



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**PROAKTIVNÍ SYSTÉM ÚDRŽBY STROJŮ VE
STROJÍRENSKÉ PRAXI**

PROACTIVE SYSTEM MAINTENANCE MACHINES IN ENGINEERING PRACTICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bronislava Křižanová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka: **Bronislava Křižanová**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce: **doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Proaktivní systém údržby strojů ve strojírenské praxi

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Firma SMC Industrial Automation CZ s.r.o. Vyškov se zabývá výrobou, distribucí a servisem pneumatických prvků i prvků pro průmyslovou automatizaci. V současné době se zaměřuje ve svých provozech na rozvoj systémů údržby obráběcích strojů, které vychází z výsledků technické diagnostiky.

Cíle bakalářské práce:

1. Pojednejte obecně o údržbě a diagnostice se zaměřením na stroje obráběcí.
2. Soustřeďte se na výběr vhodných metod technické diagnostiky pro posouzení stavu obráběcího stroje s ohledem na provoz ve firmě SMC Industrial Automation CZ s.r.o. Vyškov.
3. Vytvořte návrh systému proaktivní údržby obráběcích strojů v uvedené firmě.
4. Navrhněte metodiku měření.
5. Realizujte vybraná diagnostická měření.
6. Dosažené výsledky řešení posuďte s ohledem na vytvořený proaktivní systém údržby (dle bodu 3.) pro firmu SMC Industrial Automation CZ s.r.o. Vyškov, navrhněte další postup a doporučení v řešení dané problematiky.

Seznam literatury:

VORLÍČEK, Zdeněk. Spolehlivost a diagnostika výrobních strojů. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1991. 128 s. ISBN 80-01-00510-0.

KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. Technická diagnostika. Senzory - metody - analýza signálu. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. 408 s. ISBN 80-7300-158-6.

HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. Technická diagnostika a spolehlivost, II. Vibrodiagnostika. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005. 178 s. ISBN 80-248-0650-9.

LEGÁT, Václav a kol. Management a inženýrství údržby. 1. vyd. Příbram: Kamil Mařík PBtisk, 2013. 570 s. ISBN 978-80-7431-119-2.

GREŇČÍK, Juraj a kol. Manažérstvo údržby- Synergia a teorie a praxe. 1. vyd. Košice: Slovenská spoločnosť údržby vo vydavateľstve: BEKI design, s.r.o Košice, 2013. 630 s. ISBN 978-80-89522-03-3.

MYKISKA, Antonín. Bezpečnost a spolehlivost technických systémů. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006. 206 s. ISBN 80-01-02868-2.

PAČAIOVÁ, Hana. Riadenie údržby II. Efektivnosť a bezpečnosť v údržbe. 1. vyd. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2011. 112 s. ISBN 987-80-553-0856-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 4. 11. 2016



doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto záverečná práca sa zaoberá problematikou proaktívnej údržby obrábacích strojov. Sú tu opísané rôzne systémy údržby, najčastejšie diagnostické metódy a ďalej je vybraná vhodná metóda technickej diagnostiky pre obrábacie strojné zariadenia vo firme a to tribodiagnostika. Tribotechnická diagnostika je rozvíjajúca sa metóda vhodná pre akýkoľvek stroj, kde sa používa mazací systém alebo obrábacia emulzia. Praktická časť sa zameriava na rozbor zavedeného systému údržby vo firme, ďalej uvádzam prehľad rozborov a meracích prístrojov tribodiagnostiky pre obrábací stroj. Následne je doporučený ďalší postup v oblasti proaktívneho riešenie systému údržby vo firme SMC Industrial Automation CZ s.r.o. Vyškov.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the topic of proactive maintenance of machine tools. Different systems of maintenance, most widespread methods of diagnostics are described in the thesis and then there is selection of appropriate method of technical diagnostic state for machine tools in company. Tribological diagnostic is developing method and apposite for any kind of machines with lubricating system or machining emulsion. In practical part, it is focused on the analysis of installed maintenance system in the company, overview of actual analysis and measuring instruments of tribological diagnostic for machine tool. Prior to the end the process in field of proactive solving of systems of maintenance has been recommended for SMC Industrial Automation CZ LLC Vyškov.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

proaktívny systém údržby, údržba strojných zariadení, korektívna údržba, preventívna údržba, prediktívna údržba, spoľahlivosť obrábacích strojov, diagnostika strojných zariadení, diagnostický systém, tribotechnická diagnostika, tribotechnické meranie, tribotechnický rozbor

KEYWORDS

proactive maintenance, maintenance of machines, corrective maintenance, predictive maintenance, preventive maintenance, reliability of machine tools, diagnostic of machines, diagnostic system, tribological diagnostic, tribological measurement, tribological analysis

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

Křižanová, B. *Proaktivní systém údržby strojů ve strojírenské praxi*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 57 s., Vedúci bakalárskej práce doc. Ing. Miloš Hammer. CSc.

POĎAKOVANIE

Pod'akovanie by som chcela venovať doc. Ing. Milošovi Hammerovi, CSc. za cenné a praktické rady a za prínosné vedenie pri vypracovaní záverečnej práce.

Ďalej ďakujem firme SMC Industrial Automation CZ s.r.o. vo Vyškove za poskytnutie informácii o systéme prevádzky vo firme a za informácie o strojnom zariadení.

Nakoniec by som chcela poďakovať mojej rodine za podporu a trpezlivosť počas štúdia.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracovala som ju samostatne pod vedením doc. Ing. Miloša Hammera CSc. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 26.5.2017

.....
Križanová Bronislava

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	OBRÁBACIE STROJE	17
2.1	Automatizované obrábacie stroje	17
2.2	Spôľahlivosť obrábacích strojov	17
3	ÚDRŽBA	19
3.1	Organizácia údržby v podniku	19
3.1.1	Základné rozdelenie foriem organizácie údržby v podniku	19
3.2	Rozdelenie typov údržby	20
3.2.1	Korektívna údržba -údržba po poruche	20
3.2.2	Preventívna systematická údržba-s dopredu stanoveným intervalom	21
3.2.3	Preventívna údržba-podľa stavu	21
3.2.4	Prediktívna údržba-údržba podľa predpokladaného stavu	21
3.3	Proaktívna údržba	21
3.4	Totálne produktívna údržba TPM	22
4	TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA	25
4.1	Tribodiagnostika	26
4.1.1	Tribologické procesy a opotrebenie	27
4.1.2	Vlastnosti a rozdelenia mazív	27
4.1.3	Rozdelenie hlavných úloh TTD	28
4.1.4	Obrábacie kvapaliny	30
4.2	Termodiagnostika	31
4.3	Vibrodiagnostika	32
5	PRAKTICKÁ ČASŤ	35
5.1	SMC Vyškov	35
5.2	Aktuálny systém údržby vo firme	38
5.3	Tribotechnická diagnostika	40
5.3.1	Prehľad metód, prístrojov tribodiagnostiky a ich ceny	41
5.3.2	Tribodiagnostické meranie	44
5.4	Odporúčania pre firmu v oblasti proaktívnej údržby	45
6	ZÁVER	49
7	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	51
8	ZOZNAM SYMBOLOV, SKRATIEK, OBRÁZKOV A TABULIEK	55
8.1	Zoznam skratiek a symbolov	55
8.2	Zoznam tabuliek	56
8.3	Zoznam obrázkov	56
9	ZOZNAM PRÍLOH	57

1 ÚVOD

Prvé zmienky o jednoduchých krokoch údržby boli spozorované už v rokoch pred naším letopočtom, kedy si pravekí ľudia vyrábali prvé primitívne nástroje (z kameňa, dreva, kostí a klov zvierat) a potrebovali si ich udržiavať a opravovať. V stredoveku to bol Leonardo da Vinci ktorý vymyslel prvý typ valcového ložiska a pre zachovanie funkcie valivého trenia bolo potrebné vhodné mazanie.

Tieto základné postupy údržby sú známe ako údržba po poruche. Tento spôsob však moderným výrobným podnikom už nestačí. Manažéri boli nútení kvôli zvyšujúcim sa požiadavkám zákazníkov na kvalitu výrobkov, konkurencieschopnosti, spoľahlivosti a taktiež redukcii nákladov na opravu pristupovať k novým prvkom a postupom údržby - a to k preventívnym kontrolám, resp. k proaktívnej metóde.

Mnoho podnikov ešte donedávna považovalo náklady na prevenciu za zbytočné, avšak poznatky z praxe a moderný trend preventívnej údržby dokazuje, že vhodnými postupmi pravidelných kontrol je možné ušetriť nielen finančné prostriedky ale aj časové prestoje potrebné pri samotných opravách strojov po poruche. K správne mu určeniu a naplánovaniu jednotlivých častí preventívnej údržby slúžia metódy technickej diagnostiky. Pomocou výsledkov meraní a skúšok daného typu diagnostiky vieme predpokladať možnú poruchu stroja (buď opotrebovaním, zadrhnutím pri nesprávnom vyvážení, nedostatočnou kvalitou mazania...) a tento nedostatok včas odhaliť a opraviť.

V teoretickej časti mojej bakalárskej práce budem popisovať rozdelenie údržby aplikovanej na prevádzku obrábacích strojov, metódy technickej diagnostiky a jednotlivé postupy pri zisťovaní stavu objektov. Tieto teoretické informácie neskôr využijem v praktickej časti, v ktorej vypracujem rozbor merania pomocou diagnostickej metódy a ďalej vytvorím odporúčania pre proaktívny systém údržby pre obrábací stroj vo firme SMC Industrial Automation CZ s.r.o. Vyškov.

2 OBRÁBACIE STROJE

Pri rozvoji každej spoločnosti je potrebné, aby sa rozvíjala a zdokonaľovala jej ekonomická základňa. Inak povedané, mieru úspechu rozvoja spoločnosti ovplyvňuje najmä rast ekonomiky. Priemyselná výroba rastie na základe technickej úrovne výrobných procesov, pričom túto úroveň ovplyvňuje najmä strojárstvo. Najväčší podiel výroby pripadá obrábaniu, resp. výrobe na obrábacích strojoch.

História obrábacích strojov sa začína v 19. storočí pri vynáleze parného stroja, potom pri vynáleze elektrického motora. Tieto objavy znamenali zásadný začiatok vývoja obrábacích strojov v krajinách ako je Veľká Británia, Nemecko a USA. V bývalom Československu sa vývoj oboru obrábacích strojov datuje už do obdobia pred 1. svetovou vojnou kedy vznikajú napr. Škodovy závody v Plzni a Spojené strojárny v Prahe. Ale hlavný rozmach vývoja môžeme zaradiť do obdobia po 2. svetovej vojne. Kvôli rozvoju rôznych technologických procesov sa analogicky vyvíjali aj typy obrábacích strojov.

Definícia výrobného stroja znie takto: Výrobný stroj je spravidla stacionárne zariadenie pre určitý technologický proces, kde na základe prívodu energie a využitia ďalších, fyzikálnych, chemických či iných princípov je uvedená činná dvojica stroj-súčasť do relatívnych, riadených pohybov tak, že na konci výrobného cyklu obdržíme geometricky definovaný tvar hotového výrobku. [1]

2.1 Automatizované obrábacie stroje

Postupným zdokonaľovaním výrobných strojov a zvyšovaním nárokov na kvalitu sériovej výroby sa začali objavovať prvky automatizácie. Tá mala za cieľ znížiť pracovnú silu, resp. čo najviac presunúť riadenie výroby na počítač, zvýšiť produktivitu pri zachovaní kvality výrobkov, znížiť výrobné náklady (lepšia organizácia výroby, zníženie nákladov na mzdách pracovníkov, úspora materiálu, úspora energií, ...), optimalizácia procesov. [2]

Vyvinutie mikroprocesorov v 70. rokoch 20. storočia umožnilo aby ich stroje používali na vlastné automatické riadenie. Tento princíp tvorí základ v strojoch riadených automaticky, tzv. programovateľných automatov CNC. [3]

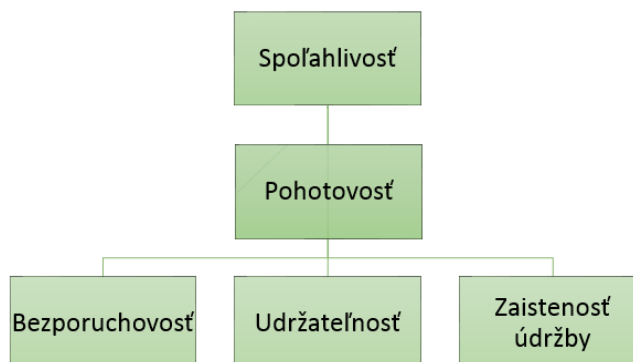
Číslicovo riadené výrobné stroje CNC¹ môžeme definovať ako: Stroje, ktoré sú pružne nastaviteľné a je možné ich rýchlo prispôbiť inej obdobnej výrobe. Pracujú v automatizovanom cykle, ktorý je zaistený číslicovou výrobou. Uplatňujú sa vo všetkých oblastiach strojárenskej výroby a ich typickými predstaviteľmi sú sústruhy a frézky. [2]

2.2 Spôľahlivosť obrábacích strojov

Definícia vysvetľuje pojem spoľahlivosť ako: Spoľahlivosť je súhrnný termín používaný pre opis pohotovosti a činiteľov, ktoré ju ovplyvňujú: bezporuchovosť, udržateľnosť a zaistenosť“ [4]

¹ Z anglického Computer Numerical Control, teda počítačom číslicovo riadený (stroj)

