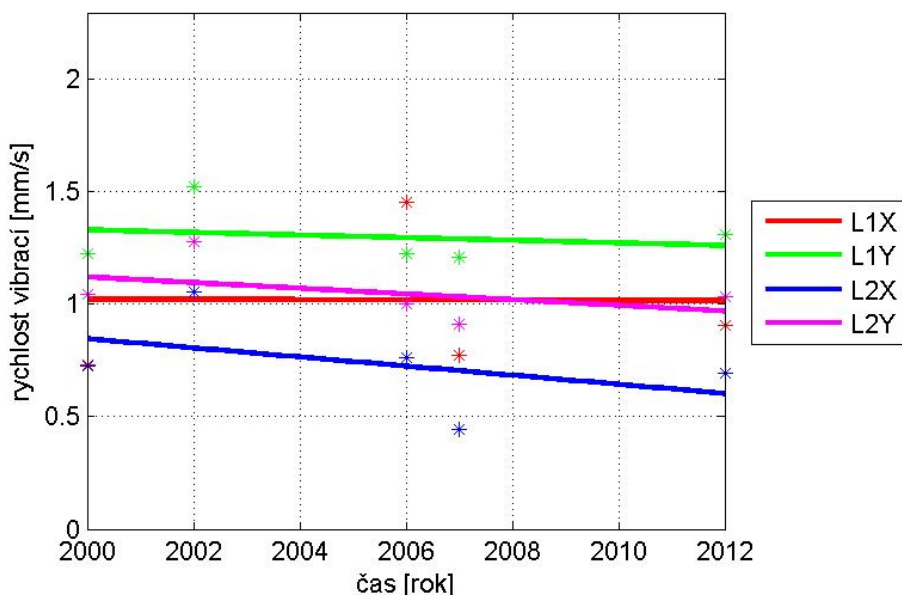
Na následujícím grafu (obr. 33) je zobrazen trend vibrací malého napájecího čerpadla č. 2. Zde je vidět, že se rychlost vibrací snižuje. Vyšší vibrace mohly být způsobeny při instalaci čerpadla a díky veškerým, ať už malým nebo generálním, opravám se vibrace snižovaly a nyní

se pohybují kolem hodnoty $0,6 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, což je hodnota nízká a nepoukazuje do budoucna na žádné komplikace.



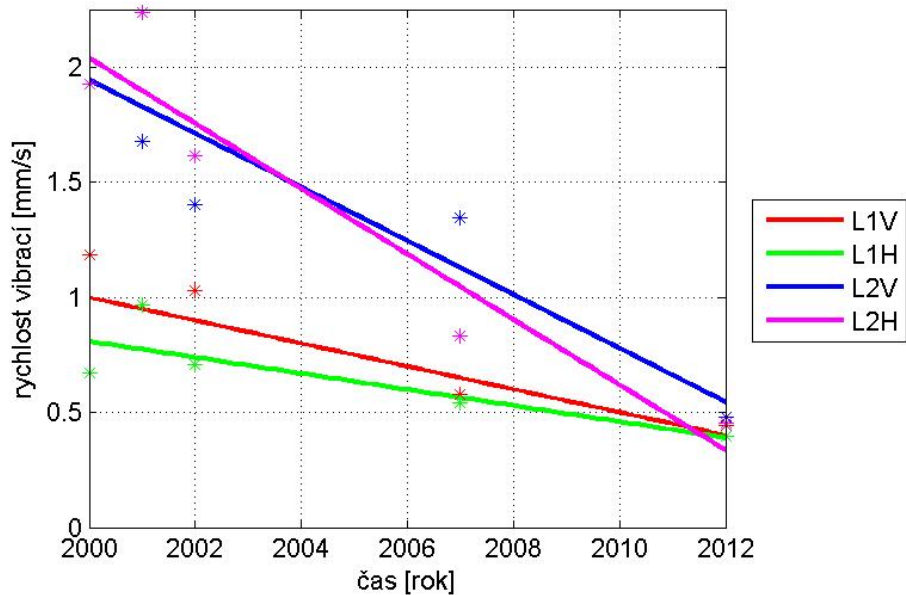
Obr. 33 Trend vibrací malého napájecího čerpadla č. 2

