

RNDr. Ondrej Valent CSc.

Ing. Miloš Galád

Ing. Ľubomír Kačmár

TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA 1

TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA 1

© Condition Monitoring and Maintenance Systems

Zbraslavská 22/49, 15900 Praha 5

Tel: 00420 251812449

00420 602 304878

E-mail: cmms@cmms.cz

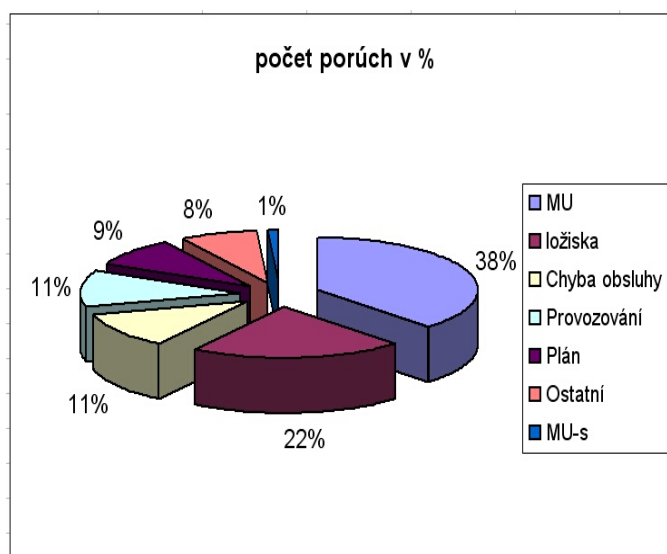
www.cmms.cz

Obsah:

1. Postavenie technickej diagnostiky v proaktívnej údržbe	3
1.1 Rozdiely pracovísk v personálnom obsadení	3
1.2 Rozdiely jednotlivých pracovísk v prístrojovom vybavení	3
1.3 Aktuálny stav údržby rotačných strojov v podnikoch	4
1.4 Ako ďalej?	7
1.5 Záverom	9
2. Ustavování Geometrie Strojů	10
2.1 Ustavovanie strojov v praxi	13
2.2 Ustavovanie hriadeľov	14
3. Vibračná diagnostika	22
3.1 Vibrácie (amplitúda a frekvencia)	23
3.2 Celkové vibrácie	23
3.3 Vyjadrenie amplitúdy signálu	24
3.4 Analýza FFT spektier	25
3.5 Meracie miesta ložísk	26
3.6 Meranie celkových (Overall) vibrácií	28
3.7 Trendovanie celkových hodnôt vibrácií	28
3.8 Vplyv dynamického zaťaženia na trvanlivosť ložísk	29
3.9 Monitorovanie ložísk	30
3.10 Frekvencia rázového budenia poškodeného ložiska	31
3.11 Spektrálne Emitovaná Energia (SEE)	32
3.12 Obáľková metóda	33
3.13 Technická diagnostika	34
3.14 Detekcia a analýza	34
4. Tribotechnická diagnostika	36
4.1 Metody tribotechnickej diagnostiky	36
4.2 Odběr vzorku	36
4.3 Hodnocení olejů	37
4.4 Hodnocení čistoty olejů v provozu velkých točivých strojů	39
4.5 Návrh kontroly olejových náplní v provozu velkých točivých	41
4.6 Tabulka pravděpodobnosti nebezpečí poruch	42
4.7 Prodlužování životnosti funkčních uzlů v závislosti na čistotě oleje	43

1. POSTAVENIE TECHNICKEJ DIAGNOSTIKY V PROAKTÍVNEJ ÚDRŽBE

Medzi údržbou strojov a ľudskou medicínou je veľmi krásna paralela. Údržbárska dielňa pre opravu strojov je analógiou nemocnice pre ľudí. Údržbári sú lekári strojov. Ako je rozdiel medzi jednotlivými nemocnicami, je rozdiel aj medzi jednotlivými údržbárskymi dielňami. Rozdiel je v úrovni personálu a v prístrojovom vybavení. Tieto rozdiely výrazne ovplyvňujú kvalitu opráv alebo liečenia pacientov. Pacient buď sa uzdraví alebo zomrie. Stroj po oprave buď pobeží niekoľko rokov bez poruchy, alebo havaruje priebehom niekoľko hodín alebo minút.



Obr. 1 Typické rozdelenie opráv v podniku

1.1 Rozdiely pracovísk v personálnom obsadení

Je veľký rozdiel medzi fakultnou nemocnicou, kde vedomosti personálu sú na špičkovej úrovni a okresnou nemocnicou. Obdobne je veľký rozdiel v práci údržbárov, ktorí majú len základné vedomosti, nemajú praktické skúsenosti a medzi údržbou, ktorá je neustále vychovaná a používa najmodernejšie poznatky, skúsenosti a odporúčania výrobcov zariadenia.

Lekári sa učia aj na základe pitiev a kontrolujú svoje hypotézy a výsledok liečenia podľa skutočnosti. Veľmi dôležitým prvkom údržby je robiť analýzy a hľadanie základných príčin poškodenia pre každú poruchu.

1.2 Rozdiely jednotlivých pracovísk v prístrojovom vybavení

Nemocnice pre diagnostiku pacientov využívajú subjektívne hodnotenie, RTG, EKG, a ďalšie prístroje, vyšetrenie krvi, moču, atď. V údržbárskej praxi analogicky využívame subjektívne poznatky inšpektorov a údržbárov strojov, diagnostické metódy založené na základe merania teploty, síl, zvukovej a ultrazvukovej analýzy a iných parametrov. Vyšetrenie krvi a moču odpovedá analýza olejov a mazania.



Obr. 2 Výsledok chybnjej montáže ložiska

Ďalšou časťou práce doktorov je chirurgia, kde výsledok práce závisí od toho, či sú používané skalpely, laserové prístroje, gamma nože atď. V údržbe výsledok práce je ovplyvnený kvalitou náradia, meraní, presnosťou práce atď. Použité materiály výrazne ovplyvnia kvalitu operácie, ako aj kvalita náhradných dielov ovplyvňuje životnosť stroja po oprave.

1.3 Aktuálny stav údržby rotačných strojov v podnikoch

Podľa našich dlhoročných skúseností situácia sa veľmi líši v jednotlivých podnikoch. Pokiaľ sa pozrieme na vybavenie pracovísk náradím a prístrojmi, tak musíme konštatovať, že situácia je v niektorých podnikoch priam katastrofálna.

Základným predpokladom modernej údržby je včasná diagnostika príčin porúch. Vyžaduje to na jednej strane diagnostickú skupinu- externú alebo internú, ktorá je vybavená dostatočným prístrojovým vybavením, používa pre diagnostiku všetky nutné merania a analýzy a je schopná interpretovať namerané údaje. Žiaľ tieto skutočnosti sú naplnené v plnom rozsahu len výnimočne.



Obr. 3 Inšpekčný a diagnostický systém pre malé podniky

Malé podniky technickú diagnostiku vôbec nemajú zavedenú a jediná diagnostická metóda je subjektívne hodnotenie strojov, alebo rozbor stroja po poruche. Čo sa týka analýzy mazania a mazív, tribotechnici a mazači v týchto firmách vôbec nie sú a mazanie strojov je čisto náhodný proces.

Vo veľkých firmách technická diagnostika je väčšinou v nejakej forme prítomná, ale jeho výsledky väčšinou nie sú dostatočne dobre interpretované. Je to problém ľudského faktora t.j. diagnostici vydávajú len obmedzené informácie o úrovni nameraných údajov, a kvôli nedostatočnému vzdelaniu alebo kvôli organizačnej štruktúre podniku výsledky sa nedostanú na správne miesto. Je tu jednoznačný nedostatok integrácie údajov z rôznych zdrojov do systému riadenia údržby. Vzhľadom k tomu, že veľké firmy pri privatizácii oddelili všetky nevýrobné činnosti, je veľmi časté, že na zaistenie technickej diagnostiky a starostlivosti o mazivá a mazadlá je využitý outsourcing. Údaje z rôznych externých firiem sú nekoordinovane chaoticky ukladané, a neexistuje korelácia medzi príčinami a dôsledkami porúch. Technické oddelenie má nedostatočné ľudské a počítačové zdroje, aby údaje mohli interpretovať. Výsledkom je, že sú najrôznejšie dohady a domnienky, kto pracuje dobre, kto nekvalitne.



Obr. 4 Technická diagnostika vo veľkých podnikoch vyžiada skúsenosti a vybavenie

Najhoršie na tom je mazanie a analýza mazív. V rade prípadov vôbec nie sú mazacie plány, údržbári používajú zastaralé alebo nevhodné mazivá, navzájom ich miešajú. Najkritickejšou časťou tribotechniky je nedodržanie čistoty pri práci a znečistenie mazív prachom, vodou, degradácia mazív nedodržaním výmenných intervalov alebo prehriatím. Tieto príčiny pôsobia veľmi vážne havárie, kedy dôjde k zničeniu stroja, výpadku výroby a veľkým priamym a nepriamym škodám.

Technická diagnostika využíva radu metód na diagnostiku strojov, ale väčšinou merania nie sú interpretované, alebo interpretácia je nesprávna. Viberační diagnostici merajú vibrácie, pričom si väčšinou neuvedomujú, že nás zaujíma sila a energia, ktorá únavovo poškodzuje časti strojov a skracuje životnosť. Znamená to napr. že dvakrát väčšia sila skracuje životnosť ložísk na 1/8, a stroj nedožije 5 až 10 rokov ale niekoľko mesiacov.

Diagnostika ložísk je veľmi náročná oblasť, a pokiaľ technický diagnostik spolieha len na „svoju“ metódu, výsledky jeho práce môžu byť katastrofálne. Poškodenia ložísk môžu byť spôsobené nevhodným mazivom, znečistením maziva, vodou, nadmernými silami, oxidáciou maziva a degradáciou aditív. Ľudský faktor môže zapríčiniť, že ložisko je namontované s väčším presahom, je prehriate behom montáže, je premazané alebo nikto ho nedomazal a nedolial olej. Tieto problémy môžu skrátiť životnosť zariadenia na niekoľko hodín až mesiacov.



Obr. 5 Vysoká teplota, voda a znečistenie maziva je príčinou straty mazania a vážneho poškodenia

Ustavovanie strojov je veľmi kritickou časťou údržby. Mnoho údržbárom je nejasné, aké ložisko, s akou vôľou a s akým presahom majú montovať na určitý uzol. Pokiaľ stroj je zmontovaný, je nevyhnutné ustaviť jeho priestorovú geometriu s stotínami milimetroch. Veľmi častou praxou je, že čerpadlá sú „pripajšované“ na potrubia, stroje sú skrútené na štyri nohy a spojky a remenice sú ustavené s niekoľkými milimetrami až centimetrami chyby. Pri malých strojoch do 1MW sme sa ešte nikdy nestretli s tým, že by niekto počítal s termálnou rozťažnosťou potrubia alebo s deformáciou frém a strojov. V praxi sú veľmi časté hodnoty, ktoré dosahujú niekoľko milimetrov až centimetrov a atomárne sily z tepelnej deformácie, zničia stroje v priebehu niekoľkých mesiacoch.



Obr. 6 Poškodenie ložiska od termálnej dilatácie potrubia

Ustavovanie spojok je zahalená mýtom o pružnosti spojky. Skutočnosťou je že spojky vydržia údaje výrobcu z hľadiska únavového poškodenia, ale neustavené hriadele pôsobia nadmernými radiálnymi a axiálnymi silami na ložiská a pôsobia nedostatočné mazanie a tým

skrácujú životnosť na niekoľko mesiacov. Neustavené hriadele poškodzujú upchávky a tesnenia, umožňujú vniknutie vody a znečistenia do ložiska. Plánovanú životnosť ložiska v 5 až 10 rokoch môžeme doceliť len ustavením hriadeľov s presnosťou v stotínach milimetroch.



Obr. 7 Nesprávne prevádzkovanie – mimo povolenú oblasť



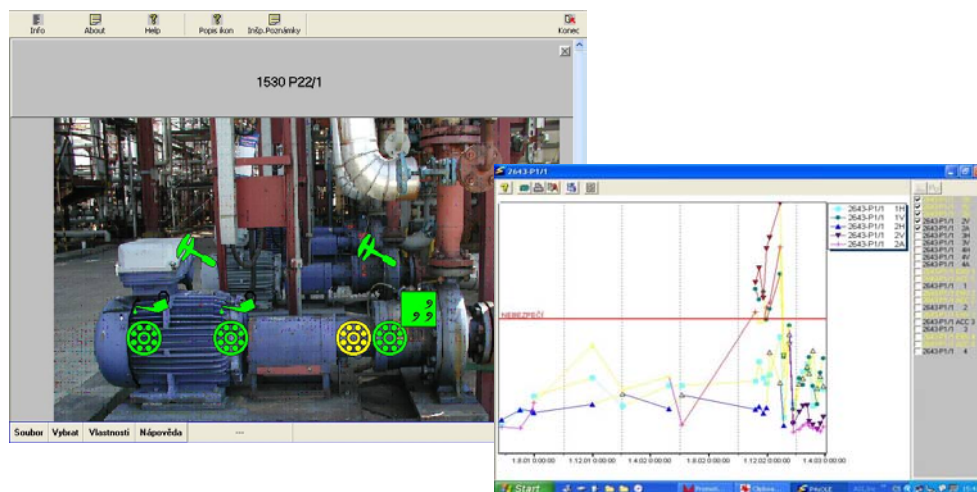
Obr. 8 Systém Easy-laser pre ustavovanie spojok

V údržbe je veľmi bolestivé absolútny nedostatok správnej interpretácie príčin porúch. Veľmi časté sú vyjadrenia typu: „príčina poruchy ložisko, mechanická upchávka, preventívna výmena“, atď. Samozrejme tieto „príčiny“ sú dôsledkami a nie skutočnými základnými príčinami poruchami strojov. Chýba tu existencia spolupráce údržby a technickej diagnostiky, snaha „zahľadiť“ skutočnú príčinu z rôznych dôvodov a „nezáujem“ nájdenia skutočného vinníka. Chýba tu informačný systém, ktorý by umožňoval interpretovať históriu opráv, mazacie plány, údaje z technickej diagnostiky a je absolútna nedostupnosť prevádzkových parametrov.