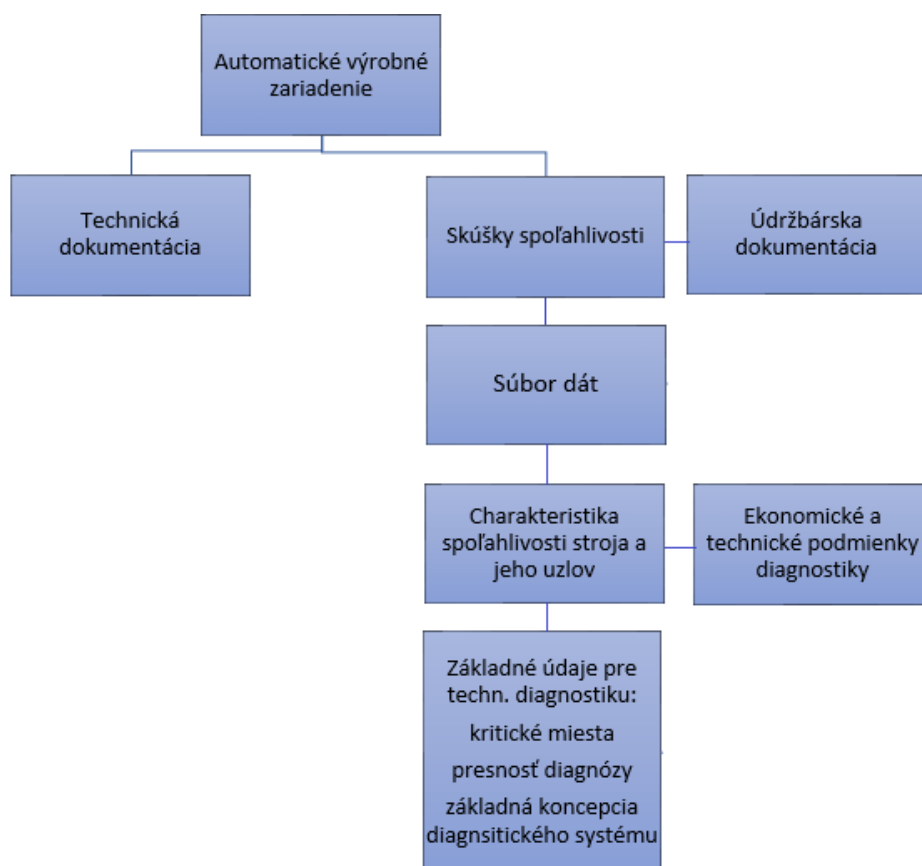
Na rozdiel od funkčných parametrov, ktoré sa stanovujú povolenými toleranciami, je spoľahlivosť určená len ukazovateľmi, ktoré majú pravdepodobnostný charakter, resp. určujú sa pomocou predpovede ich nasledujúceho vývinu. [5]



Obr. 1) Definícia spoľahlivosti [4]

Získavanie charakteristík spoľahlivosti

Pomocou charakteristiky spoľahlivosti stroja vieme vytvoriť základy technickej diagnostiky (kapitola 4.), tzv. analytickú diagnostiku. Pre jej potreby najčastejšie používame vlastnosti bezporuchovosti jednotlivých častí stroja. Využívame k tomu napr. analýzy spoľahlivosti, zber dát o poruchách a opravách na strojnom zariadení. Na obrázku 2 je prehľad štruktúry činností. [6]



Obr. 2) Štruktúra analytickej diagnostiky [6]

3 ÚDRŽBA

Už od dávnych vekov sprevádza údržba život človeka. Tak ako rozvíjal človek spoločnosť, zvyšoval sa aj význam údržby. Bolo typické, že opravu zabezpečoval výrobca, resp. dodávateľ daného predmetu alebo samotný užívateľ. S rozširujúcou sa zložitou strojných zariadení, bolo potrebné začať organizovať a plánovať opravy. Systém údržby bol najskôr založený na čo najrýchlejšej oprave poruchy, neskôr začali prevládať postupy preventívnej údržby, vďaka ktorým sa minimalizovala poruchovosť, zvýšila sa spoľahlivosť, čo umožnili metódy technickej diagnostiky. [7]

Z definície „Údržba predstavuje proces riadenia ako kombinácia všetkých technických, administratívnych a manažérskych opatrení počas životného cyklu objektu, zameraných na udržanie v stave alebo navrátenia do stavu, v ňom môže vykonávať požadovanú funkciu, pri zohľadnení optimálnych nákladov a požiadaviek na kvalitu, bezpečnosť a prostredie.“ [8]

3.1 Organizácia údržby v podniku

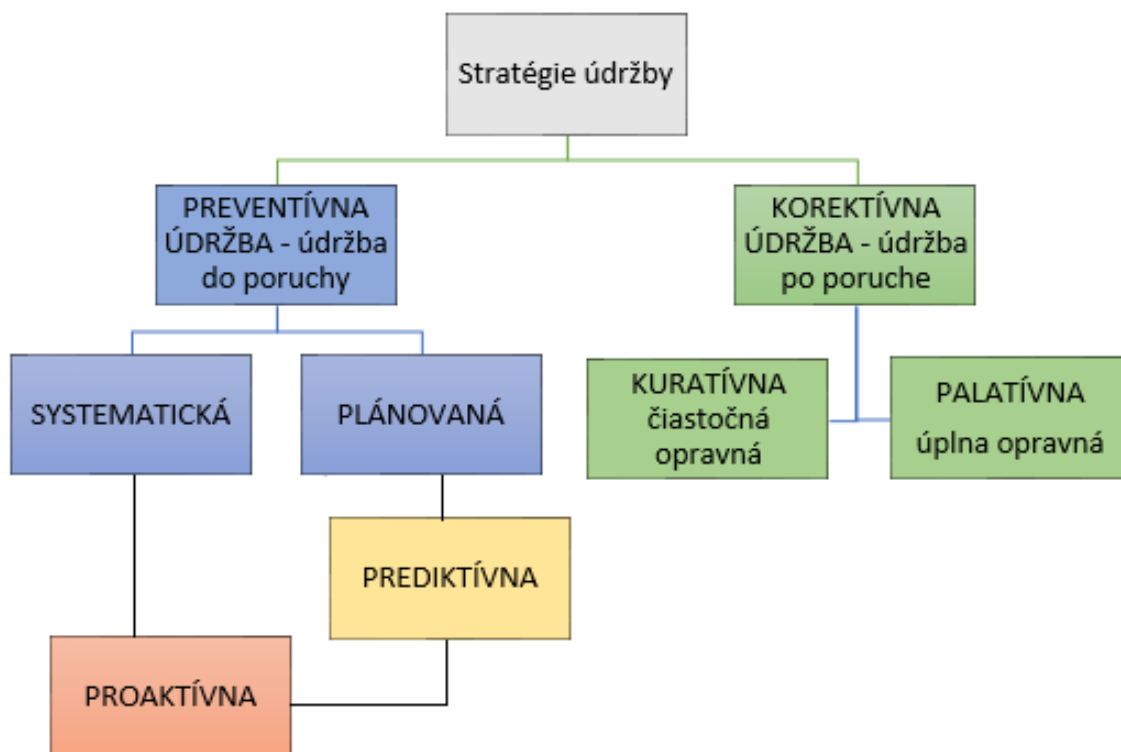
K vykonávaniu údržby v podniku patrí jej riadenie. Cieľom systému údržby je prostredníctvom efektívnej organizácie uplatňovanie politiky údržby počas všetkých aktivít, či už technickej alebo riadiacej povahy. Vo všeobecnosti platí, že pre väčší počet strojných zariadení a pracovníkov, je potrebný dôkladnejší systém riadenia údržby. Samozrejme sú rozdiely v organizácii údržby v iných odvetviach priemyslu. S nárastom automatizácie a robotizácie narastajú nároky na údržbu a tým aj počet kvalifikovaných pracovníkov v údržbe. [9]

3.1.1 Základné rozdelenie foriem organizácie údržby v podniku

- 1) Centralizovaná organizačná forma - táto forma spočíva v tom, že jeden útvar je zodpovedný za všetky aktivity údržby. V tomto útvere sa nachádzajú jednotlivé skupiny odborníkov zameraných na rôzne typy problémov. Pri tejto forme je hlavná nevýhoda v zníženej komunikácii medzi pracovníkmi obsluhy stroja a údržby.
- 2) Decentralizovaná organizačná forma – pri tejto forme, organizácia pracovníkov spočíva v ich zaradení do skupín s potrebnými znalosťami a tieto skupiny patria do procesu výroby. Výhodou je dobrá komunikácia medzi útvarmi údržby a obsluhy, ako aj znalosť prevádzkových podmienok. Problémy však môžu nastať pri nejednotnom riadení a nesprávnom využití zdrojov na opravu.
- 3) Kombinovaná organizačná forma - kombinácia predošlých dvoch organizačných foriem, pričom sa snaží kombinovať ich výhody a minimalizovať nedostatky. [9]

3.2 Rozdelenie typov údržby

Hlavným cieľom údržby je hospodárenie s majetkom firmy a zabezpečenie bezporuchovej prevádzky strojných zariadení. Údržbu môžeme rozdeliť na štyri typy, resp. stratégie, podľa stavu stroju, toto rozdelenie je zobrazené na obrázku 3. [7] [8]



Obr. 3) Rozdelenia stratégií údržby [7]

3.2.1 Korektívna údržba -údržba po poruche

Je najstaršia forma údržby. Môžeme ju definovať ako súbor činností, ktoré vykonáme keď nastane porucha na strojnom zariadení, resp. na jeho súčasti. Hlavnou úlohou je čo najrýchlejšie navrátiť zariadenie do bezporuchového stavu². Splnenie úlohy sa vykonáva pomocou úplnej alebo čiastočnej (provizórnej) opravy. Druhá možnosť je pre prípad, ak nie je možné stroj opraviť úplne v danej chvíli, v prípade chýbajúcich prostriedkov (náhradné diely, špecializovaní odborní pracovníci a technika). Nevýhodou tejto stratégie sú vysoké náklady pri nákupe náhradných dielov, neplánované časové prestoje, náklady na likvidáciu odpadu a môže predstavovať aj riziko v podobe ohrozenia bezpečnosti pracovníkov. Veľmi dôležitú úlohu v tomto prípade má dôkladná technická dokumentácia, v ktorej zaznačíme všetky informácie o poruche a aj o jej oprave, o všetkých zásahoch a činnostiach vykonaných pri oprave súčasti ako aj o ich úspešnosti. [7] [8]

² Bezporuchovosť je schopnosť objektu plniť požadovanú funkciu v daných podmienkach a v danom časovom intervale.

3.2.2 Preventívna systematická údržba-s dopredu stanoveným intervalom

Typ údržby, ktorý je stanovený s presným časovým intervalom opakovania. Výmena či oprava komponentov do strojného zariadenia prebieha po stanovenom intervale na odporúčania výrobcu či podľa danej legislatívy. V tomto prípade sa často stáva, že náhrada danej súčiastky sa vykoná, hoci súčasť ešte nie je opotrebovaná, čiže táto výmena nie je úplne potrebná, pretože nie je presne možné stanoviť stav súčasti alebo sa vykonanie diagnostiky firme ekonomicky neoplatí. [7] [8]

3.2.3 Preventívna údržba-podľa stavu

Vďaka tejto stratégii je možné minimalizovať nevýhody predošlého typu údržby. Vykonávanie činností je založené na predošlom pozorovaní parametrov a vlastností strojného zariadenia, ako je hluk, vibrácie, kvalita povrchu, znečistenie maziva. Zásah do prevádzky stroja sa vykoná až keď sú spozorované limitné hodnoty pozorovaných veličín. Medzi nevýhody tejto údržby patria náklady na zaškolenie obsluhy a tiež komplikované plánovanie opráv na strojnom zariadení, pretože nevieme presne určiť kedy nastane porucha. [7] [8]

3.2.4 Prediktívna údržba-údržba podľa predpokladaného stavu

Táto údržba využíva možnosť určiť stav strojného zariadenia na základe metód technickej diagnostiky a pomocou nich správne predpokladať kedy nastane nepriaznivý stav a úspešne mu predchádzať. Táto forma údržby je síce nákladnejšia ako predošlé, no neochota firiem investovať do prevencie má za následok mnohonásobné zvýšenie nákladov na odstránenie porúch na strojnom zariadení. [7] [8]

3.3 Proaktívna údržba

Proaktívna údržba je najmodernejšia stratégia údržby v dnešnej dobe. Kombinuje v sebe spojenie preventívnej a prediktívnej údržby. Je zameraná na zamedzenie vzniku porúch, neustálom monitorovaní ich zdrojov a používa nápravné činnosti na odstránenie týchto zdrojov. [10] [11]

Systém proaktívnej údržby môžeme opísať ako jeden veľký útvar tvorený jednotlivými časťami, pričom je dôležité sledovanie interakcii medzi týmito časťami celku. Medzi ne patrí *sledovaný objekt* (strojné zariadenie), *tím tvorený jednotlivými pracovníkmi* (do tohto tímu patrí obsluha na stroji, vedúci danej zmeny, členovia údržby, členovia oddelenia kvality ale aj manažment vedenia vo firme), dôsledné vykonávanie *preventívnej údržby*, sledovanie stavu pomocou rôznych *metód technickej diagnostiky* a podľa výsledkov prevádzanie *prediktívnej údržby*, ale aj zakomponovanie moderného prístupu *online sledovania* stavu stroja a výrobného procesu priamo za prevádzky pomocou senzorov namontovaných priamo na stroji.