Následující graf na obr. 34 zobrazuje trend vibrací velkého kondenzátního čerpadla č. 2. Je vidět, že vibrace se mírně snižují, což naznačuje, že plánované opravy plní svůj účel a vibrace čerpadla se pohybují na nízkých hodnotách, a do budoucna to nepoukazuje na žádné komplikace, které by se daly pomocí vibrodiagnostiky určit.



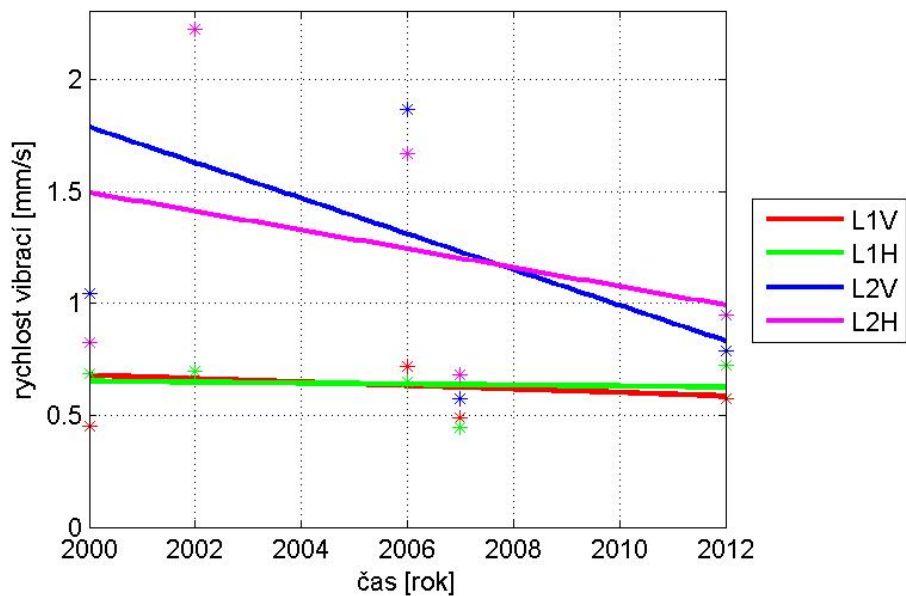
Obr. 34 Trend vibrací velkého kondenzátního čerpadla č. 2

Na následujícím grafu (obr. 35) je zobrazen trend vibrací chladicího čerpadla č. 1. Je vidět, že se rychlost vibrací snižuje. Vyšší vibrace mohly být způsobeny, stejně jako u kondenzátního čerpadla č. 2, při instalaci čerpadla a díky veškerým, ať už malým nebo generálním, opravám se vibrace snižovaly a nyní se pohybují kolem hodnoty $0,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, což je hodnota nízká a nepoukazuje do budoucna na žádné komplikace.