1.4 Ako ďalej?

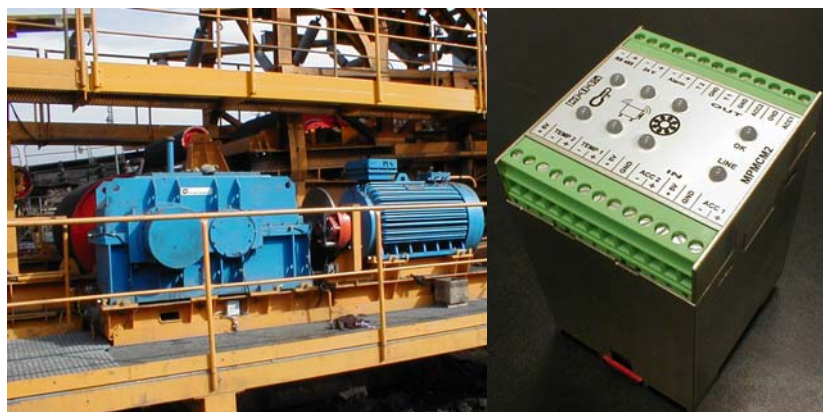
Poľná nemocnica MASH, ktorá funguje v našich podnikoch a rieši smrť pacientov, utrhnuté ruky, nohy, vykrvácanie ... by sa mala nahradiť proaktívnym prístupom v modernej údržbe. Znamená to:

1. zaviesť informačný systém v údržbe, ktorý umožňuje integrovať údaje z najrôznejších častí údržbárskej praxe a vyžadovať, aby dodávatelia doplňovali ho relevantné informácie.
2. V údržbárskej praxi presadiť vzdelávanie zamestnancov. Vyžadovať od nich certifikácie výrobcov techniky a z autorizovaných školiacich stredísk
3. Vyžadovať čistotu a použitie správneho náradia, postupov a tolerancií, použitie kvalitných náhradných dielov, vhodných mazív
4. Dodržiavať tolerancie pri ustavovaní strojov na pozícii, nedovoliť nedefinované termálne napätia od potrubia, neustavené spojky alebo remenice. Po každej oprave skontrolovať ustavenie spojok a remeníč. Používať presné nerezové podložky. Zakázať v praxu napínaniu remeňov otočením motoru.



Obr. 9 Informačný systém CMMS pre údržbu

5. Zrevidovať alebo vytvoriť mazacie plány, nevhodné mazivá vymeniť za moderné. Vyčleniť mazača a tribotechnika a po preškolení zaistiť pravidelné domazávanie, čistotu a včasnú výmenu mazív. Pre veľké nádrže zaistiť vhodnú filtráciu a sledovať kľúčové parametre mazív.



Obr. 10 Na kľúčové stroje inštalujeme on-line diagnostiku

6. Zaistiť preškolenie technických diagnostikov, alebo externú dodávku technickej diagnostiky, ktorá musí vydávať údaje v zrozumiteľnom formáte (vizualizácia na strojových grafoch). Údaje musia obsahovať interpretáciu t.j. uviesť pravdepodobnú poruchu. Diagnostici by mali využívať informácie o histórii opráv, mazania, montáž, ustavenia atď. Diagnostika musí zahrňovať diagnostiku síl pôsobiacich na zariadenie - vibrácie, diagnostiku mazania – teplota, tribotechnické merania , akustická emisia, a diagnostiku ložiskových chýb – vibračné a akustické metódy.
7. Pri každej poruche musí byť zaistená dokumentácia po rozobratí behom opravy a po oprave. Táto dokumentácia musí obsahovať: typ poškodenia, stav maziva, znečistenia, stav ložísk a ďalších opotrebení na stroji. Ložiská a mazivá je potrebné podrobne analyzovať pre zistenie skutočnej príčiny poruchy.

1.5 Záverom

Skutočný stav údržby v našich podnikov nám pripomína kórejskú vojnu a údržbu v ňom ako poľnú nemocnicu MASH. Lekári sa snažia zachrániť zranených, ale vojna im neustále pripravuje nové a nové obete. Lekári pracujú s extrémnym vypätím všetkých síl, ale vojnové podmienky im umožnia len základnú záchranu pacientov.

Naša údržba však bohužiaľ tiež pracuje vo vojnových podmienkach. Privatizácie spôsobili, že rada skúsených odborníkov sa stratilo. Nové firmy nemajú dostatočne kvalitný ľudský a technický potenciál. Neustály tlak na cenu a pohotovosť, výberové riadenia dodávateľov spôsobili, že informácie sú roztrieštené v mnohých dodávateľských firmách a kvalita výsledku je značne otázná.

Načrtli sme tu niekoľko problémov a niekoľko možných východísk z časti z nich. Snáď sa dozijeme, že v našich fabrikách bude po vojne a poľná nemocnica MASH sa zmení na fakultnú nemocnicu.

CMMS poskytuje služby v oblastiach

Vibrodiagnostika

- referenční měření vibrací turbin a generátorů
- periodická měření vibrací turbin a generátorů
- měření vibrací základu
- odkmitání statorových částí stroje nebo základu
- stanovení příčiny zvýšených vibrací mimo periodická měření
- provozní vyvažování
- měření celkových vibrací – /vibrační analýza/
- obálková metoda , SEE a teplota

Ustavování souososti strojů a geometrické měření

- souosost, rovnoběžnost, rovinnost, přímkovost, kolmost
- ustavení kardanových hřídelů
- měření teplotních deformací

Tribotechnická diagnostika TTD

- hodnocení olejů a paliv
- průběžné kontroly turbínových olejů točivých strojů
- filtrace olejů

Měření termovizí

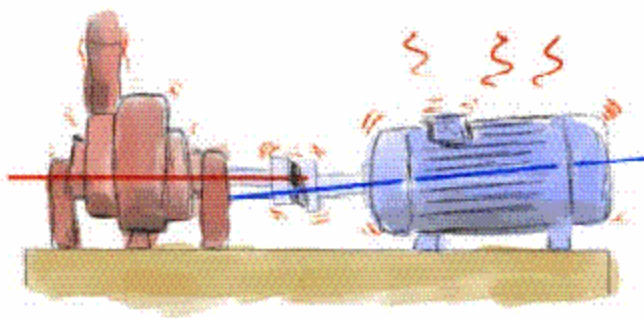
- kontrola vedení elektrické energie
- kontrola rozvaděčů a el. systémů
- kontrola zařízení zajištěného napájení
- kontrola rozvoden VN a VVN
- kontrola transformátorů
- kontrola mechanických zařízení či jejich částí (ložiska apod.)
- kontrola stavu obvodových pláštů objektů (izolace, netěsnosti apod.)
- kontrola stavu vyzdívek...
- zjišťování míst tepelných ztrát budov jako podklad pro projektování izolace
- kontrola kvality provedených prací při kolaudaci
- vyhledávání závad podpodlahového topení
- kontrola technologického vybavení budov
- vyhledání prasklin v plášti budovy

Projekty a instalace na klíč

- diagnostických ON-LINE systémů ložisek, vibračních ložisek v papírenském průmyslu, zabezpečovací systémy turbosoustrojí, kompresorů

2. USTAVOVÁNÍ GEOMETRIE STROJŮ

Při dlouhodobé analýze se zjistilo, že valná část poruch se opakuje a mají jednoznačné příčiny. Tyto **příčiny poškození strojů** jsou: špatná organizace a kvalita práce údržby, neznalosti a mýty, nesprávná montáž, **špatné ustavení strojů**, problémy s mazáním, nadměrné síly, zvýšená teplota, atd. **Proaktivní údržba odstraňuje příčiny poškození strojů**. Oproti ostatním údržbářským postupům **může snížit náklady na opravy až na desetinu**.



Téměř 50% ze všech vynucených odstávek je způsobeno nesouosostí

Ustavení Vašich hřídelů znamená prodlouženou provozní dobu, zvýšenou produktivitu a zvýšenou kvalitu produkce. **Nesouosé hřídele jsou rizikem pro vaši práci, vedou k neplánovaným odstávkám výroby, potřebují větší příkon a mohou ovlivnit kvalitu Vámi vyráběného výrobku.**

Ustavení hřídelů může být provedeno pomocí mnoha různých nástrojů. Nejjednodušším způsobem je použití pravítka nebo ostré přímé hrany, položené přes dvě poloviny spojky a ustavení podle průsvitu. Výsledek není příliš přesný a silně závisí na pracovníkovi, který toto provádí. Aby bylo dosaženo lepšího výsledku, je nutné použít číselníkové úchylkoměry. Zručný a zkušený pracovník může dosáhnout dobrého a spolehlivého výsledku, ale tento způsob je časově náročný. Daleko nejsnadnějším a přitom nejpřesnějším způsobem je použití systémů pro ustavování, které jsou založeny na využití laseru. Laserové systémy nevyžadují speciální zručnost a dávají velmi přesné a opakovatelné výsledky. **Povolené tolerance pro nesouosost ložisek můžete dosáhnout pouze použitím této nové technologie. Laserové systémy představují nový standard pro ustavování.**

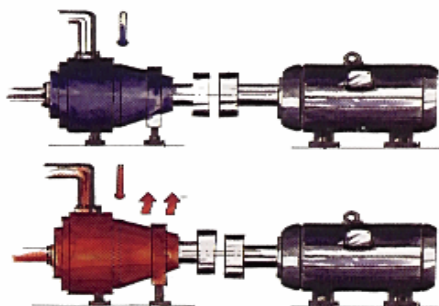
Existuje několik **příznaků, které indikují nesouosost**. Když máte oči otevřené, můžete je zjistit bez speciálního vybavení :

předčasná porucha ložisek, ucpávek, hřídelů a spojek, nadměrné radiální a axiální vibrace, vysoká teplota skříně v místě ložisek nebo v jejich blízkosti, vysoká výstupní teplota oleje, nadměrný únik oleje přes ložiskové ucpávky, spojka je za provozu a okamžitě po odstavení horká. Podívejte se, zda uvnitř pláště spojky není gumový otěr (prach), uvolněné základové šrouby, uvolněné nebo prasklé šrouby ve spojce, nadměrné množství tuku uvnitř krytu spojky. Podobná zařízení mají menší vibrace nebo mají delší životnost, hřídele se lámou (nebo mají praskliny) v nebo blízko ložisek u spojky nebo v nábojích spojky.

rpm	\pm	\mp
	mm	mm / 100mm
0 - 1000	0.13	0.10
1000 - 2000	0.10	0.08
2000 - 3000	0.07	0.07
3000 - 4000	0.05	0.06
4000 - 6000	0.03	0.05

Obr. 11 Doporučené tolerance pro ustavení

I když správně nastavíte stroje, existuje riziko, že se poškodí v důsledku nesouososti. Kdyby se zborčil základ, na který je stroj ustaven nebo v případě „měkkých patek“, t.j. když má jedna z patek stroje špatný kontakt se základem, pak je to možné. Je velmi důležité, aby takové jevy byly odstraněny před prováděním ustavování.

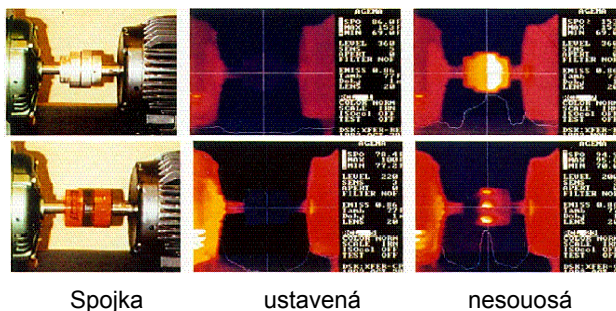


Obr. 12 Nesouosot spojky a její důsledek

Kdyby bylo ustavování prováděno, když jsou stroje studené a přitom by nebyla uvážena *kompensace teplotní dilatace*, potom by stroje byly při provozní teplotě pravděpodobně značně nesouosé.

Většina výrobců strojů specifikuje velikost nesouososti, která je přípustná pro jejich stroj. **Doporučené tolerance pro ustavení soustrojí se pohybují v setinách milimetru (0,03-0,13)** v závislosti na otáčkách ustavovaného stroje.

Toleranci 0,03 mm/m nelze dosáhnout bez použití speciálních nástrojů. *Vysokootáčkové stroje a turbíny vyžadují ustavení v toleranci několika tisícín milimetru na metr.*



Spojka

ustavená

nesouosá

Obr. 13 Záběry IČ kamerou ukazují ohřátí špatně ustavených spojek

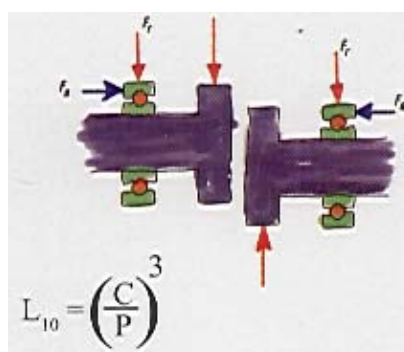
Nesouosost má přímý vliv na *příkon*. Dokumentované případy ukazují **úspory v rozmezí od 2 do 17%**.