Úlohou proaktívnej údržby je udržiavať a zvyšovať úroveň prevádzky schopnosti strojného zariadenia. Ako hlavný zdroj informácií využíva metódy technickej diagnostiky. Ďalším cieľom je zníženie nákladov na údržbu, obmedzenie vzniku porúch, predlžovanie životnosti súčastí a aj celého stroja, štatistická kontrola náhodných a systematických vplyvov na prevádzku objektu. [21]

Pri zavedení proaktívneho prístupu do systému údržby vo firme musíme dbať na nasledujúce: [21]

- a) Detailný rozbor príčin porúch a nasledovné opatrenia, ktorými týmto poruchám v budúcnosti budeme predchádzať.

- b) Kladie sa dôraz na dlhodobú stabilitu strojného zariadenia.
- c) Budúci stav je nutné predpovedať v komplexnejšej forme, pričom sa používajú informácie vychádzajúce z diagnostických signálov.
- d) Je potrebná spolupráca všetkých zložiek vo firme, ktoré majú vzťah s údržbou a aj obsluhou stroja.
- e) Taktiež je potrebné informovať každého člena tímu proaktívnej údržby o stave stroja, požiadavkách a kontrole podľa plánu. Ďalej by firma mala zabezpečiť vhodné školenia na túto tému.
- f) Údržba sa stáva ďalším prvkom v štatistickej regulácii výrobného procesu.

Podľa článku [11] uvádzam v mojej práci najčastejšie mýty o proaktívnej údržbe:

Tab 1) Mýty a pravdy o proaktívnej údržbe

Mýtus	Proaktívna údržba je pre firmu zdrojom nákladov, nie zdrojom výnosov.
Pravda	Hoci proaktívna údržba vyžaduje investovanie, môže vás uchrániť od časových prestojov-resp. náklady na pozastavenie výroby stoja za úvahu.
Mýtus	Proaktívna údržba šetrí finančné náklady.
Pravda	Je potrebná finančná investícia do proaktívnej údržby, v dlhodobom hľadisku mám však finančnú návratnosť.
Mýtus	Ak používate systém proaktívnej údržby, nemusíte robiť údržby.
Pravda	Základom programu úspešnej proaktívnej údržby sú kvalitné informácie zozbierané z pravidelnej a preventívnej údržby.
Mýtus	Kľúčový prístup v proaktívnej údržbe spočíva na jednoduchom riešení.
Pravda	Proaktívna údržba si vyžaduje prispôsobený celkový prístup, plne organizovaný nákup (náhradných dielov), investíciu, školenie a odhodlanie.

3.4 Totálne produktívna údržba TPM

TPM pochádza z Japonska, presnejšie od dodávateľskej firmy pre závod Toyota, kde vznikla ako dôsledok spojenia aktivít 5S³ a Kaizen⁴. Neskôr japonský inštitút pre podnikovú údržbu vytvoril 5 základných pilierov TPM. [22]

Definícia totálne produktívnej údržby: [7]

1. TPM sa zaoberá celým výrobným procesom a systémom vo firme, vďaka čomu sa snaží predchádzať všetkým typom porúch a strát (nulové nehody a úrazy, nulové nepodarky, nulové prestoje, nulové poruchy).
2. TPM sa zavádza vo všetkých častiach firmy, nielen vo výrobnej časti podniku, ale aj v oddelení administratívy, oddelení vývoja...

³ Metóda 5S je súhrn princípov (5 slov začínajúcich po japonsky na „s“) pre vytvorenie a udržanie čistého, organizovaného, uprataného a vysoko výkonného pracoviska.

⁴ Kaizen je metóda postupného zlepšovania. Slovo kaizen pochádza z japonského jazyka a zakladá sa na kultúrnych tradíciách a princípoch v Japonsku. Základom metódy je zapojenie všetkých pracovníkov a zapracovanie ich nápadov do organizácie podniku.

3. TPM zahrňuje do svojich aktivít všetkých pracovníkov v danom podniku, vrátane robotníkov aj vedenia firmy.
4. TPM zamedzuje a úplne odstraňuje všetky možné straty vďaka činnostiam, ktoré vykonávajú malé samostatné tímy.

Základné piliere TPM

Základným prvkom pre správne fungovanie TPM je tímová práca, ktorou sa zvyšuje zodpovednosť všetkých zainteresovaných pracovníkov, efektívnejšie plnenie úloh a zvýšenie motivácie. Najhlavnejším cieľom je zvýšiť efektívnosť strojných zariadení tým, že sa budú eliminovať poruchy, časové prestoje a straty rýchlosti. TPM kladie veľký dôraz aj na prevenciu, či už pri preventívnych kontrolách stavu stroja a jeho nastavení, včasnom odstránení abnormalít na strojnom zariadení, ktoré zistila obsluha pomocou zmyslov a meradiel alebo pri okamžitom reagovaní na tieto vyskytujúce sa abnormality. [9]

TPM je postavené vo svojom základe na 5 pilieroch: [7] [17]

1. *Hodnotenie celkovej efektívnosti strojného zariadenia (liniek) pomocou ukazovateľa CEZ:*

$$CEZ = A * E * Q \quad (1)$$

kde:

A – súčiniteľ pohotovosti

E – súčiniteľ výkonnosti

Q – súčiniteľ kvality

2. *Autonómna údržba:* predstavuje zapojenie pracovníkov obsluhy do kontroly a monitorovania stavu stroja, obsahuje 7 krokov, medzi ktoré patrí eliminácia zdrojov znečistenia, počiatkové čistenie, štandardy mazania a čistenia, príprava na prehliadku, organizácia a poriadok, autonómna kontrola, rozvoj autonómnej údržby.
3. *Plánovaná údržba:* sleduje skutočné opotrebenie a životnosť súčiastok, vďaka čomu sa zásahy vykonávajú až vtedy, keď to stav častí stroja a ich súčasti potrebujú, ale predtým ako sa objaví porucha, tiež obsahuje 7 krokov. Patrí medzi ne určenie priorít v údržbe, odstránenie slabín, vybudovanie informačného systému, začiatok plánovanej údržby, zvýšenie výkonnosti údržby a jej zlepšenie, plánovaný program údržby.
4. *Systém včasného manažmentu a preventívnej údržby:* je to spojenie metódy technickej diagnostiky a optimalizovaných krokov plánovanej údržby. Snahou je to, aby bol zásah vykonaný vtedy, keď nám to ukazuje stav stroja a opotrebenie súčiastok. Prináša predlžovanie životnosti súčiastok a minimalizáciu nákladov na náhradné diely. Obsahuje 7 fáz, pri ktorých sa s vytvorením konceptu údržby začína už v štádiu vývoja a konštrukcie zariadenia.
5. *Tréning pre zlepšenie znalostí a zručností pracovníkov:* tento pilier sa zameriava najmä na praktické znalosti a zručnosti pracovníkov výroby i údržby a na získavanie nových praktických skúseností. Vyškoľuje ich aj v oblasti tímovej spolupráce, komunikácie a autonómnej údržby.

4 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

Technickú diagnostiku môžeme definovať ako: samostatný vedný obor, zaoberajúci sa väčšinou nedemontážnymi a nedeštruktívnymi prostriedkami a metódami stanovenia technického stavu objektu. [13]

Význam slova diagnostika má základ v gréckom slove „dia-gnosis“⁵. Technická diagnostika sa líši od lekárskej diagnostiky, s ktorou sa stretávame v bežnom živote v tom, že okrem heuristického⁶ majú aj kauzálny⁷ charakter. Niekedy používame taktiež matematický model diagnostikovaného strojného zariadenia.

Technickú diagnostiku môžeme rozdeliť na dve skupiny metód. Prvá skupina v sebe zahŕňa metódy, ktoré sú využívané pri vytvorení systému údržby daného strojného zariadenia, ako je napr. tribodiagnostika, termodiagnostika, diagnostika tlaku, prietoku. Druhá skupina metód technickej diagnostiky je predovšetkým na určenie geometrickej presnosti stavu obrábacieho stroja, napr. určenie kruhovej interpolácie⁸. Základné postupy pri týchto metódach sú popísané najmä normami rady ISO 230.

Pre dosiahnutie spoľahlivej výroby s vysokou kvalitou a presnosťou sa tieto sa metódy z týchto dvoch skupín medzi sebou kombinujú. Ďalej sú uvedené niektoré normy z vyššie spomínanej rady ISO 230:

- ČSN ISO 230-1 Zásady skúšok obrábacích strojov-časť 1: Geometrická presnosť strojov pracujúcich bez zaťaženia alebo za dokončovacích podmienok obrábania. Cieľom normy je štandardizovať metódy skúšania presností obrábacích strojov, ktoré pracujú buď bez zaťaženia, alebo za dokončovacích podmienok, pomocou geometrických skúšok alebo skúšok obrábaním.
- ČSN ISO 230-2 Zásady skúšok obrábacích strojov-časť 2: Stanovenie presnosti a opakovateľnosti nastavenia polohy v číslícovo riadených osách. Táto časť špecifikuje metódy skúšok a vyhodnotenia presností a opakovateľnosti nastavenia polohy v číslícovo riadených strojoch priamym meraním v jednotlivých osách, Tieto metódy sa používajú rovnako ako na lineárne, tak aj na osy otočné.
- ČSN ISO 230-3 Zásady skúšok obrábacích strojov-časť 3: Určenie tepelných vplyvov. V tejto časti normy sú špecifikované skúšobné postupy pre určenie tepelných vplyvov, spôsobené rôznymi tepelnými zdrojmi, ktoré majú za následok deformáciu obrábacieho stroja a jeho systému nastavenia polohy.
- ČSN ISO 230-4 Zásady skúšok obrábacích strojov-časť 4: Skúšky kruhovej interpolácie u číslícovo riadených obrábacích strojov. Norma spresňuje metódy skúšok a vyhodnotenie dvojsmernej odchýlky kruhovitosti, priemernej

⁵ Z gréckeho slova „dia-gnosis“ čo v preklade znamená cez poznanie.

⁶ Z gréckeho slova „heuriskó“ -objaviť, heuristická metóda je založená na objavovaní a vynachádzaní nových poznatkov a informácií.

⁷ Kauzálny charakter môžeme vysvetliť ako nachádzanie súvislostí a príčin, podmienených vzťahov.

⁸ Meranie kruhovej interpolácie-prevádza sa ako meranie pohybu po kružnici pri známom polomere. Rozdiel medzi naprogramovanou dráhou pohybu a tou reálnou nám ukáže presnosť CNC obrábacieho strojného zariadenia, no taktiež vieme pomocou tohto merania zistiť kruhovitosť.

dvojsmernej radiálnej odchýlky a odchýlky kruhovej dráhy, ktorá je tvorená súčasným pohybom v dvoch lineárnych osách.

- ČSN ISO 230-5 Skúšobné predpisy pre obrábacie stroje-časť 5: Určenie emisie hluku. Táto časť stanovuje metódy pre meranie hluku obrábacích a tvarovacích strojov pevne umiestnených na podlahu a súvisiacich pomocných zariadení priamo v dielni. Účelom normy je zistiť údaje o emisii hluku strojov.
- ČSN ISO 230-7 Zásady skúšok obrábacích strojov-časť 7: Geometrická presnosť os rotácie. Táto časť je zameraná na normalizovanie metód špecifikácie a skúšok geometrickej presnosti os rotácie použitých v obrábacích strojoch. Vretená, rotačné hlavy a rotujúce a naklápajúce sa stoly obrábacích strojov vytvárajú osy rotácie, ktoré tiež majú nechcené pohyby ako výsledok viacnásobných zdrojov chýb.
- ČSN ISO 230-10 Zásady skúšok obrábacích strojov-časť 10: Určenie meracích vlastností snímacích systémov číslícovo riadených obrábacích strojov. V tejto časti sú opísané skúšobné postupy pre vyhodnocovanie meracích vlastností kontaktných snímacích systémov integrovaných s číslícovo riadeným strojom.

V ďalšej časti tejto kapitoly som opísala niektoré diagnostické metódy, ktoré sa prevádzajú na strojných zariadeniach za účelom vytvorenia vhodného systému údržby. Najviac som sa venovala tribodiagnostike, nedeštruktívnej metóde skúmajúcej tribologické procesy počas životného cyklu daného strojného zariadenia, pričom som sa zamerala na etapu prevádzka – údržba. Túto metódu som si vybrala, pretože aj keď sa dá povedať, že patrí medzi najstaršie spôsoby jednoduchej údržby a starostlivosti o stroj, v dnešnej dobe je to moderná metóda, ktorá v sebe kombinuje chemické, fyzikálne a aj mechanické procesy a zákony. Je vhodná na takmer akýkoľvek typ strojného zariadenia a jeho častí, v ktorom sa používa systém mazania a chladenia.