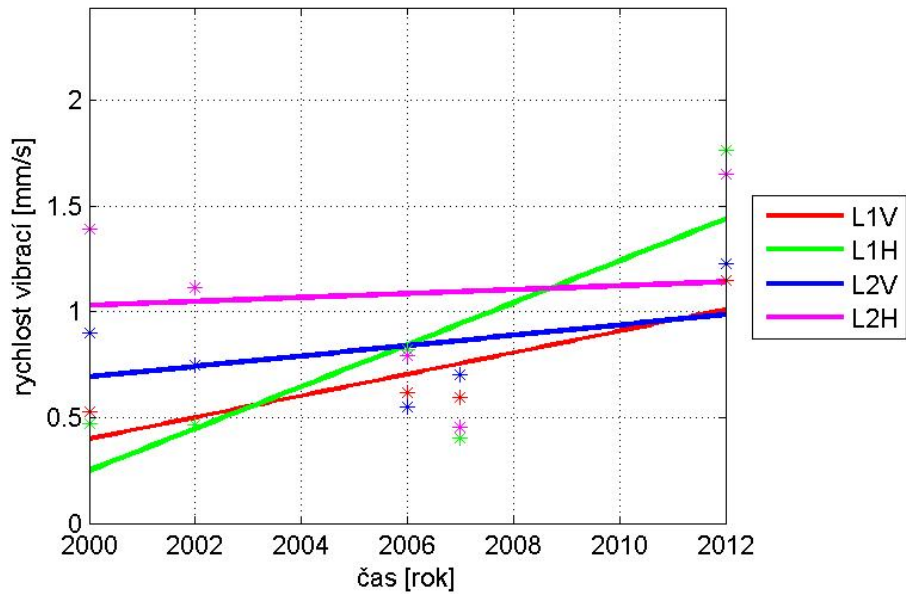
Obr. 35 Trend vibrací chladicího čerpadla č. 1

Na následujícím grafu (obr. 36) je zobrazen trend vibrací chladicího čerpadla č. 2. Je vidět, že se rychlost vibrací snižuje, téměř stejným trendem, jako u chladicího čerpadla č. 1, jen se nyní vibrace pohybují kolem hodnoty $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, což je stále hodnota nízká a nepoukazuje do budoucna na žádné komplikace.



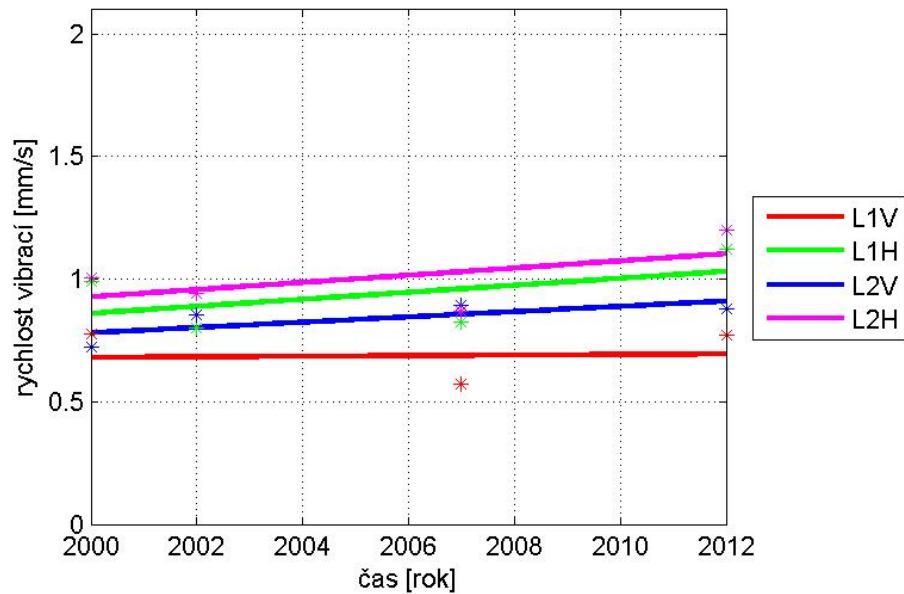
Obr. 36 Trend vibrací chladicího čerpadla č. 2

Tento graf (obr. 37) zobrazuje trend vibrací čerpadla chlazení KUP č. 2. Je vidět, že vibrace nepřekročily žádnou mezní hodnotu, ale i přes plánované GO se stále zvyšují, což by mohlo při pokračujícím zvyšujícím se trendu poukazovat na poruchu v hydraulické části čerpadla, ale to by se muselo potvrdit diagnostikou.