Nesouosé stroje generují síly na ložiska a ucpávky. Působení těchto sil se mění na teplo a toto lze snadno zjistit termovizní kamerou.

Provozní životnost ložisek je přímo ovlivněna silami, které na ně působí. I velmi malá nesouosost může vyvolat nadměrné síly na ložiska a na ucpávky. **Výrobci ložisek povolují nesouosost**



kuličkových, válečkových a jehlových ložisek v rozmezí 0.001-0.03mm/100mm. Nesouosý stroj



způsobuje napětí v ložiskách i v hřídelích. V důsledku toho se otevírají ucpávky a to umožňuje únik maziva a proniknutí nečistot. To vše dohromady **značně zkracuje životnost ložisek – dvakrát větší síla , osmkrát kratší životnost.**

Kdekoliv jsou rotující hřídele, tam existuje potřeba jejich ustavení. Čím vyšší jsou otáčky, tím přesnější ustavení je požadováno. *Pokud stroje generují vibrace, vždy byste měli kontrolovat ustavení.*

Pružné spojky jsou nezbytné. Zmenšují škodlivé síly od nesouososti v průběhu rozběhu, dokud stroje nedosáhnou provozní teploty. **Pružná spojka může absorbovat pouze velmi malou nesouosost.** I tak jsou její komponenty vystaveny deformacím a rychleji se opotřebují. Je proto důležité *ustavovat stroje s ohledem na provozní podmínky a ne na podmínky za studena.*

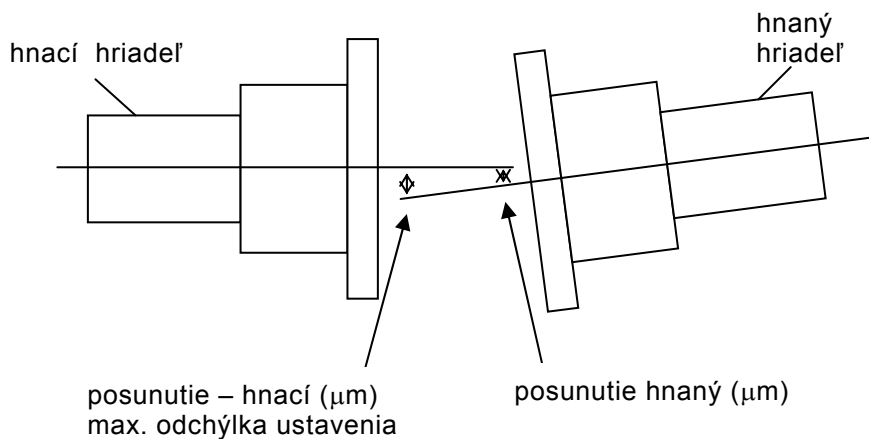
Soustrojí, jako je motor s čerpadlem, se často dodávají na společném rámu nebo základové desce. Tedy způsob „zapoj a pust“. I když jsou stroje perfektně ustaveny dodavatelem ještě to neznamená, že zůstanou perfektně ustaveny po přišroubování desky a po připojení potrubí. **Před spuštěním nového stroje vždy kontrolujte jeho ustavení.**

I když označíte polohu před tím, než demontujete stroj, nemůžete vědět, jestli bude umístěn správně. Požadavek na ustavení u standardní sestavy motoru a čerpadla **je 0,03 mm/m nebo lepší. Je nemožné namontovat zpět stroj v mezích této tolerance bez ustavování.**

2.1 Ustavovanie strojov v praxi

Definícia nesúosovosti

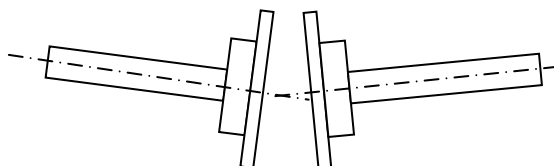
Nesúosovosť je odchýlka relatívnej polohy hriadeľov od kolineárnej osi rotácie, meranej v bodoch prenosu výkonu, keď zariadenie pracuje v normálnych prevádzkových podmienkach.



Obr. 14 Nesúosovosť

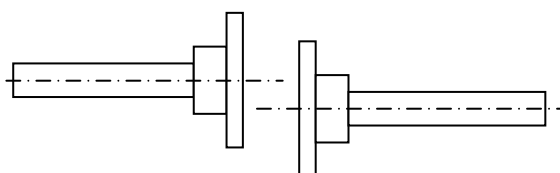
Poznáme dva druhy nesúosovosti – **uhlovú** a **paralelnú** alebo ich kombináciu.

Uhlová nesúosovosť je stav, keď sú dva hriadele spojené spojkou tak, že v nich vzniká ohybová sila.



Obr. 15 Uhlová nesúosovosť

Paralelná nesúosovosť nastáva, keď sú osi hriadeľov síce rovnobežné, ale sú voči sebe posunuté.



Obr. 16 Paralelná nesúosovosť

Príčiny

K možným príčinám vzniku nesúosovosti patria:

- Tepelná dilatácia, ku ktorej dochádza následkom procesov, pri ktorých sa pracuje s teplom (napr. pri turbínach). Väčšina strojov je vyrovnávaných do osi za studena. Neskôr, keď sú stroje prevádzkované a teplota stúpa, spôsobuje táto tepelná dilatácia nesúososti.
- Stroje, ktoré sú pevne spojené a nie sú správne vyrovnané.
- Sily prenášané na stroj potrubím a podporami.
- Nerovné, posúvajúce sa alebo klesajúce základy.
- Nedôsledne, prípadne neodborne vykonávaná údržba strojov.

Následky

Nesúososť obvykle spôsobuje, že ložiská sú viac zaťažované, ako dovoľujú ich predpísané hodnoty. Následkom únavy potom vznikajú závady ložísk. Únava materiálu je výsledkom pôsobenia síl na zaťažované plochy a prejavuje sa ako drvenie alebo odlupovanie kovového povrchu.

Diagnostika

Na diagnostikovanie problémov spojených s nesúososťou sa používajú **merania celkových vibrácií, FFT spektier a meranie fázy**.

2.2 Ustavovanie hriadel'ov

Potreba ustavovania hriadel'ov

Neustavené rotačné stroje spôsobovali a budú spôsobovať **obrovské finančné straty** v akomkoľvek priemysle po celom svete. Nikto dosiaľ skutočne nespočítal koľko peňazí bolo premárnených na **predčasne poškodené stroje, straty produkcie a nadmernú spotrebu energie spôsobených nevyhovujúcim ustavením hriadel'ov** len za posledných päťdesiat rokov. Rotačné stroje sa dnes nachádzajú v každom priemysle - v prepravných potrubíach, ropnom priemysle, zaoceánskych lodiach, nemocniciach ale aj v úradných komplexoch. Štatisticky viac ako polovica týchto strojov je nadmerne nesprávne ustavených a pravdepodobne budú v priebehu 16 mesiacov odstavené pre potrebu opravy alebo výmeny. Druhá polovica strojov bude úspešne bežať s malou alebo žiadnou údržbou ďalších 80 mesiacov.



Obr. 17 Porovnanie strát pri neustavených strojoch a výdavkov na ustavenie

V posledných tridsiatich rokoch bol zaznamenaný obrovský pokrok v diagnostikovaní stavu strojov používaním nedeštruktívnych metód zisťovanie mechanického poškodenia a to *vibračná analýza, infračervená termografia alebo analýza mazív* ako nástrojov pre poukázanie na problémy strojov. Diagnostika strojov prekonala dlhú cestu od balansujúcich mincí na krytoch ložísk a dotyku ľudí. Veľa spoločností založilo svoje podnikanie na monitorovaní strojov a pomáhajú ľuďom hľadať problémy vybavenia použitím napr. FFT analyzátorov alebo aj jednoduchších meracích prístrojov (meranie celkových vibrácií, obáľkovanie, spektrálne emitovaná energia...). Všetky tieto možnosti sú pôsobivé, ale je veľký rozdiel medzi nájdením problému stroja a jeho odstránením.

Prekvapujúco, až 99% rotačných strojov používaných v súčasnosti je neustavených. Môže to znieť ako extrémne silné vyhlásenie, ale dosiahnuť perfektné ustavenie je v reálnom svete takmer nemožné. V podstate malá odchýlka od perfektného ustavenia nie je až taká zlá. Prevodovkové spoje a hriadele s univerzálnymi spojkami napr. musia mať určitú odchýlku ustavenia pre zabezpečenie mazania v bodoch prenosu sily počas rotácie.

Ďalšou komplikáciou problému je vlastnosť rotačných zariadení, ktoré nikdy nechcú ostať na mieste. Keď zariadenie začína rotovať, široké množstvo faktorov vplýva na pohyb hriadeľov nikam inam ako boli, keď zariadenie nebolo v prevádzke. Teplo generované v krytoch od trenia v ložiskách, vyhrievacie prvky v zásobníkoch mazacích systémov, pohyb kvapalín, stláčanie plynov, pohyb a usadzovanie základov, to všetko má tendenciu posúvať zariadenie v každom predstaviteľnom smere.

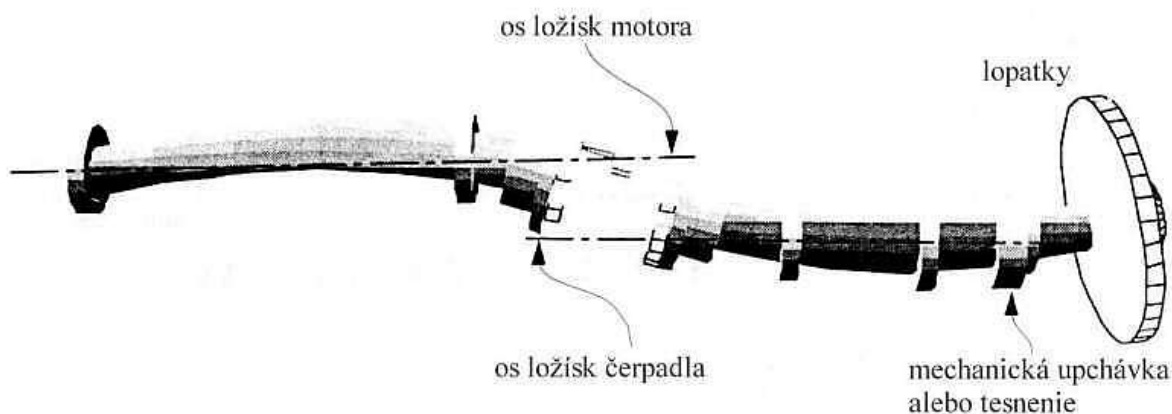
Cieľ správneho ustavenia

Jednoducho skonštatované cieľom ustavenia hriadeľov je zvýšenie **životnosti** rotačných zariadení. Pre dosiahnutie tohto cieľa, komponenty strojov najviac náchylné na poškodenie (poruchy) musia pracovať pri dodržaní zaťaženia pre ktoré boli navrhnuté. Zatiaľ čo na poruchu najnáchylnejšími komponentmi sú ložiská, tesnenia, spoje, spojky a hriadele, správne ustavené zariadenie dosiahne nasledujúce výsledky:

- Redukcia nadmerných axiálnych a radiálnych síl v ložiskách zabezpečujú väčšiu životnosť ložiska a stabilitu rotora pri dynamických prevádzkových podmienkach.
- Eliminácia možnosti poruchy hriadeľa od cyklickej únavy.
- Minimalizácia opotrebenia v spojkových komponentoch.
- Minimalizácia priehybu hriadeľa od bodu prenosu sily v spojke po ložisko pri spojke. Zachovanie správnych vnútorných vôlí na rotore.
- Redukcia spotreby energie (dokumentované prípady ukázali zníženie spotreby od 2 do 17%)
- Nižšie úrovne vibrácií v rámoch strojov, uložení ložísk a rotorov (*pozn.: často malé odchýlky od správneho ustavenia znížia hladiny vibrácií v stroji, takže je potrebná veľká opatrnosť pri vytváraní vzťahov medzi vibráciami a ustavením)