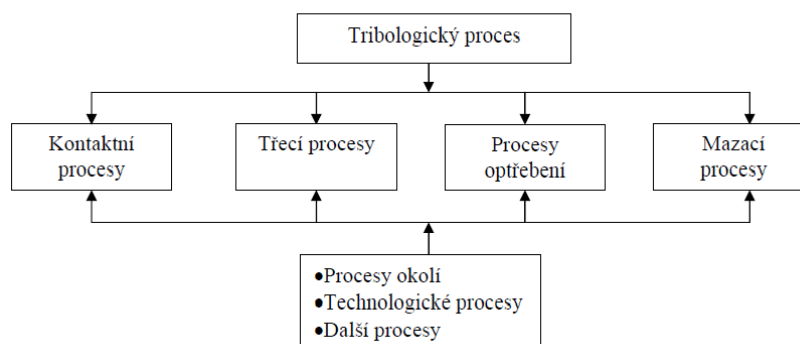
4.1 Tribodiagnostika

Podľa definície: tribotechnická diagnostika je jednou z metód nedemontážnej technickej diagnostiky využívajúca mazivá ako média pre získavanie informácií a dejoch a mechanických zmenách v technických systémoch, v ktorých sú mazivá aplikované.[14]

Cieľom tribotechnickej diagnostiky (TTD) je tak, ako z hľadiska kvalitatívneho i z hľadiska kvantitatívneho zisťovať a vyhodnocovať výskyt cudzích látok v mazive. Od všetkých ostatných metód technickej diagnostiky sa líši tým, že identifikuje stav stroja v časovom predstihu ešte predtým ako sa prejavia prvé príznaky negatívneho stavu. Správnym spracovaním výsledkov tribodiagnostických skúšok je možné zistiť príznaky vznikajúcich defektov a tiež lokalizovať miesto vzniku mechanických porúch. Najväčšou výhodou tribodiagnostického sledovania daného systému je možnosť odhaliť poruchu na príslušnej časti strojného zariadenia už v jej začiatkoch a vďaka tomu zaviesť potrebné opatrenia bez vysokých nákladov na opravu a odstávku stroja. [15]

4.1.1 Tribologické procesy a opotrebenie

Tribologický proces nám opisuje interakciu trecích telies, maziva a okolia, čo môžeme vidieť na obrázku:



Obr. 4) Tribologické procesy[14]

Trenie môžeme charakterizovať ako proces pri vzájomnom relatívnom pohybe dvoch dotýkajúcich sa plôch, resp. prvkov tribologického systému. Taktiež ho môžeme charakterizovať ako stratu mechanickej energie počas relatívneho pohybu navzájom sa dotýkajúcich materiálových oblastí. Poznáme vnútorné trenie, ktoré nastáva v materiálových vrstvách daného trecieho telesa alebo vonkajšie trenie, ktoré opisuje styk dvoch trecích plôch. V technike môžeme rozdeliť trenie ako jav nepotrebný, kedy znižuje účinnosť strojného zariadenia, chceme dosiahnuť požadovanú úroveň trenia pri minimálnom opotrebovaní (ozubené prevody, piest, ložiská) alebo ako jav potrebný, kedy trenie plní technickú funkciu v danom strojnom zariadení (trecie spojky, brzdy, pneumatika-vozovka). Opotrebenie je trvalý úbytok materiálu z povrchu následkom tribologického procesu. [14]

4.1.2 Vlastnosti a rozdelenia mazív

Funkčné vlastnosti mazív:

- 1) Hustota (merná hmotnosť) - je hmotnosť látky na jednotku objemu pri danej teplote a tlaku [kg.m^{-3}]
- 2) Relatívna hustota - pomer hustôt danej látky pri rôznych teplotách

Reologické vlastnosti: Reológia je náuka o tečení v oblasti medzi tuhým a kvapalným skupenstvom.

- 1) Dynamická viskozita - miera tekutosti látky. Platí, že šmykové napätie je priamo úmerné gradientu rýchlosti, teda šmykovému spádu. [Pa.s]
- 2) Kinematická viskozita – definovaná ako pomer dynamickej viskozity a hustoty pri danej teplote. [$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$]

Elektrické vlastnosti:

- 1) Elektrická vodivosť – fyzikálna veličina vyjadrujúca schopnosť materiálu viesť elektrický prúd, definovaná ako prevrátená hodnota elektrického odporu. Napr. čisté uhl'ovodíkové oleje sú zlými elektrickými vodičmi.
- 2) Permittivita – dielektrická priepustnosť látky

Úlohou mazív je zabránenie bezprostrednému styku plôch pri pohybe a tým obmedziť trenie a najmä opotrebenie materiálov. Mazivo je plnohodnotným, aktívnym prvkom v tribologickom systéme. Jeho vlastnosti ovplyvňujú kvantitatívne vlastnosti mechanických a energetických strát, vytvárajú štruktúru systému a predlžujú životnosť. [14]

Podľa skupenstva ich delíme:

- Tuhé mazivá: mazivo má vlastnosti ako pevná látka, používa sa pre vysoké teploty a tlaky.
- Kvapalné mazivo: mazivo vykazuje schopnosť tečenia, najčastejšie používané ako oleje.
- Plastické mazivá: staršie označované ako tuky, sú to maslovité gély.

Oleje môžeme ďalej deliť podľa pôvodu na: [19]

- Ropné oleje: sú to vlastne zmesi uhlíkovodíkov, ich vlastnosti závisia na vlastnostiach ropy, z ktorej sa získali. Procesy získavania olejov z ropy sú rafinácia⁹, destilácia¹⁰ a odparovanie.
- Syntetické oleje: Vďaka svojmu zloženiu sa používajú na mazanie, keď ropné alebo živočíšne a rastlinné oleje nie sú vhodné do daných prevádzkových podmienok, napr. vysoké a nízke teploty, agresívne prostredie. Ich cena je oveľa vyššia ako pri klasických mazacích olejoch, preto sa používajú len v špeciálnych podmienkach.
- Živočíšne a rastlinné oleje: označujeme ich aj ako ľahko rozložiteľné oleje, teda biologické. Najčastejšie to bývajú mazivá na báze slnečnicového, repkového alebo ricínového oleja.

4.1.3 Rozdelenie hlavných úloh TTD

Tribotechnická diagnostika strojov a zariadení (sledovanie stavu opotrebovania strojného zariadenia): Sústreďuje sa na sledovanie a hodnotenie stavu daného zariadenia. Sleduje opotrebenie súčastí, následok opotrebovania v kvalite maziva a reálny stav monitorovaného objektu. Normálne sa odber vzorku vykonáva v pravidelných intervaloch, za chodu stroja z vopred určených miest pre odber pred filrami strojného zariadenia. Je nutné dodržiavať všetky pravidlá odoberania vzorku. [15] [16]

Metodiky používané v tomto type tribodiagnostiky sú:

Výskyt feromagnetických častíc: Tento stav zisťujeme pomocou ferografie. Je to metóda, ktorá skúma veľkosť častíc, tvar, množstvo, ale aj ich vznik. Na sklenenej podložke, ktorá sa nachádza v silnom magnetickom poli sledujeme separáciu magnetických a paramagnetických oterových častíc z maziva. Pod mikroskopom zistíme ich základné vlastnosti a vďaka tomu vieme určiť stav a závažnosť opotrebovania tribodiagnostického systému. Morfológia častíc závisí na druhu opotrebovania a ukazuje nám informácie o povrchových vrstvách častí stroja. Rozmiestnenie častíc v magnetickom poli spresňuje pôvod častíc, železné častice sú zoradené v smere magnetických siločiar, neželezné častice delíme

⁹ Rafináciou odstraňujeme nežiadúce látky, alebo ich chemickými alebo fyzikálnymi reakciami meníme na látky žiadúce.

¹⁰ Destiláciou sa v odsolenej a vyčistenej rope oddeľujú kvapalné zložky, na základe ich prchavosti.

podľa farebnosti. Ich farbu zisťujeme na feroskope¹¹ s odstráneným červeným filtrom. Patria sem zlatožlté častice zliatin medi a zinku a bronzovo žiariace častice zliatin medi a cínu. [14]

Polarografia a voltametria: metódy založené na štúdiu elektrolýzy s ortuťovou elektrolýzou a na následnej interpretácii vzniknutých kriviek intenzity prúdu a napätia. Každý prvok vytvára svoju vlnu (vznik polarografického spektra), teda určíme prítomnosť daného oterového kovu. [14]

*Metóda RAMO*¹²: spočíva v stanovení základných prvkov Fe, Cu, Pb a Al. Tieto prvky sa používajú na konštrukciu motora. Pomocou špecifických činidiel vyvoláme farebný efekt každého kovu a tým učíme jeho koncentráciu v oleji. Táto metóda sa používa najmä v automobilovom priemysle. [9]

Infračervená spektrometria: metóda optickej spektrometrie. Jej podstatou je reagovanie elektromagnetického žiarenia so skúmanou látkou. Dochádza k výmene energie cez emisiu alebo absorpciu žiarenia. Opotrebenie oleja môžeme stanoviť porovnaním spektier pôvodného oleja a toho degradovaného. Je možné hodnotiť stav dusíkatých a oxidačných prísad, obsah vody, chladiacej kvapaliny, paliva a úbytok antioxidačných a protioterových prísad. Pri analýze spektier sa vychádza zo znalostí vlnových dĺžok odpovedajúcich zlúčeninám. [20]

Tribotechnická diagnostika olejov (sledovanie degradácie samotného maziva): Zameriava sa na analýzu olejov. Sleduje kvalitatívny i kvantitatívny stav a mazacie vlastnosti olejov. Normálne sa vykonáva v špecializovanom laboratóriu, po tom ako sa vzorka odoberie zo stroja. [15] [16]

Ďalej sú popísané základné ukazovateľ v tribodiagnostike:

Kinematická viskozita: Dôležitá fyzikálna charakteristika mazív, postup jej merania je normovaný ČSN EN ISO 3104. Určuje nám vlastnosti hydrodynamického trenia. Preto je viskozitný index (VI) základnou hodnotou pri výbere mazacieho oleja. Toto číslo sa vypočíta ako hodnota kinematickej viskozity pri 40°C a 100°C. Určuje nám závislosť viskozity na teplotných zmenách. Zvyšovanie viskozity zapríčiňuje straty energie, kvôli vysokým koeficientom trenia. Je spôsobené oxidačnými činidlami a vytváraním emulzii s vodou. Znižovanie viskozity je spôsobené najmä mechanickou a tepelnou degradáciou mazív. Je príčinou suchého trenia, ktoré býva dôsledkom veľkého opotrebenia, v niektorých prípadoch dochádza až k zadreniu trecích plôch. [9]

Bod vzplanutia: najčastejšie sa meria u motorových a kompresorových olejov, kde ukazuje obsah paliva, teda obsah zriedňujúcich a horľavých látok v oleji. Tento ukazovateľ sa stanovuje dvomi typmi skúšok a uvádza sa v stupňoch Celzia: bod vzplanutia v uzavretom téglíku, meranie je normované v ČSN EN ISO 2592 a bod vzplanutia v otvorenom téglíku, meranie je normované v ČSN EN ISO 2719. [9]

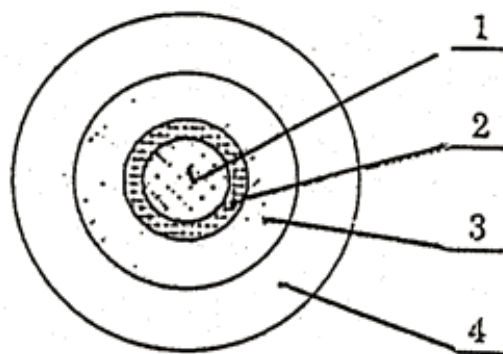
Obsah vody: prítomnosť vody v hydraulickom a mazacom oleji je veľmi nepriaznivý jav, pretože spôsobuje porušenie mazacieho filmu, emulgáciu a koróziu oleja, zvyšuje viskozitu, spôsobuje zakalenie a ovplyvňuje prísady v oleji. Obsah vody v oleji sa najčastejšie zisťuje skúškou prskavou, tá spočíva v kvapnutí malého množstva vzorky na predom vyhriatu podložku na 150°C. Ak olej neobsahuje žiadne množstvo vody povrch ostáva rovnomerný, bez bubliniek. Táto skúška je vhodná do prevádzkových podmienok, vieme vďaka nej zistiť, či sa v oleji nachádza väčšie než stopové množstvo vody. [14]

¹¹ Zariadenie na zisťovanie optickej stopy usadených kovových častíc vo vzorke maziva

¹² Rýchla analýza motorových olejov

Obsah nečistôt: znečistenie mazacích olejov je príčinou vážnych porúch a havárii na strojnom zariadení. Na popísanie znečistenia oleja sa používa kód čistoty ISO, normovaný v ČSN ISO 4406, udáva sa v tvare X/Y/Z. Číslo X udáva počet častíc väčších než 4 μm , číslo Y sa viaže k časticiam väčším než 6 μm a číslo Z k časticiam väčším než 14 μm , ktoré sú prítomné v 1 ml oleja. [9]

Stupeň znečistenia môžeme zistiť aj *Kvapkovou skúškou*. Nie je to úplne jednoznačná skúška, no je rýchla a jednoduchá, vhodná do prevádzkových podmienok. K presnejšiemu prehľadu o stave oleja je mnohokrát potrebný laboratórny rozbor, avšak aj touto skúškou dokážeme zistiť veľkosť znečistenia maziva či prítomnosť vody a vlhkosti. Prevádza sa kvapnutím malej vzorky na špeciálny chromatografický (filtračný) papier. Vzniknutá olejová škvrna sa hodnotí na základe vytvorenia 4 kruhovo sústredných zón. Prvá centrálna zóna sústreďuje najväčšie častice a jej nepriesvitnosť charakterizuje znečistenie karbónovými látkami a inými nerozpustnými časticami. Druhá zóna predstavuje obsah menších karbónových častíc. Tretia zóna hodnotí detergentne-disperzné¹³ vlastnosti oleja. Posledná štvrtá zóna zobrazuje veľkosť oxidačných zmien oleja. [9] [14]



Obr. 5) Rozloženie zón v chromatograme - Kvapková skúška [14]