Obr. 37 Trend vibrací čerpadla chlazení KUP č. 2

Tento graf (obr. 38) zobrazuje trend vibrací čerpadla chlazení KUP č. 1. Je vidět, že vibrace nepřekročily žádnou mezní hodnotu a zvyšují se pomalým trendem. Při posledním měření se vibrace pohybovaly kolem hodnoty $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, což je stále hodnota nízká a nepoukazuje do budoucna na žádné komplikace.



Obr. 38 Trend vibrací čerpadla chlazení KUP č. 1

7 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá spolehlivostí a technickou diagnostikou vybraných strojních zařízení v teplárně Červený mlýn v Brně.

V první části práce je popsána obecná spolehlivost zařízení. V rámci spolehlivosti jsou zde uvedeny časté poruchy strojních zařízení, příčiny jejich vzniku a rozebrána je vanová křivka zařízení, která vykresluje průběh intenzity poruch zařízení a závislosti na čase. Dále je stručně uvedena spolehlivost soustav, tedy funkčně propojených zařízení, která pracují jako jeden celek např. teplárny a elektrárny, a možné zvyšování jejich spolehlivosti.

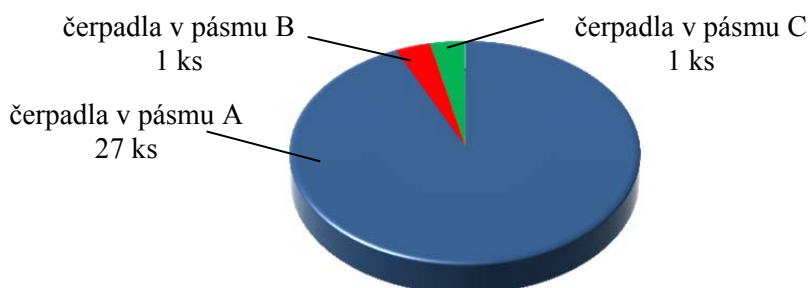
Další část práce se věnuje technické diagnostice, která patří k nejdůležitějším oborům používaných v jakémkoliv technickém provozu. V prvním kroku se musí zvážit, jestli je ekonomická diagnostika daného zařízení provést, jestli nebude dražší než oprava nebo dokonce výměna celého zařízení. To vše záleží i na důležitosti konkrétního zařízení. Pokud by jeho havárie mohla způsobit velké hospodářské škody nebo dokonce ztráty životů, tak je použití některé z vhodných diagnostických metod nevyhnutelné. Díky technické diagnostice se dá předejít haváriím i rozsáhlým poškozením důležitých zařízení. Včasné rozpoznání začínající poruchy a zajištění její nápravy má kromě bezpečnostních důvodů hlavně důvody ekonomické.

V rámci technické diagnostiky jsou zde uvedeny některé její metody, které se používají v teplárenské praxi. Jsou jimi termodiagnostika, tribodiagnostika, ultrazvuková diagnostika a diagnostika vířivými proudy. Samostatná kapitola se věnuje vibrodiagnostice, protože je velmi rozsáhlá a v praxi velmi rozšířená.

Praktickou částí práce bylo určení vhodných diagnostických metod pro točivé stroje a odvaděče kondenzátu v teplárně Červený mlýn v Brně a jejich aplikace na ně.

Nejvhodnější diagnostickou metodou pro točivé stroje byla zvolena vibrodiagnostika, protože vibrace rotujících strojů jsou velmi úzce vázány s jejich dynamickým namáháním, souvisí s nevyvážeností, nesouosostí, se stavem ložisek, opotřebením atd., proto se sledováním vibrací dá určit objektivní technický stav točivých strojů.

Měření vibrací bylo provedeno přístrojem Vibrotest 60 a kontrolovány byly některé ventilátory a čerpadla. Jak názorně ukazuje výšečový graf (obr. 39), tak z celkových 29 kontrolovaných čerpadel se jich 27 nacházelo v pásmu A a po jednom kusu v pásmu B a C.