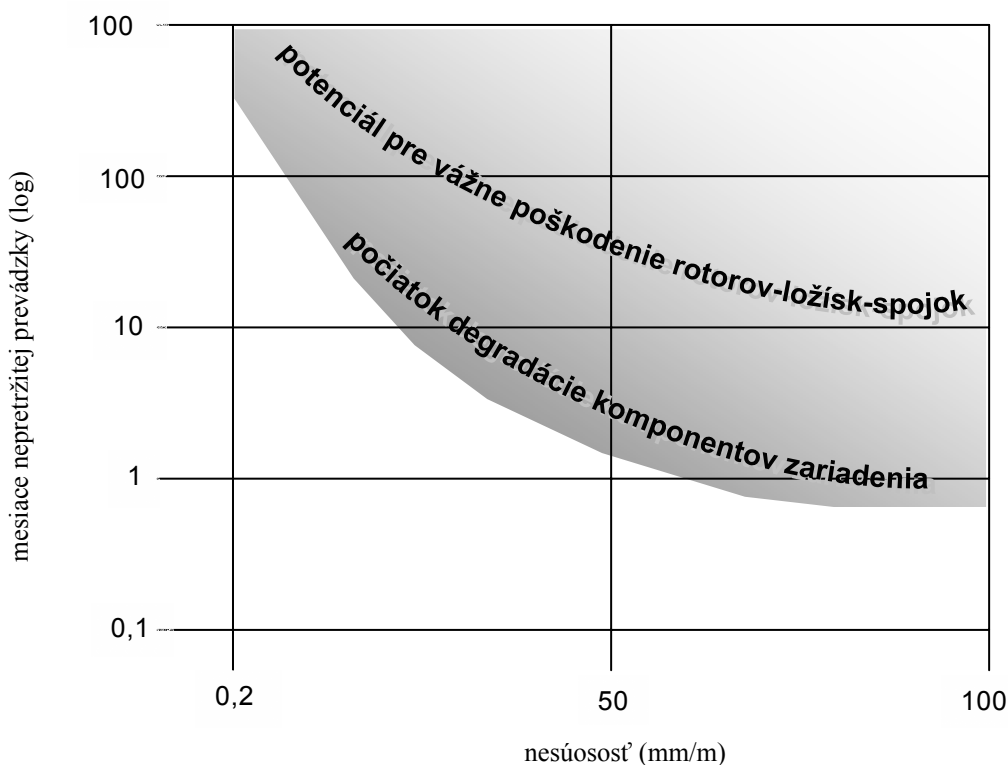
Následky nevhodného ustavenia rotačných strojov

Obr. 18 ukazuje, čo sa stane s rotačným strojom, keď je neustavený. Na obr. vidno, ako hriadele podľahnú deformácii, keď sú vertikálne alebo horizontálne sily prenášané z hriadeľa na hriadeľ. Flexibilné ložiská dovoľujú malú nesúsovosť a prispôbia sa svojim naklonením. Avšak, hriadele sú tiež pružné a keď sa nesúsovosť zväčší, hriadele sa začnú v jej dôsledku ohýbať. Hriadele počas rotácie nie sú stabilne prehnuté, ale pružne sa ohýbajú počas rotácie.



Obr. 18 Ohnuté hriadele vplyvom nesúsovosti

Obr. 19 ukazuje odhad času do poruchy rotačného zariadenia v závislosti na rôznych podmienkach ustavenia. Termín „porucha“ tu znamená degradáciu niektorého kritického komponentu stroja ako napr. tesnenia, ložiská, spojky alebo rotory. Údaje použité v tomto grafe boli zozbierané z veľkého množstva prípadov kde bolo ako príčina poruchy strojov určené nevhodné ustavenie strojov.



Obr. 19 Typická krivka života rotačného zariadenie vystavenému rôznym veľkostiam nesúosovosti

Príznaky nevhodného ustavenia

Nie je jednoduché zistiť nevhodné ustavenie na stroji, ktorý beží. Radiálne sily prenášané z hriadeľa na hriadeľ sú typicky statické sily a je náročné merať ich externe. Neexistujú analyzátory alebo senzory, ktoré by boli umiestnené na stroji zvonku a merali aké veľké sily pôsobia na ložiská, hriadele alebo spojky. Preto je možné vidieť ako sekundárny efekt týchto síl mnoho z nasledujúcich príznakov...

- Predčasné poruchy ložísk, tesnení, hriadeľov alebo spojok.
- Nadmerné radiálne a axiálne vibrácie (*pozn.: testy ukázali, že rôzne druhy spojok vytvárajú rôzne typy správania sa vibrácií. To znamená, že vibrácie sú spôsobené mechanickým dejom, ktorý nastáva v spojke počas rotácie).
- Vysoké teploty krytov ložísk alebo v ich blízkosti alebo vysoká teplota vytekajúceho oleja.
- Silné presakovanie oleja cez tesnenia ložísk.
- Uvoľnené základové spoje.

- Uvoľnené alebo zlomené skrutky spojky.
- Vysoké teploty spojky počas chodu a tesne po zastavení stroja. Ak sa jedná o pružnú spojku, prítomnosť gumového prachu v obruči spojky.
- Vybehnutie hriadeľa môže mať tendenciu zväčšovať sa pri prevádzkovaní stroja počas dlhšieho obdobia.
- Niektoré časti zariadenia vibrujú menej alebo sa zdá, že majú vyššiu životnosť.
- Nezvyčajne veľký počet porúch spojok alebo ich rýchle opotrebenie.
- Hriadele sa lámu (alebo praskajú) v alebo blízko pri vnútorných ložiskách alebo nábojoch spojok.
- Veľké množstvo maziva (alebo oleja) na vnútornej strane krytu spojky.

Súhrn činností pri ustavovaní

Zahŕňa osem základných krokov pri ustavovaní rotačných strojov.

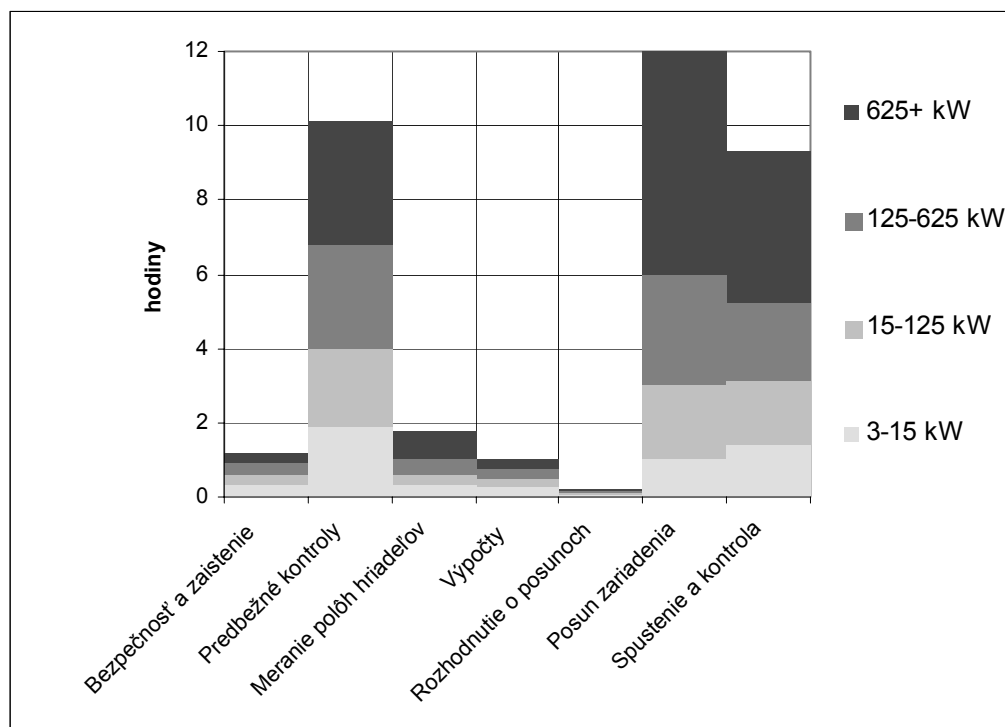
1. Nákup (obstaranie) alebo výroba potrebných nástrojov a meracích zariadení. Uistenie sa, že ľudia zapojení do ustavovacieho procesu sú adekvátne kvalifikovaní: rôzne ustavovacie procedúry a techniky, starostlivosť o jemné meracie prístroje a ich používanie...
2. Obdržanie relevantných informácií o ustavovanom zariadení. Zistenie potrebnosti špeciálnych nástrojov na zistenie nastavenia alebo realizáciu vhodného ustavenia strojov.
3. Pred začatím práce na každom stroji je potrebné pamätať: „**Bezpečnosť na prvom mieste!**“ Je potrebné vhodne označiť a zaistiť zariadenie a informovať náležitých ľudí (pracovníkov) o práci údržby na stroji.
4. Vykonanie predbežných kontrol: kontrola spojky na poškodené alebo opotrebované časti, kontrola a úprava problémov základov a základových dosák, kontrola vŕtí a uvoľnenia ložísk, nájdenie a korekcia „mäkkej pätky“.
5. Hrubé meranie stroja a kontrola pevnosti utiahnutia základových spojov. Potom nasleduje presné meranie polôh hriadeľov použitím presných meracích senzorov ako napr. číselníkových odchýlkomerov alebo *laserov*. Určenie, či sa nastavenie zariadenia nachádza v akceptovateľných toleranciách.
6. Ak nastavenie nespĺňa požadované tolerancie je potrebné zistiť aktuálne polohy osí rotácie na celom zariadení, rozhodnutie ktorým smerom a koľko je potrebné posunúť časti zariadenia, posunutie zariadenia a premeranie vzájomnej polohy osí rotácie ako v bode 5.
7. Inštalácia spojky (za predpokladu, že bola pre kontrolu rozobratá) a kontrola rotačnej vôle ak je to možné. Montáž krytu spojky a posledná kontrola pred odstránením bezpečnostných značiek.
8. Spustenie prevádzky v normálnych podmienkach, sledovanie a záznam vibračných úrovní, teploty ložísk a spojky, záťaž ložísk a iných potrebných operačných parametrov.

Časová náročnosť ustavovania

Pri aplikovaní proaktívnych spôsobov údržby je z ekonomického hľadiska okrem prístrojového vybavenia dôležitý aj čas, ktorý sa venuje sledovaniu, diagnostike a údržbe strojov. Snahou je skrátiť prestoje strojov pri ustavovaní, čím sa znížia straty na produkcii, ale aj výdavky na údržbu. Skrátenie času údržby však nesmie ísť na úkor kvality vykonávaných prác, pretože sa to vráti v potrebe skrátenia intervalov údržby, čo v konečnom dôsledku môže náklady na údržbu ešte zvýšiť.

Pri ustavovaní je potrebné veľa času venovať príprave. Čistenie základových dosák a spodných častí pätiiek zariadení, obstaranie meracích nástrojov, kontrola spojky, odstránenie „mäkkej pätky“, meranie hrúbky už použitých podložiek, zhromaždenie všetkých nástrojov a poučenie personálu pre správnu činnosť sú iba niektoré činnosti potrebné pred začiatkom ustavovania. Výpočet správnych posunutí, potrebných pre nastavenie hriadeľov do správnej polohy pomocou počítačov alebo grafických ustavovacích kalkulátorov môže značne zredukovať množstvo času pri posúvaní strojov oproti metóde pokusov a omylov. Tiež dĺžka času potrebného na ustavenie vzrastá s hmotnosťou stroja. Kompresor použitý pre účely tejto práce ako experimentálny stroj nebol svojou veľkosťou ani hmotnosťou náročný pre ustavenie a nebolo potrebné použiť zvláštne náradie alebo prostriedky pre ustavenie.

Na obr. 20 sú zobrazené priemerné množstvá času potrebné na vykonanie krokov 3 až 8. Kroky 1 a 2 v grafe nie sú, pretože zabezpečovanie potrebných prístrojov, tréning všetkých zainteresovaných a získavanie informácií môže zaberať značné množstvo času.



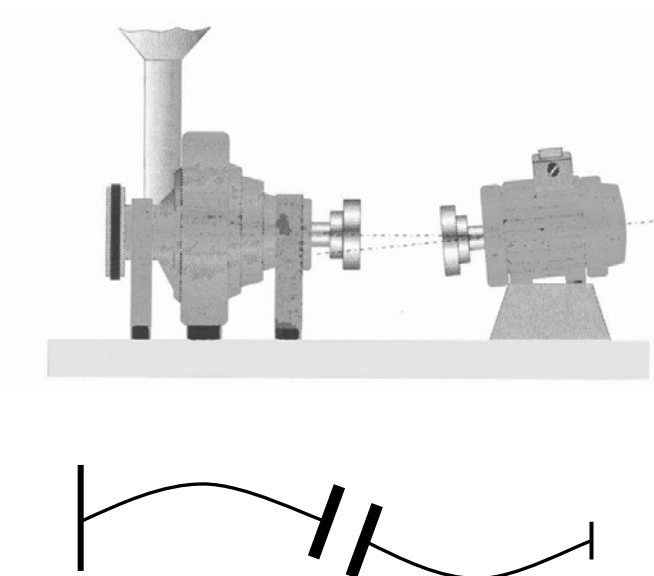
Obr. 20 Priemerný čas potrebný na vykonanie základných krokov pri ustavovaní strojov

Proaktívna údržba odstraňuje príčiny poškodenia strojov. Medzi takéto príčiny poškodenia patrí aj nesprávne ustavenie strojov. Cieľom ustavenia je zväčšenie prevádzkovej životnosti

rotačných strojov. Aby sa dosiahol tento cieľ, musia strojné časti, ktoré môžu najpravdepodobnejšie zlyhať, pracovať v navrhovaných medziach. Pretože týmito strojnými časťami, ktoré sa najčastejšie poškodia sú ložiská, tesnenia, spojka a hriadele, presné ustavenie strojov dá nasledujúce výsledky:

- redukuje nadmerné axiálne a radiálne sily na ložiska, aby bola zaistená väčšia životnosť ložísk a stabilita rotora v dynamických prevádzkových podmienkach,
- eliminuje možnosť poškodenia hriadeľa cyklickou únavou,
- minimalizuje veľkosť ohybu hriadeľa od miesta prenosu výkonu spojkou po spojkové ložisko. Zachováva správne vnútorné vôle rotora,
- znižuje elektrický príkon,
- znižuje úroveň vibrácií na skrini stroja, na ložiskových stojanoch i na rotoroch (pozn.: malá nesúosovosť môže znížiť úroveň vibrácií stroja).