4.1.4 Obrábacie kvapaliny

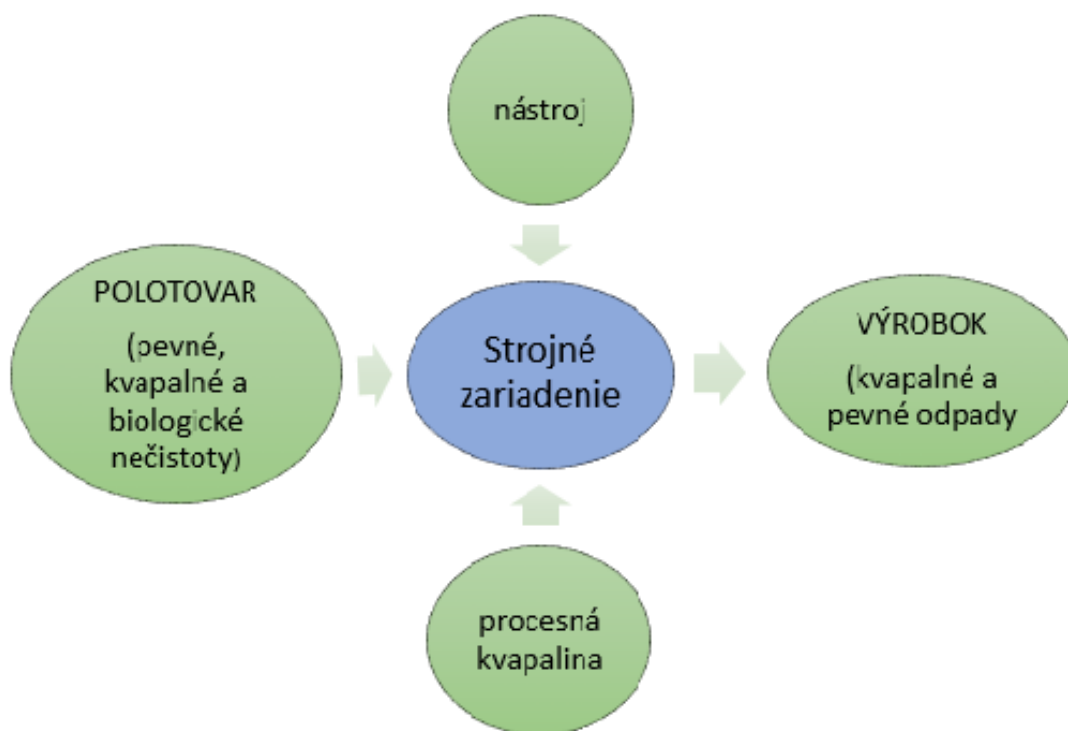
Obrábacie kvapaliny tvoria dôležitú skupinu mazacieho systému. Označujú sa tiež ako procesné kvapaliny, ktoré uľahčujú a umožňujú technologické výrobné procesy. V systéme obrábacieho stroja tvoria významný objem z celého množstva mazacích kvapalín. Preto je dôležité správne hospodárenie a predlžovanie životnosti týchto kvapalín sledovaním ich stavu pomocou technickej diagnostiky. Na obrázku 15 je zobrazený tribosystém týkajúci sa procesnej kvapaliny ako prvku zohrávajúcim dôležitú úlohu v celom výrobnom procese. [31]

Obrábacie kvapaliny rozdeľujeme na dve základné skupiny:

- Kvapaliny miešateľné s vodou – obrábacie emulzie a roztoky. Častejšie používané ako oleje, vďaka účinnému odvodu tepla a odstraňovaniu triesok pri výrobnom procese. Obsah vody v kvapaline vyšší ako 50% znamená, že ide o kvapalinu na báze vody, preto sa tu využívajú iné prístupy k monitorovaniu stavu kvapaliny ako pri druhej skupine.

¹³ Prísady proti usádzaniu nečistôt a malých častíc v mazacom oleji.

- Kvapaliny nemiešateľné s vodou – obrábacie a rezné oleje. Používajú sa najmä tam, kde je potrebné nízke trenie (brúsenie)



Obr. 6) Tribosystém

4.2 Termodiagnostika

Diagnostika, ktorá využíva termografiu¹⁴ pomocou ktorej sa vytvorí obraz povrchového teplotného rozloženia daného skúmaného objektu. Z fyziky je známe, že existuje závislosť medzi telesom vyžarovaného infračerveného žiarenia a teplotou telesa. Termokamera pracuje na princípe prijímania vo svojom zornom poli dlhovlnné infračervené žiarenie, z ktorého dopočíta teplotu objektu. Pri meraní sa berú do úvahy aj okolité podmienky prostredia ako je teplota a vlhkosť v prostredí, ďalej vzdialenosť od meraného objektu a taktiež stupeň emisivity. [9]

Pri meraní pomocou termokamery sa využíva ako základ Kirhoffov zákon pre infračervené žiarenie:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (2)$$

Kde: Emisivita (ε) je označovaná ako schopnosť materiálu prijímať a vyžarovať infračervené žiarenie. Nadobúda hodnotu 0 až 1 (teleso s emisivitou rovnajúcou sa 1 sa nazýva čierne teleso, ktoré neodráža infračervené žiarenie)

¹⁴ Meranie teploty pomocou termokamery.

Reflexivita (ρ) je označovaná ako schopnosť telesa odrážať infračervené žiarenie, nadobúda hodnoty 0 až 1 (špecifické pre každý materiál)

Transmisivita (τ) vyjadruje aká veľká časť infračerveného žiarenia prejde cez meraný objekt. [9]

Termodiagnostika ako jedna z metód údržby sa používa na identifikáciu prehrievania mechanických súčastí alebo elektrických vodičov a spojov. Prvotne sa vyvárať termografické snímky na častiach, ktoré sú ľahko prístupné. Nie je nutné odkrývanie a môžeme ich vytvárať počas prevádzky strojného zariadenia, čo pozitívne vplýva na ekonomickú stránku. Medzi tieto časti patria prvky umiestnené v skrini rozvádzača, čerpadlá a elektrické pohony, pri ktorých sa porucha prejavuje zvýšením teploty. V tomto prípade hrozí až nebezpečenstvo požiaru, no termokamerou dokážeme zlý spoj nájsť veľmi rýchlo, ale meranie sa musí uskutočniť pri obvode, ktorý je prúdovo zaťažený. V prípade mechanicky pohyblivých častí zvýšenie teploty nastáva pri nesprávnom mazaní alebo pri vniknutí nečistôt do ložiska. Z hľadiska vyhodnotenia daných meraní je dôležité určenie maximálnych dovolených teplôt meraných častí. Tieto hodnoty pri mechanických častiach by mali byť stanovené výrobcom, napr. najvyššia povolená teplota motora alebo najvyššia povolená teplota maziva v danom ložisku. Vďaka tejto spojitosti môžeme kombinovať termodiagnostiku a tribodiagnostiku ako komplexnú metódu pre zisťovanie stavu danej časti strojného zariadenia. Príklad termokamery je uvedený na obrázku 7, je to moderný typ termokamery, ktorý dokáže vytvoriť aktuálny snímok teplotného rozloženia. [17]



Obr. 7) Príklad typu termokamery od spoločnosti FLIR [18]

4.3 Vibrodiagnostika

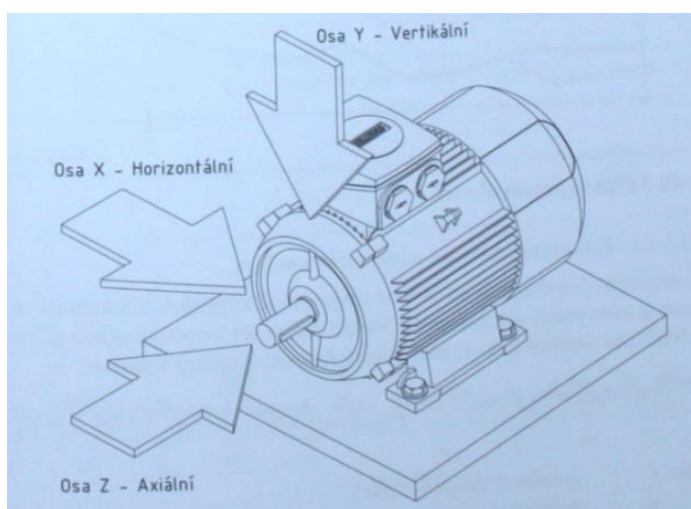
Najčastejšie používaná metóda technickej diagnostiky pri monitorovaní stavu rotačných strojov. Správne prevedená vibračná diagnostika dokáže zistiť druh poškodenia na strojnom zariadení, určiť jeho príčinu a zdroj a včas na ňu upozorniť. Je založená na báze charakterizovania a merania vibrácií alebo chvenia na stroji a analýze amplitúd signálu na poruchových frekvenciách. [7]

Vibrácie sú prejavom mechanického kmitania, charakteristického zmenou polohy stroja v zvolenej súradnej osi. V reálnych prípadoch sa však jedná o zložité priebehy kmitania, pretože v strojnom zariadení sa skladajú kmity rôznych častí stroja s odlišnými amplitúdami a frekvenciami. [7]

Meranie sa vykonáva čo najbližšie k predpokladanému zdroju vibrácii, v prípade ložísk sa toto meranie vykonáva na ložiskových domcoch. Analýzy meraní sú založené na porovnávaní nameraných hodnôt vopred stanovenými podľa normy, na sledovaní vývoju v čase alebo na hodnotení spektier vibračného signálu. V súčasnosti je na analýzu často používaná tzv. Rýchla Fourierová Transformácia FFT, vďaka ktorej získame spektrogram – prevod časového signálu do frekvenčnej oblasti. [9]

Najčastejšie vyhodnocované signály vo vibrodiagnostike: [9]

- Relatívne vibrácie: v tomto prípade je sledovaný relatívny pohyb rotoru voči ložiskám alebo inej časti. Využíva sa to najmä u strojných zariadení s klznými ložiskami. Meranie prebieha tak, že snímače vibrácii sa musia umiestniť v dvojici tak aby ich osi spolu zvierali 90° uhol, vďaka tomuto nastaveniu je možné sledovať aj polohu rotoru.
- Absolútne vibrácie: Vibrácie stroja alebo jeho časti, ktoré berieme vzhľadom ku pevnej základni. V tomto prípade sledujeme polohu, rýchlosť alebo zrýchlenie, pričom tieto parametre sa navzájom môžu prevádzať pomocou derivovania alebo integrovania.
- Celkové vibrácie: Meranie vhodné najmä pre stroje s valivými ložiskami. Hodnota celkových vibrácii vyjadruje celkovú energiu kmitavého pohybu, túto hodnotu porovnávame s predchádzajúcou hodnotou nameranou na danom stroji v bezporuchovom stave alebo s normatívnou hodnotou podľa ISO 10816. Meranie sa vykonáva v troch vzájomne kolmých smeroch, vid' obrázok nižšie.



Obr. 8) Celkové meranie vibrácii [9]

5 PRAKTICKÁ ČASŤ

V praktickej časti mojej bakalárskej práce sú základné informácie o firme SMC Vyškov, ďalej opisujem CNC obrábací stroj a taktiež som zahrnula informácie o súčasnom stave systému údržby v tejto firme. V ďalšej podkapitole sú rozobrané výsledky tribologického merania a vytvorené odporúčanie pre firmu v oblasti proaktívneho prístupu k systému údržby.

5.1 SMC Vyškov

Spoločnosť SMC vznikla v Japonsku v roku 1959, vyrábali sa tu filtre a filtračné vložky. Postupným expandovaním pobočkami po celom svete patrí medzi veľkých dodávateľov v oblasti priemyselnej automatizácie s elektrickými a pneumatickými systémami. Štandardné portfólio výrobkov obsahuje 12 000 prvkov so 7 000 možnými variáciami. Závod vo Vyškove bol vybudovaný v roku 2011. Je špecializovaný na výrobu pneumatických prvkov pre pohon a ovládanie automatizovaných zariadeniach. Spoločnosť kladie vysoký dôraz na kvalitu a inovačný proces pomocou tradičných japonských metód riadenia kvality Kaizen a Gemba¹⁵ a tento závod je taktiež držiteľom certifikácie podľa ISO 9001 v riadení kvality. [23]



Obr. 9) Výrobný závod vo Vyškove [23]