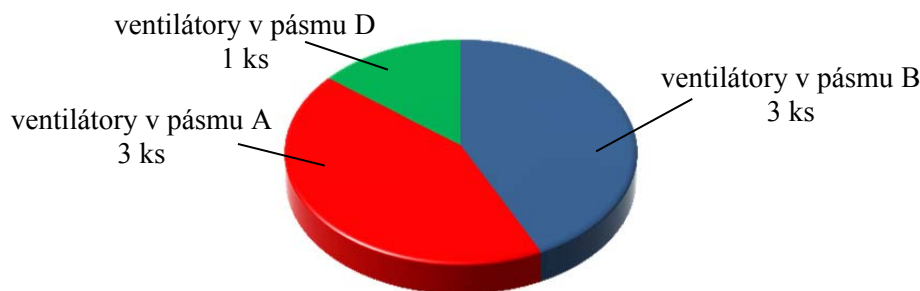


Obr. 39 Graf celkového zhodnocení kontrolovaných čerpadel

Čerpadla a ventilátory, jejichž stav se nachází v pásmu A jsou ve výborném technickém stavu a nepoukazují na žádné komplikace. Zařízení v pásmu B jsou technicky v pořádku a jsou nadále po neomezenou dobu schopné provozu. Jedno čerpadlo se při měření nacházelo

v pásmu C, nemělo by tedy být dlouhodobě v provozu a při nejbližší vhodné době je nutné ho opravit. Z jeho frekvenčního spektra se dá usuzovat na nevyváženost stroje či chybné upevnění a montáž.

Na dalším grafu (obr. 40) je vidět, že ze sedmi kontrolovaných ventilátorů se tři nacházejí v pásmu A, tři v pásmu B a jeden v pásmu D. Ventilátor, který se nachází v pásmu D, by měl být vyřazen z provozu, jinak by mohlo dojít k jeho poškození.

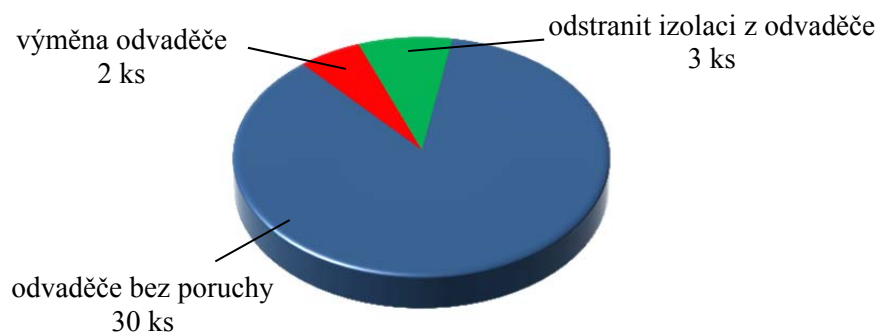


Obr. 40 Graf celkového zhodnocení kontrolovaných ventilátorů

Ventilátory, jejichž stav se nachází v pásmu A jsou ve výborném technickém stavu a nepoukazují na žádné komplikace. Zařízení v pásmu B jsou technicky v pořádku a jsou nadále po neomezenou dobu schopné provozu. Stav jednoho ventilátoru patří do pásma D, což je nevyhovující stav a je potřeba, aby byl ihned vyřazen z provozu, jinak by mohlo dojít k jeho vážnému poškození. Frekvenční spektra poukazují na nevyváženost stroje a zvýšení vůlí.

Pro diagnostiku odvaděčů kondenzátu se mohou použít různé metody, jakými jsou například kontroly vizuální, teplotní nebo akustické. Avšak nejvýhodnější a zároveň i nejpřesnější a nejpoužívanější diagnostickou metodou je metoda ultrazvuková, protože při proudění páry odvaděčem se v něm vytváří zvuk v nadzvukové (ultrazvukové) oblasti.