Na obr. 21 je ukázané, čo sa stane so strojom v prípade nesúosovosti. I keď je vplyv nesúosovosti v tomto obrázku prehnaný, schéma ukazuje, že hriadele stroja budú deformované pri prenose vertikálneho alebo priečneho zaťaženia.



Obr. 21 Deformácia rotora od nesúososti

Nesúosovosť	Rýchlosť otáčania	Vynikajúce tolerancie	Prijateľné tolerancie
PARALELNÁ	RPM	mm	mm
	0-1000	0,07	0,13
	1-2000	0,05	0,1
UHLOVÁ	RPM	mm/100mm	mm/100mm
	0-1000	0,06	0,1
	1-2000	0,05	0,08

Tab. 1 Doporučené hodnoty nesúososti podľa SKF.

Symptómy nesúososti

Na čo sa má dávať pozor:

- predčasné poruchy ložísk, tesnení, hriadeľov alebo spojky,
- veľká teplota skrine u ložísk alebo veľká teplota oleja na výstupe,
- nadmerný únik oleja z tesnenia,
- spojka je horúca za prevádzky alebo tesne po odstavení,
- praskliny hriadeľov u vnútorného ložiska alebo u náboja spojky,
- nadmerné množstvo maziva alebo oleja v spojkovom kryte,
- vyššia spotreba energie ako normálne,
- okamžité alebo postupné zvýšenie vibrácií v radiálnom alebo axiálnom smere,
- voľné alebo zlomené spojkové skrutky,
- voľne uchytené skrutky, podložky alebo kolíky.

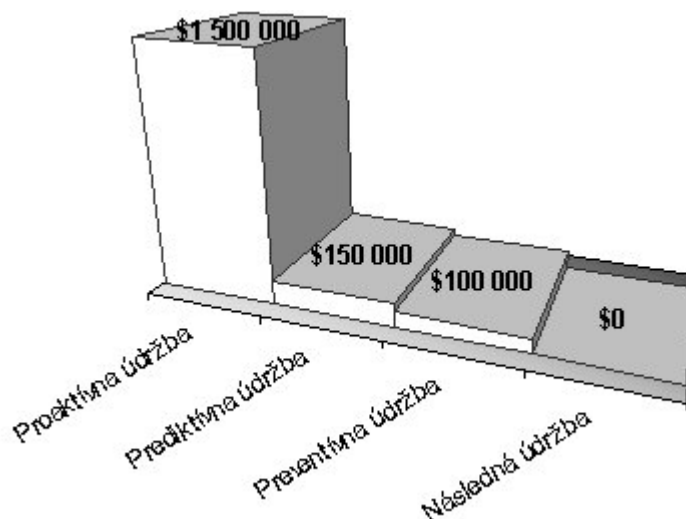
Kompletná vizuálna prehliadka by mala byť prevádzaná aspoň jedenkrát ročne a to u všetkých základov a základových dosiek rotačných strojov, ďalej prehliadka potrubia atď.

3. VIBRAČNÁ DIAGNOSTIKA

Jedna zo základných myšlienok proaktívnej údržby spočíva v prechode údržby zo štádia „hasenia požiaru“ ku štádiu plánovanej údržby. To umožní, aby plánovaná údržba bola proaktívne načasovaná, aby zdroje boli umiestnené a aby súčasti a nástroje boli riadené. Plánovaná údržba zlepšuje efektívnosť, pretože plánované odstávky môžu byť využité v najväčšom možnom rozsahu pre údržbu a to lepšie ako pokazené stroje, ktoré môžu a mali by vyrábať. Metódou proaktívnej údržby sa eliminuje zbytočná údržba, nepotrebné generálne opravy, neplánované odstávky a nadbytočný inventár náhradných dielov.

Proaktívna údržba je časťou predošlých dvoch filozofií (hlavne TPM) a vyvinula sa z prediktívneho spôsobu chápania údržby s cieľom znížiť náklady na údržbu a prevádzku zariadení, zabezpečením ich správneho chodu a predĺžením životnosti zariadení. Rozdiel medzi TPM a PM (Proactive Maintenance) je v tom, že TPM je zameraná na údržbu komplexnejšie, zahŕňa do nej aj prístup manažmentu podnikov a nielen oddelenia technickej diagnostiky a údržby.

Proaktívne metódy údržby šetria v súčasnosti vo všetkých odvetviach priemyslu tisíce a dokonca milióny dolárov na údržbe strojov každý rok. Táto koncepcia šetrenia veľkého objemu údržby môže byť niekým považovaná za chybnú. Podľa firmy DuPont „údržba predstavuje najväčšie jednotlivé náklady v závode: V mnohých spoločnostiach často prekročujú hodnotu čistého ročného zisku.“ Keď k tomu pridáme skutočnosť, že až 90% údržbárskej práce v niektorých spoločnostiach zahŕňa nákladnú (a produktivitu ničiacu) opravu po poruche, je jednoduché vidieť výhodu tejto stratégie údržby – obr. 22.



Obr. 22 Príklad ušetrených výdavkov na údržbu za rok

Údržba následného (havarijného) a preventívneho typu stojí obrovské peniaze. Preto sa v sedemdesiatych rokoch začína zavádzať **prediktívna údržba**. Ide o údržbu, ktorá tvrdí, že na strojoch je nutné opraviť len to a len vtedy, keď je to nevyhnutne nutné. Prediktívna údržba vyžaduje **Condition Monitoring**, t.j. sledovanie *príznakov* vyvíjajúcich sa závad. Táto údržba vyžaduje technickú diagnostiku, ktorá je nasadená na všetkých strojoch podniku. Jej účinnosť veľmi závisí na ľuďoch, použitých technológiách a použitom prístrojovom

vybavení. Patrí sem napr. vibračná, tribo, termodiagnostika, defektoskopia, atď. Pri úspešnom projekte náklady na údržbu môžu klesnúť až na polovicu oproti klasickej údržbe.

Pri dlhodobej analýze sa zistilo, že väčšina porúch sa opakuje a majú jednoznačné príčiny.

Tieto príčiny poškodenia strojov sú:

- *zlá organizácia a kvalita práce údržby*
- *neznalosti a mýty*
- *nesprávna montáž*
- *zlé ustavenie strojov*
- *problémy s mazaním*
- *nadmerné sily*
- *zvýšená teplota, atď.*

Proaktívna údržba odstraňuje *príčiny poškodenia strojov*. Oproti ostatným údržbárskym postupom môže znížiť náklady na opravy až na desatinu.

Základom pre vykonávanie proaktívnej údržby je kvalitne vykonávaná technická diagnostika zariadení.

3.1 Vibrácie (amplitúda a frekvencia)

Vibrácie sú prejavom chovania sa mechanických častí strojov, ktorým reagujú na pôsobenie vnútorných a vonkajších síl.

Pretože väčšina závad rotačných strojov sa prejavuje nadmernými vibráciami, využívajú sa vibračné signály ako indikátory mechanického stavu strojov. Každá mechanická závada alebo defekt generuje vibrácie svojím špecifickým spôsobom. Aby sa dala určiť ich príčina a zvoliť vhodné kroky k náprave, snahou je identifikovať o ktorý „typ“ ide.

Pri analýze vibračných signálov sa venuje pozornosť ich dvom zložkám, amplitúde a frekvencii.

Frekvencia udáva početnosť istého javu v danom časovom úseku (jav predstavuje jeden vibračný cyklus). Podľa frekvencie vibrácií je možné usudzovať typ závady. Keď sa zistí frekvencia, pri ktorej dochádza k vibráciám, získa sa jasnejší obraz o príčine vibrácií.

Amplitúda je veľkosť vibračného signálu. Amplitúda vibračného signálu súvisí so závažnosťou závady. Amplitúda závisí na type stroja a je vo vzťahu k úrovni vibrácií „dobrého“ alebo „nového“ stroja.

3.2 Celkové vibrácie

Celkové vibrácie predstavujú celkovú vibračnú energiu meranú v istom frekvenčnom rozsahu. Zistením väčšej hodnoty celkových vibrácií ako normálnej je možné prehlásiť, že existuje „niečo“, čo tieto zvýšené hodnoty spôsobuje.

Vibrácie sú považované za najlepší prevádzkový parameter, podľa ktorého je možné posudzovať nízkofrekvenčné dynamické stavy, ako je nevyváženosť, nesúososť, mechanické vôle uloženia, rezonanciu konštrukcie, nedostatočne tuhé základy, ohnutý hriadeľ, nadmerné opotrebenie ložísk alebo odlomenie lopatiek rotora.

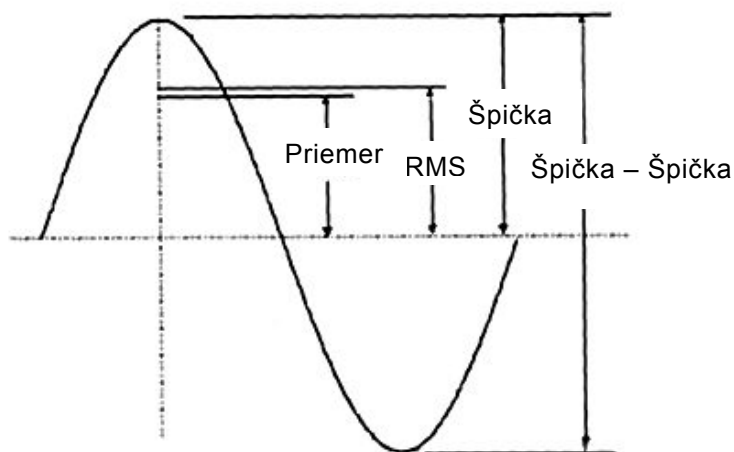
Frekvenčný rozsah, v ktorom je prevádzané meranie celkových vibrácií, závisí na type použitého monitorovacieho zariadenia. Niektoré dátové kolektory majú preddefinovaný frekvenčný rozsah, v ktorom prevádzajú meranie celkových vibrácií. Iné dátové kolektory umožňujú užívateľovi voľbu frekvenčného rozsahu. Stále trvá diskusia, aký frekvenčný rozsah je pre meranie celkových vibrácií najlepší (napriek tomu, že norma už je organizáciou ISO definovaná). Dôležité je aby porovnávané hodnoty na jednom mieste boli namerané v tom istom frekvenčnom rozsahu.

3.3 Vyjadrenie amplitúdy signálu

Ak porovnávame celkové hodnoty, musí byť rovnaký spôsob merania amplitúdy signálu, ktorý určuje, ako je prevádzané meranie.

Meranie celkových vibrácií používa tieto vyjadrenia:

- špičková hodnota (peak),
- špička – špička (peak to peak)
- priemerná hodnota (average)
- efektívna hodnota (RMS)



Obr. 23 Vyjadrenie amplitúdy sínusového signálu

Na obr. 4 sú znázornené priame vzťahy medzi jednotlivými spôsobmi vyjadrenia amplitúdy platiace pre sínusový signál.

Špička	=1,0
Efektívna hodnota	=0,707 x špička (=RMS)
Priemerná hodnota	=0,637 x špička
Špička – špička	=2 x špička (niekedy tiež rozkmit)

Špičková hodnota reprezentuje vzdialenosť medzi vrcholom vlny a nulovou úrovňou.

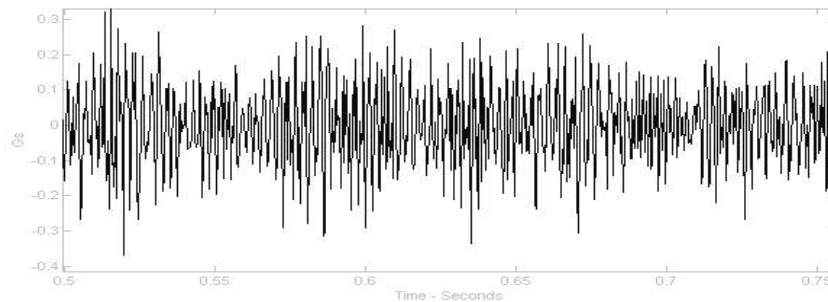
Hodnota **špička – špička** (rozkmit) je vzdialenosť medzi najvyšším a najnižším vrcholom vlny.

Priemerná hodnota je priemernou hodnotou amplitúdy priebehu vlny. Pri ideálnom sínusovom priebehu je rovná nule. Väčšina priebehov však nie je sínusová alebo nie sú symetrické k nulovej hodnote a vtedy je priemer nenulový.

RMS (efektívna hodnota) je odvodená matematickou cestou, porovnaním energií alebo výkonu jednosmerného a striedavého prúdu. Pri FFT (Fast Fourier Transformation – rýchla Fourierova transformácia) spektra sa jedná o druhú odmocninu súčtu štvorcov okamžitých hodnôt.

Špičková hodnota a hodnota **špička – špička** môžu byť buď priamo namerané alebo vypočítané z hodnoty RMS. Tento výpočet prevádzajú meracie prístroje v závislosti od ich nastavenia.