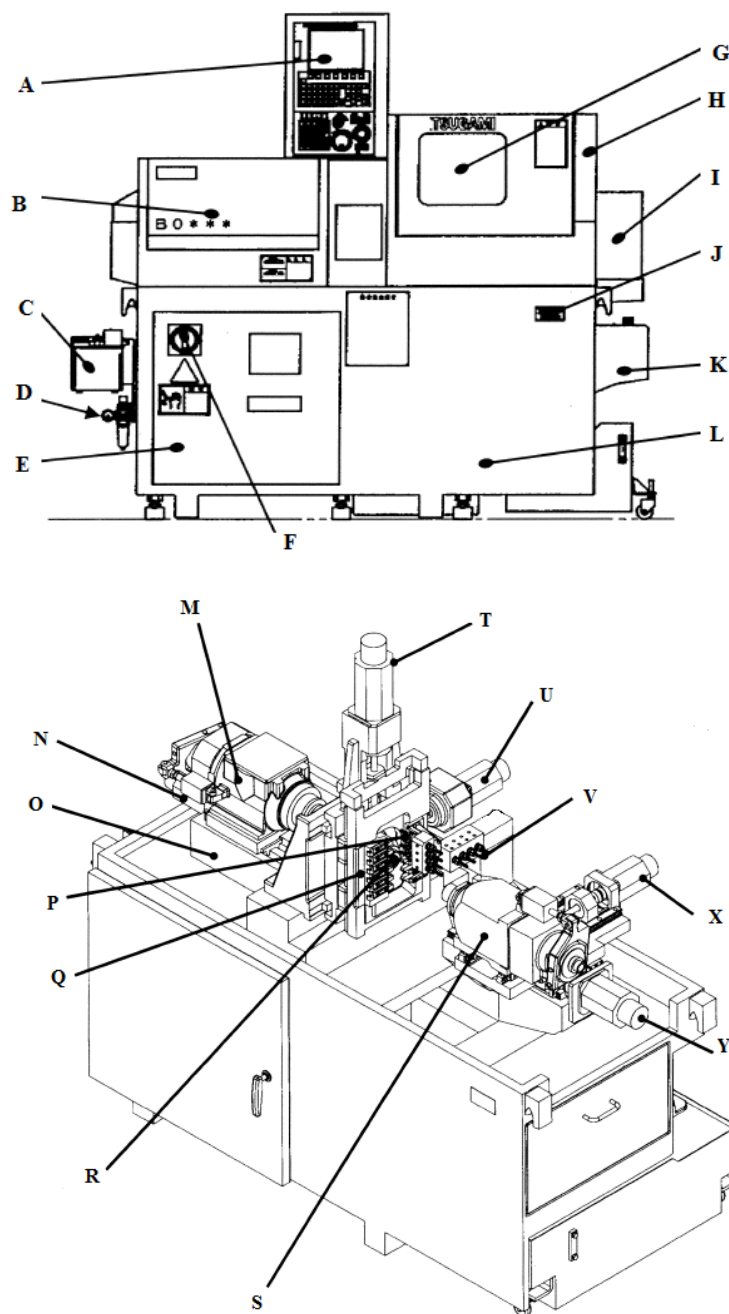
CNC stroj

Mojím hlavným záujmom v tejto firme sa stal precízny automatický sústruh typu CNC. Tento stroj je švajčiarskeho typu a je číslicovo riadený počítačom. Najvhodnejší je pre jemné obrábanie a obrábanie polodlhých súčastí výrobkov. Obrábatel'né materiály sú napr. mosadz, meď, fosforový bronz, automatové, uhlíkové, nerezové a nástrojové ocele. V používateľskom návode je poznámka o nebezpečí používania horčikových materiálov v prípade vypuknutia požiaru. Neodporúča sa vyššia tvrdosť materiálov ako Hs 30. V závode sú na niektorých strojoch nainštalované odvádzacie olejovej hmly. V nižšie uvedenej tabuľke sú vypísané základné parametre tohto strojného zariadenia.

¹⁵ Metóda spočívajúca v myšlienke že, všetko je najlepšie vidieť na vlastné oči, teda aj riadiaci manažment sleduje výrobný proces priamo vo výrobných halách a vďaka tomu ho dokáže zlepšovať.

Tab 2) Parametre CNC automatického sústruhu [28]

Parametre automatického sústruhu CNC				
Stroj – rozsah obrábania	Rýchlosť hl. vretena	200 – 600 min ⁻¹	Celková kapacita uskladnenia nástrojov	21
	Rýchlosť rýchloposuvu	32 m/min	Max. priemer tyčového materiálu	38 mm
	Rýchlosť zadného vretena	200 – 700 min ⁻¹	Max. dĺžka obrobku	210 mm
Stroj – parametre motorov	Zadné vreteno	2,2 kW	Y1	0,5 kW
	Hlavné vreteno	3,7 kW	X1, Z1	0,5 kW
	Mazanie olejového čerpadla	3 W	X2, Z2	0,5 kW
Ostatné parametre	Hmotnosť	1700 kg	Šírka x hĺbka x výška	1640x1080x 1700 mm
	Požiadavky na zdroj el. energie	11 kVA	Požiadavky na stlačený vzduch	0,4 MPa a viac
	Čerpadlo chladiwa	0,18 kW		



Obr. 10) Vonkajší pohľad -označené časti [28]

Tab 3) Vonkajší pohľad – názvy častí [28]

A	Operačný panel	G	Dvierka	M	Vretník	S	Zadné vreteno
B	Kryt vretenníka	H	Ochrana oleja	N	Servomotor Z1	T	Servomotor Y1
C	Mazacia jednotka	I	Krabica na výrobky	O	Lóža	U	Servomotor X1
D	Pneumatická jednotka	J	Výkonový štítok	P	Vnútný nástroj	V	Držiak zadného nástroja
E	Ovládacia skriňa	K	Nádoba na špony	Q	Vonk. nástroj	X	Servomotor X2
F	Hlavný spínač	L	Základňa	R	Vodiace púzdro	Y	Servomotor Z2

5.2 Aktuálny systém údržby vo firme

Systém údržby vo firme SMC Vyškov je založený na údržbe po poruche a najmä na preventívnych kontrolách predpísaných podľa inšpekčného listu, ktorý sa nachádza pripnutý na každom jednom strojnom zariadení. Tieto kontroly sú rozdelené podľa časových intervalov. Jednotlivé úkony v prevencii vykonáva obsluha stroja ešte pred uvedením do činnosti. Preventívna údržba predpísaná podľa ročného plánu údržby je prevádzaná pracovníkom údržby. Údržba po poruchách je zaisťovaná externou firmou (Nemecko) alebo materskou firmou (Japonsko). Preventívna údržba spočíva len v pravidelných kontrolách stavu stroja a jeho častí, ktoré dokáže obsluha zistiť pomocou zraku, hluku, čuchu. Nevyužívajú tu žiadnu metódu technickej diagnostiky a v tejto firme nie je proaktívny prístup k údržbe strojných zariadení.

V nasledujúcich tabuľkách sú uvedené kroky preventívnej údržby z inšpekčného listu, ktoré sú doporučené v manuáli a sú prevádzané aj vo firme:

Tab 4) Kroky preventívnej údržby

Kontrola 1x denne
Uvedenie do chodu po zapnutí hlavného zdroja
Kontrola tlaku na výstupe
Nahromadenie špôn vo filtre chladienia
Zapísanie množstva lubrikačného oleja
Zapísanie množstva hydraulického oleja
Kontrola pozície trysiek na obrábanie
Zanesenie sacieho filtra chladiacej kvapaliny
Abnormalita za automatického chodu (zvuk, vibrácie, pohyb,...)
Primerané množstvo hydraulického oleja
Kontrola 1x týždenne
Zapísanie množstva oleja hlavného vretena
Vybrať a vyčistiť vedľajšie vreteno
Kontrola 1x mesačne
Vyčistiť klzné vedenie a klieštinu
Kontrola úniku vzduchu či oleja z potrubia, zo zariadenia
Skontrolovať poškodenie tlakovej mierky
Kontrola každé 2 mesiace (nepárne)
Výmena filtra chladienia
Znečistenie chladiaceho ventilu
Kontrola 2x ročne – február a august
Namazanie kolenovej páky (hlavnej a vedľajšej)

Tab 5) Ročný plán údržby

Kontrola 1x ročne
Výmena chladiacej emulzie, vyčistenie vane
Vytiahnuť a vyčistiť pás pre odvod triesok
Znečistenie vnútri rozvodnej skrine
Výmena batérii (zálohovanie pamäte, zosilňovač servo-pohonu)
Skontrolovať hádzavosť vretena (hlavného a vedľajšieho)

Vo firme je zavedené obrábanie s chladením roztokom vody a olejovej emulzie. V tejto téme bola vypracovaná správa o porovnaní obrábacieho procesu chladením vodným roztokom a olejom a jej výsledky boli nasledovné: chladenie olejom má mnohé výhody (umožňuje vyššie rezné rýchlosti, zníženie vibrácií, menšia spotreba chladiacej kvapaliny, stroje nepodliehajú korózii, rezný olej nespôsobuje zdravotné komplikácie obsluhu stroja, zvýšenie životnosti strojného zariadenia, najmä rezných nástrojov). Avšak hlavnou nevýhodou pri používaní oleja sú vysoké počiatkové náklady na vyčistenia stroja pri prvom naplnení, potrebné je zakúpenie uhľovodíkovej čističky a vzniká riziko požiaru a preto je nutná inštalácia protipožiarneho zariadenia. Na tab.6 je uvedený výpočet návratnosti na daný počet strojov vytvorený v tejto správe.

Tab 6) Výpočet návratnosti

Počiatkové náklady	%
Protipožiarny systém	91
Prvá náplň	6
Vyčistenie stroja	3

Náklady	Obrábanie pod emulziou % za 1rok	Obrábanie pod olejom % za 1rok (percentuálna časť ku emulzii)
Spotreba obrábacej kvapaliny	22,5	6
Spotreba nástrojov	58	11
Čas výmeny nástroja	4,5	0,8
Výmena chladiacej kvapaliny	15	0
Celkom	100	17,8
Úspora		82,2
Návratnosť		4,6

5.3 Tribotechnická diagnostika

V tejto kapitole som uviedla všetky použité oleje na sledovanom automatickom CNC sústruhu, ďalej som uviedla metodiku postupu tribodiagnostického merania a rozbor výsledkov. Vo firme sa nevykonávajú žiadne kontroly pomocou tribodiagnostiky, tieto kontroly mazacieho systému sú vykonávané len externe, prostredníctvom dodávateľa mazacích olejov a chladiacich emulzií. Na sledovanom stroji však ešte nikdy nebol vykonaný tribologický rozbor na zistenie stavu strojného zariadenia prostredníctvom oleja. Vo firme však uvažujú a prístupe k údržbe doplnenom tribodiagnostikou, preto v ďalšej podkapitole uvádzam aktuálny prehľad používaných metód a prístrojov a ich ceny pre hydraulické oleje a chladiace emulzie od firiem špecializovaných na tribologické rozbor.

V tabuľke 10 je uvedený zoznam všetkých použitých olejov a chladiacej emulzie na nami skúmanom strojnom zariadení.

Tab 7) Použité oleje na strojnom zariadení

Použité oleje	Viskozita ISO VG	Poznámka
Chladiaca emulzia	-	Chladiaci koncentrát riediteľný vodou S obsahom minerálneho oleja, klasifikácia H412 – škodlivý pre vodné organizmy
Lubrikačný olej	VG68	Olej pre klzné vedenie Vyššia viskozita oleja znamená aj vyšší vnútorný odpor a tým pomalší tok a teda vyšší odpor pri vzájomnom pohybe dvoch častí
Hydraulický olej	VG32	Klasický hydraulický olej Olej s vysokou schopnosťou ochrany proti opotrebovaniu a pri prenášaní vysokých hodnôt tlaku
Olej hl. vretena	VG2	Určený na mazanie vysokorýchlostných vretien obrábacích strojov Vhodný pre vretená s ložiskami s nulovou vôľou, ktoré pracujú s malým rozpätím tolerancie
Vazelína na hl. vretene	-	Mazivo vhodné do vlhkého prostredia so širokým teplotným rozpätím
Kolenová páka vretena;	-	Sprejový lubrikant s vysokou odolnosťou voči teplotám a tlaku, tvorí ochranu voči prachu, nečistotám, vode a chemikáliám
V podávači	VG32	Klasický hydraulický olej Olej s vysokou schopnosťou ochrany proti opotrebovaniu a pri prenášaní vysokých hodnôt tlaku

5.3.1 Prehľad metód, prístrojov tribodiagnostiky a ich ceny

V tejto podkapitole som spravila prieskum trhu v oblasti tribodiagnostiky. Uvádzam najčastejšie prevádzané rozboru pre hydraulický olej a chladiacu emulziu, prístroje vhodné na tieto rozboru a ich ceny. Každá z metód alebo spomenutá vlastnosť bola vysvetlená vyššie, v kapitole 4.1.

Hydraulické oleje

Pre hydraulické oleje na obrábacom stroji sa stanovuje nasledovné rozboru, pričom cena každého rozboru v špecializovanej laboratórii vychádza približne na 1500 Kč:

- číslo kyselosti
- obsah vody
- nečistoty v oleji podľa ISO 4406/NAS
- obsah prísad (RULER TEST¹⁶)

Doporučené prístroje, na ktorých sa prevádzajú tribodiagnostické merania a ich ceny:

- Rotačný viskozimeter Stabinger (1 000 000 Kč) – vhodný na určovanie kinematickej viskozity, hustoty, viskozitného indexu podľa ISO 2909



Obr. 11) Viskozimeter STABINGER [25]

- Automatický prístroj na kód čistoty 600 000 Kč
- Titračné zariadenie na meranie kyslosti 150 000 Kč
- Poloautomatický prístroj RULER TEST 250 000 Kč
- Automatický prístroj RULER TEST 800 000 Kč

¹⁶ RULER test porovnáva množstvo antioxidantov v starom a novom oleji, vďaka čomu môžeme zistiť koľko sa ich vyčerpalo.

- Prístroj na zisťovanie obsahu vody/tiež slúžiaci ako titračné zariadenie Fischer 150 000Kč



Obr. 12) Titračné zariadenie FISCHER [26]

Chladiace emulzie a roztoky

Pri chladiacich emulziách sa prevažne stanovuje koncentrácia pH, korózia emulzie, testy odhaľujúce výskyt baktérii a plesní, Herbert test, každý rozbor v špecializovanej laboratórii vychádza približne na 1000 Kč.

Herbert test je opísaný normou ČSN 65 6256 a spočíva v stanovení korózie vodnej emulzie používanej pri obrábaní, pripravenej ako roztok vody a emulgačného oleja alebo plastického maziva. Skúšobná vzorka emulzie sa naleje na doštičku s oceľovými trieskami, potom sa vyhodnocuje podľa tabuliek normy z hľadiska jamkovej korózie a vzniku korozívnych škvŕn. [24]

Odporúčané prístroje, na ktorých sa prevádzajú rozbor a ich ceny:

- Refraktometer na meranie koncentrácie 10 000 Kč – refraktometer je prístroj využívajúci optiku na určovanie indexu lomu svetla, pomocou čoho určujeme koncentráciu oleja v roztoku. Moderné digitálne typy už dokážu odmerať aj teplotu skúmaného vzorku.