Při kontrole odvaděčů kondenzátu byl použit ultrazvukový přístroj Vapophone VKP-Ex. Jak ukazuje výsečový graf (obr. 41), tak bylo kontrolováno celkem 35 odvaděčů kondenzátu z toho bylo 30 odvaděčů bez poruchy, dva odvaděče kondenzátu je potřeba vyměnit a ze tří je potřeba odstranit tepelnou izolaci.



Obr. 41 Graf celkového zhodnocení kontrolovaných odvaděčů kondenzátu

Ačkoliv se zdá, že odvaděč kondenzátu je na první pohled nepodstatné zařízení, není tomu tak. Jak ukazuje zdroj [28], tak americká firma, zkoumající ve svém provozu finanční důsledky poruch odvaděčů kondenzátu, zjistila, že únik 44 kg páry za hodinu, při ceně páry 10 \$ za 454 kg páry (1 000 liber) může znamenat zvýšení nákladů až o 8 500 \$ za rok a to pro jediný odvaděč.

Poslední část práce se zabývá vyhodnocením naměřených hodnot vibrací některých čerpadel. Data byla získávána od roku 2000 do současnosti. Pomocí programu Matlab byly hodnoty vyneseny do grafů a aproximovány. Nakonec byla zvolena lineární aproximace, která vyjadřuje pouze trend hodnot vibrací, pomocí nichž jsou stroje analyzovány. Je zhodnocen jejich dlouhodobý stav a možný náhled do budoucnosti z pohledu velikostí vibrací a spolehlivosti, pomocí dodržování preventivní údržby a plánovaných oprav. Pro oběhová čerpadla prvního stupně a velká napájecí čerpadla jsou sestaveny i spolehlivostní křivky.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Vdoleček, F., *Spolehlivost a technická diagnostika* [online]. 2002 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=vdole%C4%8Dek%20spolehlivost%20a&source=web&cd=1&cad=rja&sqi=2&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fautnt.fme.vutbr.cz%2Fflab%2Fa1-731a%2FFSD.pdf&ei=rzebUZzRAc3ltQaO7oGQCQ&usq=AFQjCNEA6IsTPYM60LbAsIrVbvUV3WzVEg>
- [2] Mentlík, V., Pihera, J., Polanský, R., Prosr, P., Trnka, P. *Diagnostika elektrických zařízení*. Praha: Nakladatelství BEN- technická literatura, 2008, 439 stran. ISBN 978-80-7300-232 - 9
- [3] Kreidl, M., Šmíd, R. *Technická diagnostika*. Praha: Nakladatelství BEN- technická literatura, 2006, 406 stran. ISBN 80-7300-158-6
- [4] Liška, M., Sládek, Z. *Spolehlivost a technická diagnostika*. Nakladatel Rektorát vysokého učení technického v Brně, 1989, 146 stran. ISBN 80-214-1047-7
- [5] Malec, Z. *Technická diagnostika*. Nakladatelství VUT v Brně, 1991, 10 stran, ISBN 80-214-0322-5
- [6] Hlavička, J. *Diagnostika a spolehlivost*. Nakladatelství ČVUT, Praha, 1998, 5 stran. ISBN 80-01-01846-6
- [7] ESOS Ostrava s.r.o.: Efektivní starost o Vaše stroje. *Vibrodiagnostika* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.diagnostikastroju.cz/vibrodiagnostika.php>
- [8] SAGE ENERGO a.s.: Armstrong. *Jak odvádět kondenzát* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.sage.cz/armstrong/traps/jak/N_101_cz.pdf
- [9] GESTRA. *Vapophone VKP 10: Operating Instructions 818427-00* [online]. 2003 [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: http://www.ramseyer.ch/dokumentation/ka/betr_vkp10_e.pdf
- [10] G-team. *Vapophone VKP-Ex* [online]. [cit. 2013-02-21]. Dostupné z: http://www.g-team.cz/pdf/kl/1_37_kl_vkp-ex.pdf
- [11] Zuth, D., Vdoleček, F. Automa. Možnosti a problémy moderní (vibro)diagnostiky [online]. 2009, roč. 2009, č. 10 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39703
- [12] D a D Plumlov: Odvaděče kondenzátu. *ODVADEČ TYP KOMO 3L* [online]. 2004 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/ddpl/KOMO%203L.htm>
- [13] NDT resource center. *NDT Method Summary* [online]. [cit. 2013-04-22] Dostupné z: <http://www.ndt-ed.org/GeneralResources/MethodSummary/MethodSummary.htm>
- [14] Brüel & Kjaer Vibro. Technická dokumentace - Vibrotest 60. Poskytnuto na vyžádání od firmy Brüel & Kjaer
- [15] TSI System s.r.o. Řízení a údržba průmyslového podniku. Ultrazvuková kontrola odvaděčů kondenzátu [online]. 2010 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artykuly/artykul/article/ultrazvukova-kontrola-odvadecu-kondenzatu/>
- [16] Pošta, J. Řízení a údržba průmyslového podniku. *Diagnostické metody – základ preventivní údržby podle technického stavu* [online]. 2012 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artykuly/artykul/article/diagnosticke-metody-zaklad-preventivni-udrby-podle-technickeho-stavu/>