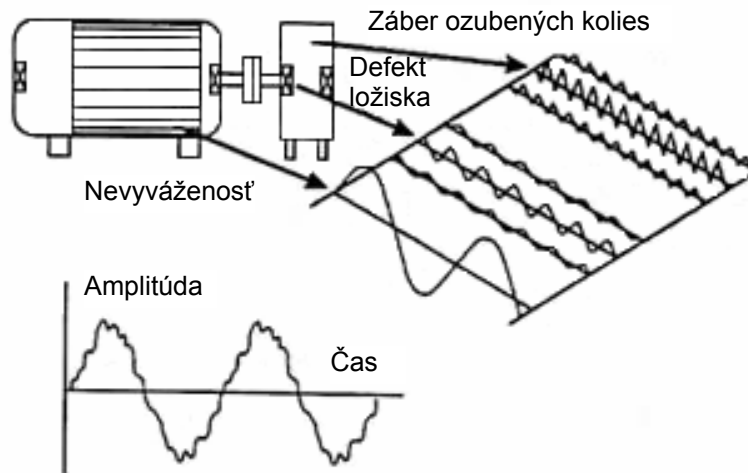
Časový priebeh zobrazuje krátku časovú vzorku nespracovaných vibrácií. Aj keď nebýva analýza časového priebehu taká užitočná ako iné spôsoby analýzy, môže poskytnúť kľúč k odhaleniu stavu stroja, ktorý nemusí byť vždy zrejмый z frekvenčného spektra alebo celkových vibrácií.



Obr. 24 Časový priebeh signálu zo snímača zrýchlenia

3.4 Analýza FFT spektier

Najvhodnejšou metódou na sledovanie vibračných signálov spôsobom vhodným pre ich analýzu je metóda FFT – Fast Fourier Transformation (Rýchla Fourierová transformácia). V matematickom vyjadrení to znamená, že signál je rozložený na určité amplitúdy odpovedajúcim rôznym frekvenčným zložkám.



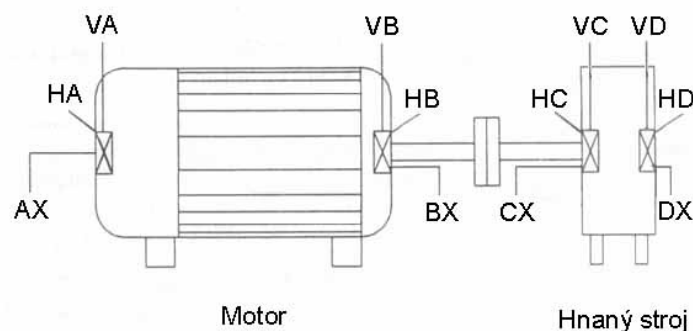
Obr. 25 Frekvenčné spektrum znázorňujúce zložky vibračného signálu pri rôznych frekvenciách

V prípade, že so strojom nie je niečo v poriadku, sú spektra FFT schopné poskytnúť informácie, ktoré pomáhajú závadu lokalizovať, určiť jeho príčinu a pomocou trendovania stanoviť, za akú dlhú dobu sa môže stať problém pre stroj kritický. Pretože vieme, že istá závada sa objavuje pri istých frekvenciách, pristupujeme k analýze spektier FFT tak, že sledujeme zmeny amplitúd v týchto frekvenčných rozsahoch.

3.5 Meracie miesta ložísk

Na stroji vyberieme najlepší merací bod. Vyhnúť sa je potrebné lakovaným povrchom, nezaťaženým zónam ložísk, deliacim rovinám a konštrukčným medzerám.

Poloha – pokiaľ je to možné, mali by byť vibrácie merané v troch smeroch



Obr. 26 Schéma meracích miest pre meranie vibrácií

- VB (VA) – hnací (voľný) koniec hriadeľa vertikálny*
- HB (HA) – hnací (voľný) koniec hriadeľa horizontálny*
- BX (AX) – hnací (voľný) koniec hriadeľa axiálny*
- VC (VD) – hnaný (voľný) koniec hriadeľa vertikálny*

HC (HD) – hnaný (voľný) koniec hriadeľa horizontálny

CX (DX) – hnaný (voľný) koniec hriadeľa axiálny

Horizontálna rovina vykazuje obvykle najväčšie vibrácie, čo je spôsobené tým, že stroj je v horizontálnej rovine poddajnejší. Jedným z najbežnejších problémov je nevyváženosť strojov. Nevyváženosť spôsobuje vznik radiálnych vibrácií, ktoré sú ako vertikálne tak aj horizontálne. To, že stroj je obvykle poddajnejší v horizontálnej rovine spôsobuje, že nadmerné vibrácie pôsobiace v horizontálnej rovine sú dobrými indikátormi nevyváženosti.

Vertikálne merania obvykle vykazujú menšie vibrácie než pri meraní v horizontálnej rovine. Je to spôsobené tuhosťou, ktorá je dôsledkom konštrukcie a gravitácie.

Axiálny smer vykazuje v ideálnych podmienkach veľmi nízke vibrácie, pretože väčšina síl je generovaná kolmo k hriadeľu. Avšak problémy s nesúosovosťou a ohnutým hriadeľom spôsobujú vibrácie v axiálnom smere.

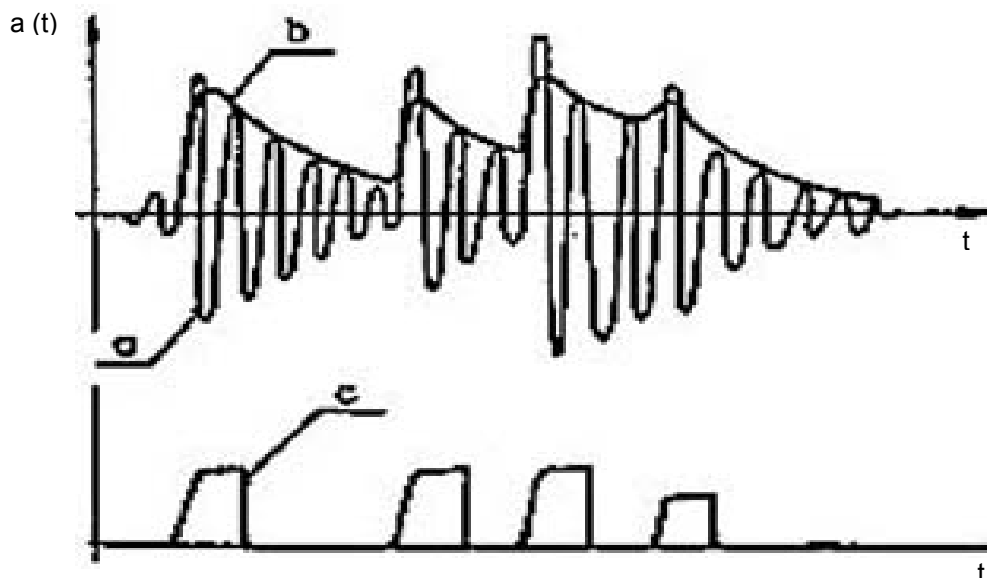
Pokiaľ je to možné, meracie body sa nevyberajú na skrini, pretože skriňa môže kmitať následkom rezonancie, alebo uvoľnenia.

Aby bolo možné merania porovnávať, musia byť merania prevádzané vždy v rovnakých bodoch (posunutím snímača len o niekoľko milimetrov môže mať za následok nameranie celkom odlišných hodnôt vibrácií). Aby sa zaistilo, že merania budú prevádzané vždy presne v rovnakých bodoch, zaznačujú sa meracie body trvanlivou značkou, alebo zavrtaním kužeľového zahĺbenia. Ešte lepším spôsobom k dosiahnutiu konzistentných výsledkov je použitie magnetických úchytiak. Avšak najlepšie je snímač namontovaný natrvalo.

Uhol - vždy kolmý k povrchu ($90^\circ \pm 10^\circ$).

Prítlak – musí byť zakaždým rovnaký (avšak nie príliš silný, aby nestlmil vibračný signál).

Ak dôjde k poškodeniu na obežnej dráhe alebo na valivom telese ložiska, vznikajú pri odvaľovaní mechanické rázy, ktoré spôsobujú krátkodobé oscilácie – veľmi silné tlmené kmity (obr. 6).



Obr. 27 Princíp merania rázových impulzov
a - vstupný signál, b – obáľková krivka, c – analógový výstup

U poškodeného ložiska vznikajú najsilnejšie impulzy v zaťaženej oblasti a odtiaľ sú prenášané na skriňu ložiska. Medzi snímačom a ložiskom by mal byť priamy a neprerušovaný styk.

3.6 Meranie celkových (Overall) vibrácií

Celkové vibrácie predstavujú celkovú vibračnú energiu meranú v istom frekvenčnom rozsahu. Meraním celkových vibrácií stroja, alebo jeho častí (rotora vo vzťahu ku stroju, alebo strojnej konštrukcii) a porovnaním tejto hodnoty s jej normálnou úrovňou (normou) získame informáciu o stave stroja. Ak zistíme vyššiu, než normálnu úroveň celkových vibrácií, potom možno povedať, že existuje „niečo“, čo spôsobuje tieto vyššie hodnoty.

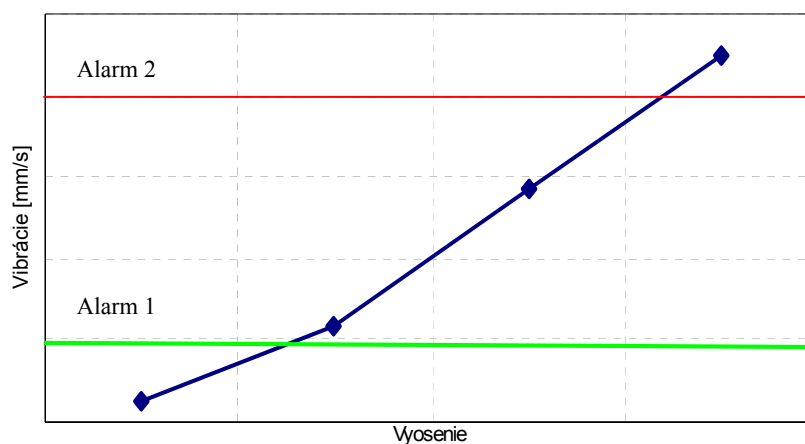
Vibrácie sú považované za najlepší prevádzkový parameter, podľa ktorého možno posudzovať nízkofrekvenčné dynamické stavy, ako je nevyváženosť, nesúosovosť, nedostatočne tuhé základy, ohnutý hriadeľ, nadmerné opotrebenie ložísk, alebo ulomenie lopatiek rotora.

Frekvenčný rozsah

Frekvenčný rozsah, v ktorom je prevádzané meranie celkových vibrácií, závisí na type použitého monitorovacieho zariadenia. Niektoré dátové kolektory majú preddefinovaný frekvenčný rozsah, v ktorom prevádzajú meranie celkových vibrácií. Iné dátové kolektory umožňujú užívateľovi voľbu frekvenčného rozsahu. Bohužiaľ stále trvá diskusia, aký frekvenčný rozsah je pre meranie celkových vibrácií najlepší. Dôležité z toho dôvodu je, aby pri porovnávaní nameraných hodnôt bolo zaistené, že meranie oboch hodnôt bolo prevádzané v rovnakom frekvenčnom rozsahu.

3.7 Trendovanie celkových hodnôt vibrácií

Zrejme najvhodnejšou a najspoľahlivejšou metódou pre zhodnotenie mohutnosti vibrácií je porovnávanie posledne nameraných celkových hodnôt vibrácií s hodnotami už skôr nameranými. To nám umožňuje sledovať, ako sa hodnoty vibrácií vyvíjajú v priebehu istého časového obdobia. Analýza takéhoto porovnania súčasných hodnôt s predošlými je jednoduchšie, pokiaľ sú hodnoty vykresľované do trendového grafu.



Obr. 28 Trendový graf

Mohutnosť kmitania v_{ef} [mm/s]	28	neprístupné	
	18		
	11	ešte prípustné	
	7		
	4,5	upotrebitel'né	
	2,8		
1,8	dobré		
1,1			
0,7			
0,45			
0,28			
	skupina K malé stroje	skupina M stredné stroje	skupina G veľké stroje

Tab. 2 Posudzovanie mohutnosti kmitania (podľa ISO 10816-1)

Normy ISO sú dobré pre počiatočné obdobie (pokiaľ nezískame vlastné údaje o histórii stroja). Tabuľky ISO definujú „dobré“ a „zlé“ stavy pre zatriedenie širokej škály rôznych strojov.

Každý stroj je:

- vyrobený s istými odchýlkami,
- odlišne nainštalovaný (základy),
- prevádzkovaný pri rôznych podmienkach (zaťaženie, otáčky materiál, prostredie),
- rôzne udržiavaný.

Je nereálne posudzovať stav stroja porovnávaním súčasných nameraných hodnôt so širokou škálou hodnôt uvedenou v norme ISO, alebo s inými všeobecnými pravidlami. Porovnávaním aktuálnych hodnôt s predchádzajúcimi hodnotami možno ľahko porovnať, ako sa v priebehu daného časového obdobia stav stroja mení.

3.8 Vplyv dynamického zaťaženia na trvanlivosť ložísk

Základná trvanlivosť valivých ložísk býva spravidla vypočítaná zo „statického“ zaťaženia. V dnešnej dobe sa doporučuje rešpektovať i vplyv prídavných dynamických síl na ekvivalentné dynamické zaťaženie valivého ložiska.