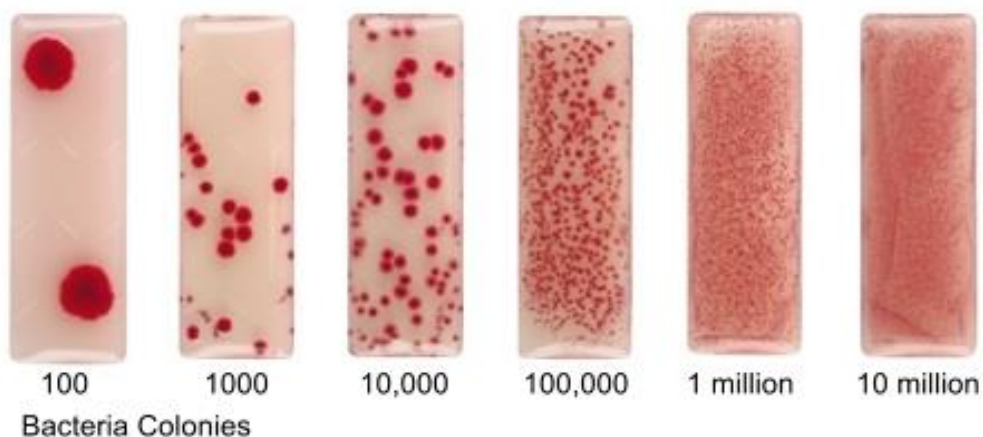
Obr. 13) Digitálny refraktometer [27]

- Prístroj na meranie pH 15 000 Kč – multifunkčný prístroj, ktorým je možné po inštalácii ďalších sond zisťovať aj iné parametre mazív. Správna hodnota pH emulzie zohráva dôležitú úlohu najmä pri ochrane strojného zariadenia tým, že spomaľuje rast baktérii.



Obr. 14) Prístroj na meranie pH [29]

- Prístroj na meranie korózie 2 000Kč – antikoročné vlastnosti emulzie sú veľmi dôležité, pretože chránia stroj a jeho časti pred vznikom nežiadúcej korózie.
- 10 bakteriologických testov firmy MERCK 5 000 Kč – rozbor oleja na zistenie prítomnosti baktérii sa v praxi prevádza pomocou živnej pôdy. Do skúmavky sa dá živná pôda, ktorá sa zapečatí a potom nasleduje inkubácia. Veľmi dôležité je správne udržiavanie teplotných podmienok. Vyhodnotenie spočíva v porovnaní výsledkov so vzorkovníkom. Na obrázku nižšie je príklad vzorkovníce výskytu bakteriálnych kolónii.



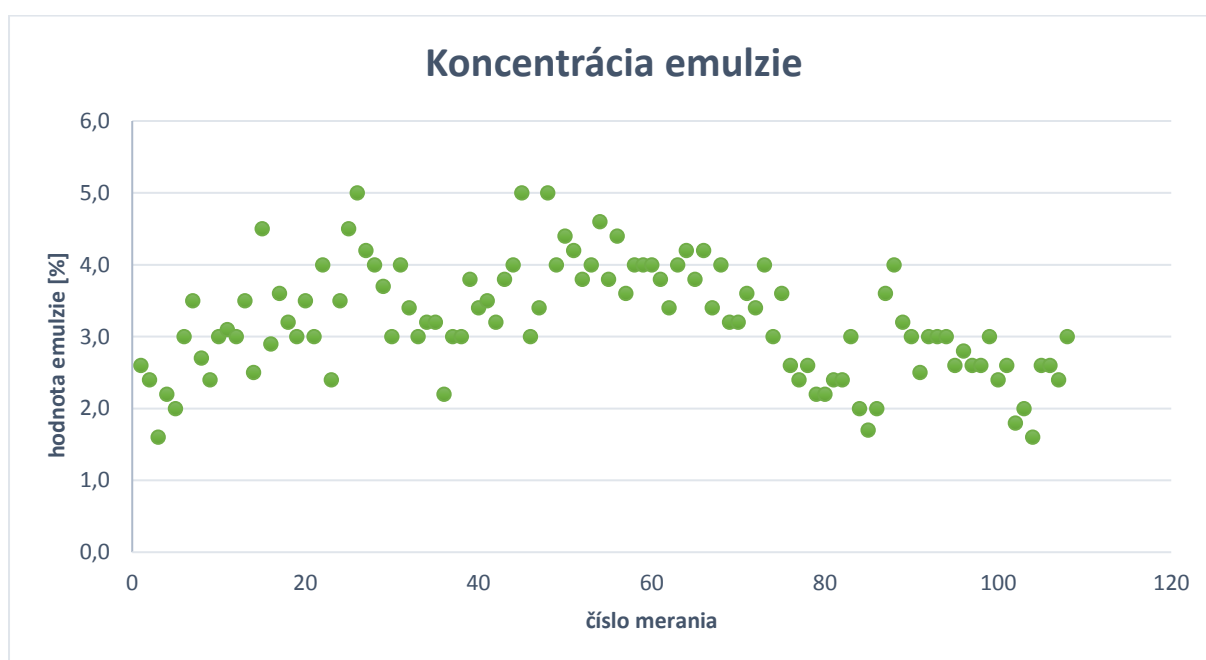
Obr. 15) Vzorkovnica bakteriálnych kolónii (mikrobiologické znečistenie) [30]

5.3.2 Tribodiagnostické meranie

V tejto podkapitole uvádzam výsledky z tribotechnického merania prevádzané na obrábacom stroji jednej firmy v Českej republike. Toto strojné zariadenie je vysoko presné vertikálne obrábacie centrum. Kontrolné meranie bolo prevádzané od mája 2011 do novembra 2015, s frekvenciou meraní 2 krát za mesiac, niekedy bolo toto meranie častejšie niekedy menej, prispôbené podľa aktuálneho stavu stroja.

Celkovo bolo vykonaných 108 meraní koncentrácie emulzie a meraní hodnoty pH. Sledovanie koncentrácie obrábacej emulzie je veľmi dôležitá pretože je to kľúčový parameter, ktorý ovplyvňuje chovanie kvapaliny a jej stabilitu. V prípade poklesu pod dolnú medzu je nutné napraviť tento stav doplnením koncentráту alebo kvapaliny s vysokou koncentráciou (30%). Správna koncentrácia zaisťuje nielen mazaciu funkciu, ale aj ochranu proti korózii, znášateľnosť vysokých tlakov, odolnosť voči starnutiu, bakteriálnu odolnosť ale aj správnu chladiacu funkciu. Koncentrácia roztoku sa zisťuje refraktometrom.

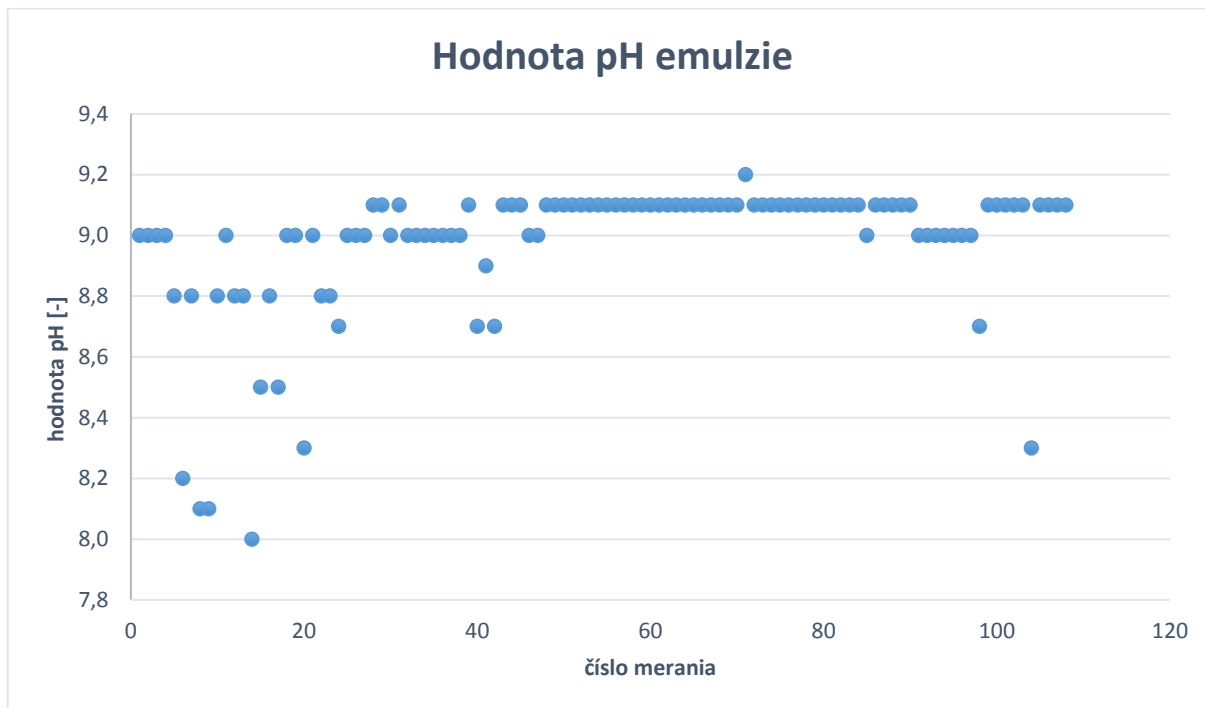
Referenčná doporučená hodnota koncentrácie roztoku sa pohybuje v intervale 3,5% až 5%. Avšak ako je vidieť na grafe nižšie nameraná hodnota bola často nižšia ako doporučená hodnota. Nápravné opatrenia pri tomto stave bolo najmä pravidelné dopĺňanie koncentráту.



Obr. 16) Graf nameraných hodnôt koncentrácie obrábacej emulzie

Stanovenie pH daného roztoku obrábacej zmesi je dôležité, pretože tento parameter nám poskytuje informáciu o stave danej emulzie, akákoľvek zmena hodnoty pH, či už zvýšená alebo znížená ukazuje nežiadúci vývoj a zmenu zloženia. Správna hodnota pH má hlavne funkciu odolnosti voči baktériám a protikoróznou ochranu. Normálna hodnota pH obrábacích emulzií sa pohybuje v rozmedzí 8,5 – 9,5. zvýšenie tejto hodnoty môže mať za následok podráždenie pokožky či vznik vážnej kožnej choroby. Znížením tejto hodnoty sa znižuje ochranná funkcia voči korózii a bakteriálnemu znečisteniu.

Referenčná doporučená hodnota pH sledovanej obrábacej emulzie je 9 -9,2. Ako je vidieť na grafe nižšie nameraná hodnota bola len v malej časti prípadov mimo tohto intervalu. Znížená hodnota pH emulzie mohla zapríčiniť bakteriálnu kontamináciu, preto bol vždy v tomto prípade použitý čistiaci prípravok vhodný na chladiace emulzie daného typu a tiež prípravok na upravenie pH hodnoty.



Obr. 17) Graf nameraných hodnôt pH obrábacej emulzie

5.4 Odporúčania pre firmu v oblasti proaktívnej údržby

Z informácii poskytnutých firmou o aktuálnom prístupe k údržbe na obrábacích strojoch je možné tento prístup doplniť o ďalšie kroky preventívnej údržby pomocou technickej diagnostiky. Prvou možnosť je pomocou noriem triedy ISO 230, ktoré pojednávajú o správnom nastavení polohy a presnosti strojného zariadenia pri obrábaní, o tepelných vplyvoch na výrobu počas prevádzky, o zvukovej emisii a o určení meracích vlastností snímacích systémov. Tieto normami určené skúšobné metódy je vhodné kombinovať s ďalšími metódami technickej diagnostiky.

Do druhej skupiny doporučených metód zaradíme napr. termodiagnostiku, pomocou ktorej vieme určiť obraz teplotného rozloženia daného objektu. Moderné digitálne termokamery sú schopné nám vytvoriť aktuálny teplotný snímok, vďaka čomu vieme povedať, ktoré časti na stroji sú najviac prehrievané a či ich aktuálna teplota vyhovuje vopred stanovenému teplotnému intervalu. Ich obsluha je jednoduchá a nevyžaduje špeciálne preškolenie pre používateľa. Zvýšená teplota na stroji či jeho časti môže byť zapríčinená vážnou mechanickou alebo poruchou iného pôvodu. Vibrodiagnostika je ďalšia z metód technickej diagnostiky. Je vhodná najmä pri rotačných strojoch, pri zisťovaní stavu ich valivých ložísk a detekcie dynamických stavov stroja ako je nevyváženosť a nesúososť. Moderný trendom vo firmách je keď jeden, alebo viacerí pracovníci (podľa veľkosti závodu a ich strojového parku)

zastávajú pozíciu vibrodiagnostika. Teda tento pracovník sa venuje údržbe strojných zariadení a ich stav zisťuje pomocou vhodného postupu vibračnej diagnostiky, vďaka čomu dokáže zistiť a zabrániť mnohým poruchám a prestojom vo výrobe, dokáže naplánovať potrebné opravné opatrenia a výmeny opotrebovaných súčastí.