- [17] G-team. *Odvaděč kondenzátu bimetalový* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.g-team.cz/pdf/kl/1_05_kl_bk37_bk28_bk29.pdf
- [18] Šroub, J. *TDK Metoda vířivých proudů* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=metoda%20v%C3%AD%C5%99iv%C3%BDch%20proud%C5%AF&source=web&cd=2&sqj=2&ved=0CDMQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.cdm.cas.cz%2Fczech%2Fhora%2Fvyuka%2Ftdk%2Fsem2004%2FEC_SROUB.doc&ei=9BOQe7LCI3VsgbnoICgDA&usg=AFQjCNHbJgi0-3VP2Rcz5SK6lFW2OHdw1Q
- [19] Kubeš, I. *Diagnostika vodivých materiálů vířivými proudy* [online]. Praha, 2010 [cit. 2013-05-21]. Bakalářská práce. ČVUT. Dostupné z: http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/zaverecne_prace/BP_2010_Kubes_locked.pdf.
- [20] Termovize. *Kontrola tepelných rozvodů-Ukázky termovizních snímků*. [online]. 2008 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.termovize.com/ukazky-kontrola-tepelnych-rozvodu/>
- [21] TSI Systém s.r.o. Techmagazín. *Ultrazvuková diagnostika - tlakových rozvodů, ventilů, mechanických a elektrických zařízení* [online]. 2011 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/104>
- [22] NDT servis. *Elektromagnetické metody (ET,RFT,BIAS a MFL)* [online]. 2012 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.ndtservis.cz/web/index.php/cz/nedestruktivni-zkouseni/elektromagneticke-metody-et-mfl>
- [23] Podklady dodané z PČM. Diagnostika vibrací. Předpisy pro údržbu čerpadel.
- [24] Křivohlavý, J. Technická diagnostika. *Vyvažování rotorů* [online]. 2012 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.technicka-diagnostika.cz/vy vazovani.html>
- [25] Křivohlavý, J. Technická diagnostika. *Ustavování laserem* [online]. 2012 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://jan.krivohlavy.cz/ustavovani-laserem>
- [26] Lami Kappa. *Ustavování a geometrická měření* [online]. 2012 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.lamikappa.cz/ustavovani-a-geometricka-mereni-3/>
- [27] G-team. *Odvaděč kondenzátu plovákový* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.g-team.cz/pdf/kl/1_18_kl_una23_25_26.pdf
- [28] Philips, K. Řízení a údržba průmyslového podniku. *Hlídejte si ztráty páry v odlučovačích kondenzátu* [online]. 2009 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.udrzba-cspu.cz/images/casopis_rizeni_udrzba/rizeni-udrzba-04.pdf
- [29] ČSN ISO 10816 *Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech*. Praha: Český normalizační institut, 1998