Pri „statickom“ zaťažení valivého ložiska je rovnica trvanlivosti:

$$L_N = \left(\frac{C}{P_s} \right)^m \cdot 10^6$$

kde:

L_N – základná trvanlivosť valivého ložiska s pravdepodobnosťou poškodenia 10% [počet cyklov]

C – základná dynamická únosnosť valivého ložiska [N]

P_s – ekvivalentné dynamické zaťaženie valivého ložiska (zo statického zaťaženia) [N]

m – pre guľčkové ložiská $m=3$

pre valčekové, súdkové, kúželikové, ihlové $m=10/3$

Keď ložiska elektromotoru sú zaťažené iba radiálnou silou potom dynamickým zaťažením sa zmení základná trvanlivosť na hodnotu:

$$L_N = \left(\frac{C}{P_c} \right)^m \cdot 10^6$$

$$P_c = F_c$$

Výhodnejšie býva vyjadriť trvanlivosť v prevádzkových hodinách:

$$L_h = \left(\frac{C}{P_s} \right)^m \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}$$

kde:

n – otáčky [min^{-1}]

3.9 Monitorovanie ložísk

Prevádzka všetkých rotačných strojov je prevádzaná mechanickým kmitaním. Na základe analýzy mechanického kmitania možno získať cenné informácie o prevádzkovom stave strojného zariadenia. Hodnotenie prevádzkového stavu strojov na základe mechanického kmitania má dlhú a bohatú tradíciu. Určenie stavu poškodenia valivých ložísk zaujíma zvlášť postavenie v odbore bezdemontážnej diagnostiky strojných zariadení vzhľadom k tomu, že valivé ložiská sa najčastejšie používajú v konštrukciách strojov, určujú ich presnosť a životnosť.

S dlhodobého sledovania vyplýva, že skutočná trvanlivosť valivých ložísk za inak rovnakých podmienkach vykazuje značný rozptyl, pomer medzi maximálnou a minimálnou trvanlivosťou býva 5 až 10. Trvanlivosť valivého ložiska je určená únavovým poškodením funkčných plôch, životnosť valivého ložiska je doba po ktorú je ložisko schopné plniť požadovanú funkciu.

Skutočná trvanlivosť je určená okrem iného:

- kvalitou výroby,
- prevádzkovým zaťažením,

- spôsobom montáže ložísk,
- spôsobom mazania a kvalitou maziva,
- prídavným dynamickým prevádzkovým zaťažením.

Preto popredný svetový výrobcovia venujú značnú pozornosť vývoju prostriedkov a pomôcok pre montáž a demontáž valivých ložísk, vydávajú literatúru a venujú značnú pozornosť školeniu pracovníkov prevádzky o montáži a správnom mazaní.

Súčasná prístrojová technika umožňuje prevádzať montáž a zmontovanie súčastí a skupín strojov tak, aby prídavné dynamické prevádzkové zaťaženie nielen valivých ložísk bolo minimálne pri optimálnej presnosti výroby.

Radiálna a axiálna vôľa radiálnych valivých ložísk

Pre spoľahlivý chod radiálneho ložiska má rozhodujúci vplyv radiálna vôľa.

Rozlišujeme tri štádia radiálnej vôle:

- výrobná vôľa u nezamontovaného ložiska (výrobca dodáva ložiská s rôznymi vôľami),
- montážna u zamontovaného ložiska, ktorá vplyvom veľkosti presahu ložiskových krúžkov je menšia ako výrobná,
- prevádzková vôľa za ustálenej prevádzkovej teploty (býva spravidla menšia ako vôľa montážna).

Smerodajný je potom stav ložiska pri ustálených prevádzkových pomeroch.

Radiálna a axiálna vôľa radiálneho valivého ložiska môže ovplyvniť dynamické pomery, prevažne pri prevádzke bez zaťaženia.

3.10 Frekvencia rázového budenia poškodeného ložiska

Ak dôjde k únavovému poškodeniu obežných dráh a valivých telies, je ložisko výrazným budičom kmitania. Jedná sa o rázové budenie spôsobené vníkaním valivých telies do priehlbín v zaťaženej oblasti.

- základná harmonická frekvencia

$$f_o = \frac{n}{60}$$

- frekvencia kliečky

$$FTF \approx f_k = \frac{1}{2} \cdot f_o \cdot \left(1 - \frac{d_g}{D_1} \cdot \cos \alpha \right)$$

- frekvencia vonkajšieho krúžku

$$BPFO \approx f_e = \frac{1}{2} \cdot f_o \cdot n_g \cdot \left(1 - \frac{d_g}{D_1} \cdot \cos \alpha \right)$$

- frekvencia vnútorného krúžku

$$BPFI \approx f_v = \frac{1}{2} \cdot f_o \cdot n_g \cdot \left(1 + \frac{d_g}{D_1} \cdot \cos \alpha \right)$$

- frekvencia valivého elementu

$$BPF \approx f_{gu} = \frac{1}{2} \cdot f_o \cdot \frac{D_1}{d_g} \cdot \left(1 - \left(\frac{d_g}{D_1} \cdot \cos \alpha \right)^2 \right)$$

kde:

n – otáčky hriadeľa [min^{-1}],

α - uhol pôsobenia (tlakový, pri radiálnom zaťažení = 0) [$^\circ$],

n_g – počet valivých elementov,

D_1 – aritmetický priemer ložiska [mm],

d_g – priemer valivého elementu [mm].

3.11 Spektrálne Emitovaná Energia (SEE)

V dnešnej modernej priemyselnej prevádzke je nevyhnutné včasné zistenie poškodeného ložiska strojného zariadenia. Dôležité je tiež predvídanie vzniku možných porúch, a tým predchádzať zbytočným časovým stratám vo výrobe. Rovnako významné je tiež, aby použitá monitorovacia metóda bola spoľahlivá a nespôsobovala zbytočné časové straty v dôsledku neopodstatnených varovaní.

Doposiaľ bolo splnenie vyššie uvedených požiadaviek problémom.

Táto metóda má dve významné prednosti. Je veľmi citlivá na poškodenie v ložisku, pretože využíva monitorovanie na veľmi vysokých frekvenciách do 350 kHz. Druhou prednosťou tejto metódy je jej necitlivosť na bežné mechanické vibrácie.

Spracovaním vysokofrekvenčných signálov získaných z monitorovania pomocou najmodernejšej techniky získame nízkofrekvenčný signál obsahujúci všetky potrebné informácie, ktoré sú už ľahko analyzovateľné.

Táto synergetická kombinácia, hore uvedených techník, bola už použitá u množstva meracích zariadení – u jednoduchých prístrojov i u meracích ústrední na najmodernejšej technickej úrovni. Tiež tak u meracích prístrojov pre bežné monitorovanie, ktorých využitie neustále rastie.

Meranie na 300 kHz znamená, že meriame vo frekvenčnom rozsahu, ktorý je známy ako **Akustická Emisia (AE)**. Je dobre známe, že s meraním AE je možné monitorovať rast trhliny prinajmenšom v laboratórnych podmienkach. To je práve jadro veci, so SEE sme schopní objaviť rastúcu trhlinu predtým, ako spôsobí škodu. Ale toto je stále ešte sféra teórie a jedna z mnohých možností SEE, ktoré majú byť skúmané.

SEE technológia monitoruje stav ložiska v pásme 250-350kHz, čím sa vyhýba nízkofrekvenčným rušivým vplyvom a vysokofrekvenčným štruktúrnym vplyvom. Výsledkom všetkého je vyšší stupeň monitorovania stavu ložísk.

Technológia SEE odhaľuje rázový signál, ktorý sa objavuje pri prevaľovaní cez defekt, alebo keď sa poruší olejový film a dôjde k vzniku KOV-KOV kontaktu.

To umožňuje zisťovať také javy ako sú:

- diery,
- trhliny,
- odlupovanie,
- nečistoty,
- kovový styk,

Pokiaľ nie je normálny priebeh signálu SEE známy, použijeme k ohodnoteniu mohutnosti signálu SEE nasledujúcu tabuľku ako vodítko.

Čísla sú uvedené v stupnici SEE.

0-3	žiadna identifikovateľná závada
3-20	problém s mazaním, znečistenie, defekt ložiska pri malom zaťažení, alebo malý defekt pri normálnom zaťažení
20-100	defekt ložiska, alebo znečistenie
100+	vážna závada ložiska

Tab. 3 Tabuľka hodnôt SEE

3.12 Obáľková metóda

Činnosť ložísk a záber ozubených kolies, ktoré majú opakujúci sa charakter, vytvárajú vibračné signály s oveľa nižšou amplitúdou a vyššími frekvenciami, ako je tomu u vibračných signálov budenými otáčkami alebo konštrukciou. Odfiltrované sú rotačné vibračné signály a zosilnené opakujúce sa zložky signálu od defektov v ložiskách.

Cieľom obáľkovania je odfiltrovať vibračné signály nízkych kmitočtov súvisiacich s otáčkami a zvýrazniť signály od závad ložísk, ktoré sa objavujú vo frekvenčnej oblasti príznačnej pre poruchy ložísk. Najbežnejšou aplikáciou obáľkovania sú závady ložísk s valivými elementmi a analýza záberu ozubených kolies, kde nízka amplitúda opakujúceho sa vibračného signálu môže byť skrytá vo vibračnom šume stroja pochádzajúcich od otáčok a konštrukcie.

Napríklad, pokiaľ sa u ložiska s valivými elementmi objaví defekt na jeho vonkajšej dráhe, tak každý valivý element prechádzajúci týmto miestom vyvoláva malý opakujúci sa signál s frekvenciou odpovedajúcou závade v ložisku. Tento vibračný signál má však tak nízku energiu, že pri meraní celkových (overall) vibrácií je celkom „stratený“ v šume, budenými inými rotačnými a štruktúrnymi javmi.

Aby bolo možné sa zamerať na tieto opakujúce sa zložky vo frekvenčnom rozsahu, typické pre defekty ložísk (napr. opakujúce sa vibračné signály ložísk), sú obáľkovaním odfiltrované nízkofrekvenčné signály a zvýraznené periodické rázové signály, ktoré zamerajú našu pozornosť na opakujúce sa udalosti vo frekvenčnom rozsahu, odpovedajúcim defektom v ložisku.

V poslednej dobe bolo preukázané, že táto meracia metóda môže byť úspešným indikátorom hlavných problémov strojov. Defekty ložísk s valivými elementmi, poškodenie

zubov v prevodovkách, porúch elektrických motorov/statorov sú príklady pre aplikáciu obáľkovania zrýchlenia.

Pozn.: Obáľkové signály môže ovplyvňovať tuhosť ložiska. Napríklad, ak je ložisko veľmi zaťažené, je vibračná energia od opakujúcich sa impulzov malá a meranie obáľky sa stáva menej efektívne. V takom prípade môže byť užitočnejšie meranie SEE.

Avšak všeobecne „vyššie ako normálne“ hodnoty obáľky indukujú závalu. Pokiaľ nie je pôvodný priebeh signálu obáľky k dispozícii, používa sa ako vodičko pre ohodnotenie závažnosti hodnôt obáľky nasledujúca tabuľka.

Pre magneticky uchytené a namontované snímače.

Microlog - Multilog				
	Pásmo I	Pásmo II	Pásmo III	Pásmo IV
Dobrý	0-2 mG	0-20 mG	0-0,4 G	0-1,5 G
Uspokojivý	2-10 mG	20-200 mG	0,4-4 G	1,5-15 G
Neuspokojivý	10-50 mG	0,2-0,5 G	4-10 G	15-75 G
Neprijateľný	50+ mG	0,5+ G	10+ G	75+ G

Realizácia programu modelovania vplyvu nesúosovosti

Tab. 4 Tabuľka hodnôt ENV pre jednotlivé frekvenčné pásma

3.13 Technická diagnostika

Technická diagnostika, je zisťovanie stavu strojov a zariadení rôznymi metódami použitím dostupných diagnostických prostriedkov – prístrojov, snímačov, PC, software, atď. Pomocou technickej diagnostiky sa dá dnes pomerne ľahko zistiť stav stroja, ale pri dôslednejšom použití možností diagnostiky sa dajú objaviť príčiny spôsobujúce stav sledovaného stroja, ktoré sa niekedy bez diagnostiky hľadajú len ťažko. Na druhej strane, niekedy stačí položiť správnu otázku obsluhujúcemu personálu a pri pozornom počúvaní odpovedí sa dá určiť diagnóza aj bez merania. Avšak v prípadoch, kde sa stretáva viac problémov súčasne je technická diagnostika veľmi dobre využiteľný prostriedok na ich zisťovanie, čím je spôsobený ten – ktorý problém.

3.14 Detekcia a analýza

Príčina a následok

Existuje veľký rozdiel medzi zistením závady stroja a analýzou príčiny jej vzniku. Púha výmena ložiska vykazujúceho známky opotrebenia spôsobeného silnými vibráciami

nemusí problém vôbec vyriešiť. Obvykle na stroji existuje nejaká iná závada, ktorá je príčinou nadmerného opotrebenia ložísk. Aby sa mohol vyriešiť problém opotrebovania ložísk, musí sa zistiť pôvod vzniku závady (nesúosovosť, uvoľnenie, nevyváženosť). Pokiaľ sa toto neurobí, nedá sa hovoriť o realizácii monitorovania prevádzkového stavu strojov, ale iba o programe výmeny ložísk.

Včasná detekcia závady je základným predpokladom pre možnosť plánovania nápravných zásahov a týmto i minimalizáciu prestojov strojov.

Po odhalení závady treba i v ďalších krokoch analýzy uplatňovať postup príčina – následok. Iba tak sa dá dosiahnuť, že sa problém už nebude opakovať.

4. TRIBOTECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

Tribotechnická diagnostika je jednou z metod bezdemontážní technické diagnostiky využívající maziva jako media pro získání informací o dějích a mechanických změnách v technických systémech, u nichž jsou maziva aplikována. Jejím posláním je zjišťovat, vyhodnocovat a oznamovat výskyt cizích látek v mazivu, a to jak z hlediska kvantitativního, tak i kvalitativního. Vhodná interpretace výsledků z provedených zkoušek umožňuje nejen včasné upozornit na příznaky vznikající poruchy, ale v řadě případů umožní i lokalizaci místa vzniku mechanické závady.

Nedílnou složkou sledování maziv pro účely tribotechnické diagnostiky je i sledování projevů a následků procesu degradace maziv v průběhu jejich provozního nasazení. Oba uvedené cíle spolu úzce souvisejí a nemohou být proto posuzovány odděleně.

Význam tribotechnické diagnostiky spočívá v tom, že je účinným a objektivním nástrojem sledování procesu opotřebení mechanických systémů s předpokladem vhodného využívání maziv.

Při práci stroje nebo strojního zařízení se opotřebením uvolňují částice kovů nebo jejich sloučeniny. Tyto produkty opotřebení jsou mazacím olejem vyplavovány z třecích míst a spolu s olejem cirkulují v mazací soustavě stroje. Se vzrůstajícím opotřebením se zvyšuje koncentrace těchto příměsí v oleji.

Obecně množství produktu opotřebení v určitém okamžiku závisí na množství oleje v mazací soustavě, počáteční koncentraci těchto produktů, na době provozu stroje, na množství příměsí přicházejících do oleje, na množství dolévaného oleje a na funkci olejových čističů.

4.1 Metody tribotechnické diagnostiky

Rozhodujícím faktorem pro TTD je rychlost a přesnost provedeného rozboru. Pro hodnocení bylo vypracováno mnoho metod s různým stupněm použitelnosti. Jednotlivé druhy můžeme rozdělit do třech skupin :

1. Jednoduché zkoušky pro provozní kontrolu maziv.
2. Standardní zkoušky pro přesné stanovení kvality maziv (převážně ČSN).
3. Speciální metody pro celkovou diagnostiku maziv a strojního zařízení.

4.2 Odběr vzorku

Vzorek musí představovat průměrné složení používaného maziva ve strojním zařízení. Pro odběr vzorku je vypracováno několik základních postupů, které jsou zakotveny v ČSN. Nejpřesnější a pracovně náročná je ČSN 65 6207. Jedná se o odběr vzorků hydraulických kapalin, kde je tedy nutné věnovat zvýšenou pozornost množství a velikosti nečistot.

Všeobecně se vzorky odebírají do čistých vzorkovnic o obsahu 300 ml. Strojní zařízení musí být minimálně 20 minut v provozu z důvodu dokonalého promíchání a ohřátí oleje na provozní teplotu. Pak odpustíme cca 500 ml oleje do čisté nádoby a nalijeme zpět do

zařízení. Po propláchnutí odběrných zařízení provedeme odběr cca 200 - 250 ml oleje. Odebraný vzorek popíšeme a předáme ke zkoušce. Popis vzorku musí být přesný a čitelný.

Na odběru vzorku závisí výsledek diagnostiky, a proto je mu nutné věnovat mimořádnou pozornost.

4.3 Hodnocení olejů

Po odběru vzorku je nutné provést předběžnou vizuální prohlídku oleje.

Posoudíme :

- barvu oleje
- přítomnost volné a vázané vody
- viditelné mechanické nečistoty
- zápach oleje (zředění palivem, přepálený olej v hydraulických zařízeních).

Dále podrobíme olej laboratorním testům. Zde už dělíme oleje podle jejich použití. Základní rozdělení je na oleje *motorové, průmyslové a speciální*. Doporučené mezní jakostní ukazatele je nutné posuzovat velmi pečlivě a pro jednotlivá zařízení je dále popř. rozšiřovat. Hodnoty, které doporučujeme pro jednotlivé oleje, vycházejí z dlouholetých provozních zkušeností. Uvedené parametry je nutno považovat za doporučené pro všeobecnou orientaci a nebrat je dogmaticky pro všechna zařízení a oleje.

Motorové oleje

	Benzinové motory	Naftové motory
Viskozita - zvýšení - snížení	max. o 20 % max. o 15 %	max. 25 % max. 20 %
Obsah paliva	max. 5 %	max. 5 % menší motory max. 7 % velké motory
Bod vzplanutí	min. 140 ⁰ C	min. 200 ⁰ C menší motory min 170 ⁰ C velké motory
Karbonizační zbytek (CCS)	max. 4 % hm.	max. 4% hm.
Látky nerozp. V HEO	max. 1,5 % hm.	max. 2,5 % hm.
Obsah vody	max. 0,2 % hm.	max. 0,2 % hm.
Obsah glykolu	negativní	negativní
TBN	min. 3 mg KOH/g	min. 2,5 mg KOH/g
Kapková zkouška		
Zbytkové prvky :		
Fe	max. 100 ppm	max. 100 ppm
Al	max. 40 ppm	max. 40 ppm
Cu	max. 40 ppm	max. 40 ppm
Pb	max. 40 ppm	max. 40 ppm
	(pro bezolov. benzin)	
Si	max. 20 ppm	max. 20 ppm

Tab. 5

Průmyslové oleje

Viskozita	$\pm 20 \%$
Číslo kyselosti	max. 1 až 1,5 mg KOH/g
Obsah vody	max. 0,2 % max. 0,1 % u vysokotlaké hydrauliky
Látky nerozpustné v toluenu	max. 1 % hm.
Obsah zadíracích nečistot	nepřítomny

Tab. 6

4.4 Hodnocení čistoty olejů v provozu velkých točivých strojů

Velké točivé soustrojí, tj. turbokompresory, turbogenerátory, plynové turbíny apod., pro zajištění dlouhodobého a bezporuchového provozu používají turbínové oleje viskozitních tříd ISO VG 32 a 46.

Oleje u těchto soustrojí musí zajistit dokonalé mazání ložisek a převodovek. Olej dále slouží jako hydraulická a regulační kapalina, v době odstávky jako konzervační prostředek apod.

Provoz těchto zařízení je dlouhodobý s minimálním množstvím odstávek, které vždy znamenají značné ekonomické ztráty.

Olejové hospodářství těchto soustrojí obsahuje 5 000 až 60 000 l oleje. Výměny olejů se provádí až na základě tribotechnické diagnostiky s tím, že oleje jsou v provozu 10 až 15 let. Podle provozních zkušeností se olejové systémy doplňují cca 7 – 10 % oleje ročně.

Pro hodnocení jakosti olejů jsou vypracovány provozní předpisy, které jsou ve většině provozu podobné. Při dlouhodobém sledování jednotlivých soustrojí je možno jednoznačně konstatovat, že jakostní parametry olejů jsou ve většině případů v provozu dodržovány. Oleje jsou velmi dobré jakosti a vysoce přesahují požadavky provozu. Statisticky bylo prokázáno, že největším nebezpečím pro provoz je obsah mechanických nečistot v oleji, vody, popřípadě úbytek přísad. Hlavní pozornost je však nutné věnovat především čistotě olejů. Nečistoty mají řadu negativních vlivů, a to na funkci ložisek, převodovek, hydraulických prvků a na regulaci. V současné době se provádí hodnocení převážně podle normy ISO 4406 (ČSN 65 6206), kde se stanovuje množství nečistot v 1 ml kapaliny, a to větších než 5 μm a větších než 15 μm . Je zpracována řada doporučení, která ukazují, kdy je provoz bezpečný a naopak, kdy hrozí z hlediska nečistot nebezpečí v provozu.

Kontrolu řady významných soustrojí provádíme pravidelně již od roku 1995. Zde se jednoznačně prokázalo, že při zjištění větších nečistot je nutné provést přefiltrování oleje. Olejové systémy, kde je dodržována čistota minimálně na hodnotách 18/16 je provoz bez větších problémů. Při pravidelných kontrolách se toto nejvíce projevuje v oblasti ložisek a regulace. Ložiska jsou po dlouhodobém provozu čistá, bez poškrábání, a proto se provádí zpravidla jen běžná kontrola bez nutnosti úpravy ložisek před puštěním do dalšího provozu.

Příkladem je sledování 8 turbogenerátorů v provozu Severozápadní teplárenské společnosti v Komořanech u Mostu. Zde je prováděna každý měsíc kontrola čistoty olejů a je sledován obsah vody.

Po různých provozních problémech byl postupně za plného provozu přefiltrován všechen olej a v současné době se provozuje v oblasti čistoty 15/13. U všech strojů je prováděna průběžná údržba bez nutnosti zásahu do olejových okruhů. Celkově se snížila poruchovost soustrojí na minimum.

Podobný způsob kontroly je zaveden v řadě provozů elektráren a tranzitního plynovodu. V provozech tranzitního plynovodu jsou oleje bez výměny již převážně více než 20 let. Důležité je zde opět dodržování základních jakostních parametrů oleje a předně jeho čistoty.

Závěrem je možno konstatovat, že rozhodující pro provoz všech velkých soustrojí je používání jakostních turbínových olejů, které je pak třeba pravidelně kontrolovat. Zvláštní péči je nutné věnovat čistotě oleje, která jednoznačně ovlivní spolehlivost provozu a dlouhodobou životnost olejových náplní.

Při dodržování čistoty olejových náplní podle ISO 4406 na kódu 18/16 lze předpokládat minimální opotřebení. Při dalším zvýšení čistoty se úměrně prodlužuje životnost těchto rozhodujících funkčních uzlů významných soustrojí.

Zajištění čistoty olejů se provádí několika způsoby filtrace. Základní filtrační jednotky jsou zabudovány v mazacím okruhu a udržují potřebnou čistotu s nízkou tlakovou ztrátou.

Pro zajištění vyššího stupně čistoty se zabudovávají velmi jemné obtokové filtry, a to buď pro trvalou jemnou filtraci s poměrně nízkým průtokem, nebo se využívají vysoce výkonné přídavné filtry, které odstraní jednak nečistoty z oleje a dále postupně dočistí celý olejový systém.

Dočištění olejů se v současné době provádí řadou filtračních zařízení, a to převážně dodavatelským způsobem. Úroveň je však často dost rozdílná a právě dokonalá kontrola čistoty rozhoduje o tom, komu svěřit tyto služby, které dále mohou rozhodovat o životnosti významných strojních zařízení.

4.5 Návrh kontroly olejových náplní v provozu velkých točivých strojů

Průběžné kontroly :

	termín kontroly	hodnoty
Vzhled	denně	vizuální kontrola – nesmí být žádná změna, olej čirý, bez zápachu, vody a sedimentů
Barva	denně	vizuální kontrola, nesmí dojít k výrazné změně
Číslo kyselosti	za 3 měsíce	zvýšení max. o 0,2 mgKOH/g
Kinematická viskozita	za 6 měsíců doporučené hodnoty	rozdíl od původní ± 10 až 15% (-26-40 mm ² .s ⁻¹ /40 ⁰ C) TB 32 (38-60 mm ² .s ⁻¹ /40 ⁰ C) TB 46
Bod vzplanutí	2 x ročně	min. 180 ⁰ C
Obsah vody	za 3 měsíce	max. 0,05 % (500 ppm)
Deemulgační charakteristika	za 6 měsíců	max. 30 min.
Látky nerozpustné v hexanu	za 6 měsíců	max. 0,1 %
Obsah přísad	1 x ročně	obsah přísad nesmí poklesnout pod 25 % původního obsahu
Mechanické nečistoty	za 6 měsíců	kód čistoty podle ČSN 65 6206, max. 18/16
Koroze	za 6 měsíců	nepřítomna

V případě zjištění vizuální změny je nutné provést ihned komplexní rozbor oleje.

4.6 Tabulka pravděpodobnosti nebezpečí poruch

Výtah z normy ISO 4406						Z	
TŘÍDA ČISTOTY DLE ISO	Počet částic ve 100 ml				TŘÍDA	Ó	
	Velikost > 5 µm		Velikost >15 µm		ČISTOTY DLE NAS	N	
	od	do	od	do			A
10/07	500	1000	64	130	2	B E Z P E Č N Á	
11/08	1000	2000	130	250	3		
12/09	2000	4000	250	500	4		
13/08	4000	8000	130	250	5		
13/10	4000	8000	500	1000			
14/09	8000	16000	250	500	6		
14/11	8000	16000	1000	2000			
15/09	16000	32000	250	500	7		
<u>15/12</u>	<u>16000</u>	<u>32000</u>	<u>2000</u>	<u>4000</u>			
16/12	32000	64000	2000	4000	8		
16/14	32000	64000	8000	16000			
17/12	64000	130000	2000	4000	9		
17/14	64000	130000	8000	16000			
18/12	130000	250000	2000	4000	<u>10</u>		
<u>18/15</u>	<u>130000</u>	<u>250000</u>	<u>16000</u>	<u>32000</u>			
19/14	250000	500000	8000	16000	N E B E Z P E Č N Á		
19/17	250000	500000	64000	130000			11
20/15	500000	1000000	16000	32000			12
20/17	500000	1000000	64000	130000			
21/17	1000000	2000000	64000	130000		13	
21/19	1000000	2000000	250000	500000			
22/17	2000000	4000000	64000	130000		14	
22/19	2000000	4000000	250000	500000			
23/17	4000000	8000000	64000	130000		15	
23/19	4000000	8000000	250000	500000			
24/20	8000000	18000000	500000	1000000		16	
24/24	8000000	18000000	8000000	18000000			