V mojej práci som sa najviac venovala tribotechnickej diagnostike, pretože táto metóda je efektívna najmä v zmysle nedeštruktívneho prístupu k obrábacej jednotke a možnosti identifikácie stavu stroja v časovom predstihu ešte predtým ako sa prejaví prvé príznaky negatívneho stavu. Meraniami, ktoré využívajú jednoduché a základné princípy fyziky a chémie je možné neustále monitorovanie strojného zariadenia. Na sledovanom CNC sústruhu odporúčam sledovanie stavu obrábacej kvapaliny a hydraulického oleja, prehľad najčastejších vhodných postupov, meraní, prístrojov a ich cien sú pre tieto dva typy maziva vypísané v kapitole 5.3.1. Stav hydraulického oleja a obrábacej emulzie môžeme zistiť pomocou jednorazových rozborov. Pre hydraulický olej:

- *číslo kyslosti* (udáva nám množstvo kyslých prísad v oleji, ktoré pribúdajú jeho starnutím a degradáciou),
- *obsah vody* (nepriaznivý stav, kedy je porušená mazacia vrstva a tým zhoršené vlastnosti oleja),
- *nečistoty v oleji* podľa ISO 4406/NAS (nečistoty sú príčinou vážneho poškodenia strojných súčastí)
- *obsah prísad* pomocou RULER testu (prísady zabezpečujú dôležité vlastnosti olejového mazania).

Pre obrábaciu emulziu:

- *koncentrácia* (kľúčový parameter, ktorý ovplyvňuje vlastnosti a stabilitu)
- *pH hodnota* (nežiadúce sú zmeny v zložení, pretože poukazujú na nepriaznivý vývoj kvapaliny)
- *korózia* (zníženie množstva prímies, ktoré ochraňujú stroj pred koróziou)
- *prítomnosť baktérií a plesní* (mikrobiologické znečistenie je veľmi nebezpečné, pretože môže obrábaciu kvapalinu úplne zdegradovať)

Na trhu sa nachádzajú aj digitálne prístroje, ktorými sa môžu vykonávať vyššie spomínané rozborov priamo vo firme (viď kap. 5.3.1):

- *rotačný viskozimeter* na meranie kinematickej viskozity hydraulického oleja
- *automatický prístroj na meranie kódu čistoty* hydraulického oleja
- *titračné zariadenie* na meranie kyslosti hydraulického oleja
- *refraktometer* na meranie koncentrácie obrábacej emulzie
- *prístroj na meranie pH hodnoty* obrábacej emulzie
- *prístroj na meranie korózie* obrábacej emulzie

Kúpa každého jedného z prístrojov znamená pre firmu istú finančnú investíciu, avšak tieto náklady sú návratné, keďže rozborov sa nevykonávajú jednorazovo, ale je potrebné ich opakovať s istou časovou frekvenciou prispôbenou vyťaženosti strojného zariadenia a jeho stavu. Príkladom sú výsledky meraní v praktickej časti, kedy bola monitorovaná koncentrácia obrábacej emulzie aj jej hodnota pH. Oba tieto parametre nesú základné, no dôležité informácie o aktuálnom stave stroja. Tieto merania boli vykonávané s frekvenciou cca raz za 3 týždne, pričom tento interval bol prispôbený zistenej hodnote v predchádzajúcom meraní.

V oblasti proaktívneho prístupu je nutná vysoká prvotná finančná investícia, ktorou je však možné dosiahnuť výrazné zlepšenie v prístupe ku starostlivosti o strojné zariadenia a tým aj zvýšenie spoľahlivosti prevádzky. Medzi kroky zavádzania proaktívneho systému údržby patrí počítačom riadená údržba, pomocou sledovania stavu a jeho okamžitého vyhodnocovanie, tzv. online monitoring. V dnešnej dobe je na trhu mnoho počítačových programov na riadenie údržby prostredníctvom neustáleho monitorovania a vizualizácie dát, mnoho programov, ktoré prostredníctvom aplikácie v smartphonoch (moderné mobilné telefóny s prístupom na internet) a tabletoch sledujú a vyhodnocujú stav stroja.

Ďalší nástroj pre zvýšenie efektívnosti údržby je zahrnutie stratégie moderných konceptov (TPM), čím sa do systému údržby zapájajú všetci zamestnanci firmy, ktorých sa týka prevádzka na stroji, či už je to obsluha strojnej jednotky alebo vrcholový manažment zodpovedajúci za ekonomickú stránku prevádzky. Moderným trendom je tiež vytvorenie tímu údržby tvoreného pracovníkmi, ktorý sa každý jeden špecializuje na samostatnú metódu technickej diagnostiky. Vyškolení pracovníci s praxou si môžu spraviť rôznu certifikáciu: napr. Technik Diagnostik – Tribodiagnostik alebo Špecialista vibračnej diagnostiky ktorá sa získava v Akreditovanom certifikačnom mieste Domu techniky Ostrava. Certifikovaná osoba tým získa mnohé teoretické aj praktické znalosti v danej problematike a je kvalifikovaná na prevádzanie daných technických meraní na strojnom zariadení.

Za uváženie taktiež stojí zmena obrábacej emulzie (miešateľná s vodou) za obrábanie pod olejom. Tento výmenný proces je tiež finančne náročný, pretože je potrebné celkové vyčistenie zásobníka a stroja pred prvou olejovou náplňou a tiež zakúpenie protipožiarneho zariadenia (viď kapitola 5.2) na každú strojnú jednotku zvlášť. Avšak obrábanie pod olejom má mnohé výhody – vyššie rezné rýchlosti, nižšia spotreba chladiacej emulzie, zníženie vibrácií, zvýšenie životnosti obrábacích nástrojov a tiež predstavuje finančnú úsporu a teda aj návratnosť investície do celého systému obrábania pod olejom. Je potrebné však premyslieť a zvážiť, vek, priemerné vyťaženie a teda celkový stav stroja pri ktorom uvažujeme o obrábaní pod olejom.

6 ZÁVER

V teoretickej časti mojej bakalárskej práce sa venujem spoľahlivosti obrábacích strojov, ďalej opisujem rôzne prístupy k systému údržby a metódy technickej diagnostiky nápomocné pri vytváraní konceptu údržby ako efektívnemu prostriedku zvyšovania spoľahlivosti strojných zariadení. Rozšírenie znalostí o stave v akom sa stroj nachádza dovoľuje vytvoriť účinný systém údržby, vďaka čomu je možné predchádzať poruchám, prestojom vo výrobe a nákladom potrebným na opravné opatrenia.

Tribotechnická diagnostika je vhodnou metódou najmä v zmysle nedeštruktívneho prístupu a možnosti zistiť poruchu stroja a jeho súčastí ešte predtým ako sa prejaví negatívny stav. Môžeme ňou zisťovať stav v akom sa nachádza strojné zariadenie prostredníctvom chemických a fyzikálnych zmien použitých mazív a chladiacich kvapalín. V praktickej časti bolo rozobrané meranie koncentrácie a pH hodnoty obrábacej emulzie. Z nameraných výsledkov zobrazených v grafe bolo zistené, že sledovanie koncentrácie obrábacej emulzie je dôležité, pretože táto hodnota klesá pod najnižšiu referenčnú hodnotu a tým obrábacia emulzia stráca svoje vlastnosti. Sledovanie pH hodnoty obrábacej emulzie je taktiež potrebné, kvôli tomu že správna hodnota pH zamedzuje mikrobiologickému znečisteniu a vzniku plesní a taktiež, pretože zvýšená hodnota nepriaznivo pôsobí a dráždi pokožku pracovníkov, ktorý obsluhujú strojné zariadenie.

V ďalšej časti kapitole praktickej časti sa venujem návrhu proaktívneho systému údržby. Je tu uvedený prehľad odporúčaných tribotechnických rozborov a meracích prístrojov vhodných pre hydraulický olej a obrábaciu kvapalinu použitých vo firme SMC Industrial Automation CZ s.r.o. Vyškov. Prehľad obsahuje aj ceny jednotlivých meraní a tiež uvedených prístrojov.

Na konci práce sú zhrnuté všetky dosiahnuté výsledky a podľa nich vytvorené odporúčania pre proaktívny prístup k systému údržby vo firme. Keďže rozsah problematiky v tejto bakalárskej práci je veľmi veľký, existuje mnoho ďalších spôsobov ako sa venovať tejto téme. Ako ďalšiu vhodnú metódu na posúdenie stavu stroja môžeme použiť vibrodiagnostiku alebo termodiagnostiku. V tomto prípade by sa dalo začať so zakúpením digitálnej termokamery na sledovanie teplotného obrazu stroja a monitorovanie prípadného nebezpečného prehrievania istých častí. Ďalším riešením môže byť aj kombinovaná multiparametrická diagnostika tvorená viacerými metódami súčasne. Pri všetkých odporúčaníach pre firmu je však dôležité zohľadniť isté finančné a časové náklady a tiež vízie firmy a ich plán kam sa chcú v budúcnosti v tejto tematike uberať.

7 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] BORSKÝ, Václav. *Obráběcí stroje*. Brno: Nakladatelství VUT, 1992, 216 s. : il., grafy, schémata. ISBN 80-214-0470-1
- [2] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. : il. (některé barev.). ISBN 80-7300-207-8
- [3] VELÍŠEK, Karol a Peter KOŠTÁL. *Mechanizácia a automatizácia*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2007. Vysokoškolské učebnice. ISBN 978-80-227-2753-2 Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/seminsky/APT/mechanizacia_a_automatizacia.pdf
- [4] ČSN IEC 50(191). *Medzinárodný elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spôľahlivosť a akosť služieb*. Bratislava: Československý inštitút technickej normalizácie a akosti, 1993.
- [5] LÁNSKÝ, Milan a Jan MAZÁNEK. *Diagnostika a informační diagnostické systémy I*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1998. ISBN 8071941557.
- [6] VORLÍČEK, Zdeněk. *Spolehlivost a diagnostika výrobních strojů*. 2., přeprac. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1991. ISBN 8001005100
- [7] ČERVEŇAN, Andrej. *Systém údržby*. 1.vyd. Bratislava: CKV Consult s r.o., 2015, s. 68. ISBN 978-80-971986-0-2. Dostupné z: http://www.sjf.stuba.sk/docs//docs/edicne/Údržba_farebna_final.pdf
- [8] ČSN EN 13306. *Údržba - Terminologie údržby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011
- [9] LEGÁT, Václav. *Management a inženýrství údržby*. Praha: Professional Publishing, 2013. ISBN 9788074311192.
- [10] RASCHMAN, Pavel a Hana PAČAIOVÁ. Špecifický modul. *Spôľahlivosť, riziko a stratégie údržby*. Košice : [s.n.], , 60-62. Dostupné z: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/16-2010/pdf/81-87.pdf>
- [11] PEŤKOVÁ, Viera. *Identifikácia poruchy stroja skôr ako vznikne*. Tribotechnika. [online]. Žilina: Techpark, 1/2011, ©2008-2017 [cit. 2017-03-21]. ISSN 1338-0524 Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12011/identifikacia-poruchy-stroja-skôr-ako-vznikne.html>

[12] CHIESA, David B. *Proactive maintenance*. Plant Engineering (Barrington, Illinois) [online]. 1012, 64(10), 32-33 [cit. 2017-02-26]. ISSN 0032082X.

[13] HAMMER, Miloš. *Technická diagnostika, rozdělení, metody a prostředky*: Studijní materiály. Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. 2016.

[14] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001. ISBN 8070788836.

[15] Tribodiagnostika kapalných maziv a strojních součástí. HELEBRANT, František, HRABEC, Ladislav a BLATA Jan, *Provoz, diagnostika a údržba stroju: Studijní materiály*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2013. ISBN 9788024830285. Dostupné z: <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/12-Provoz,%20diagnostika%20a%20%C3%BAdr%C5%BEba%20stroj%C5%AF%2007.pdf>

[16] PETKOVÁ, Viera. *Tribodiagnostika strojov a olejov. Tribotechnika*. [online]. Žilina: Techpark, 12.12.2016, ©2008-2017 [cit. 2017-02-10]. ISSN 1338-0524. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika12010/tribodiagnostikastrojovaolejov.html>

[17] DÁVIDEK, Ondrej, Červeňan, Andrej. *Optimalizácia systému údržby v spoločnosti Bost SK A.S. Údržba*. [online]. Bratislava: Slovenská spoločnosť údržby, 5/2013, [cit. 2017-02-19]. ISSN 1336-2763. Dostupné z: http://www.udrzba.sk/sk/casopis/Casopis_13_01/udrzba_13_01.pdf

[18] TERMOKAMERY. [online]. 2016 [cit. 2017-02-19]. Dostupné z: <https://www.termokamery-flir.sk/termokamera-flir-e4-flir-e5-flir-e6-flir-e8-pre-priemysel/>

[19] TECHPARK. Tribotechnika. *Výroba a druhy mazív* [online]. ©2008-2017 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22014/vyroba-a-druhy-maziv.html>

[20] MACHALÍKOVÁ, Jaroslava, Marie SEJKOROVÁ a Marcela LIVOROVÁ. *Aplikace instrumentálních metod v analýze provozních hmot pro dopravní prostředky*. Scientific papers of the University of Pardubice [online]. Univerzita Pardubice, 2013 [cit. 2017-03-26]. ISBN 978-80-7395-684-4. ISSN 1211-6610

[21] NEMEČEK, Pavel. *Technická diagnostika, Proaktivní údržba*: Studijní materiály. Fakulta strojní TU v Liberci, Katedra vozidel a motorů. 2016. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1850>

[22] JONES, Malcolm. *TPM. Works Management* [online]. Horton Kirby: Findlay Publications Limited, 2001, 54(8), 41 [cit. 2017-03-27]. ISSN 03744795.

- [23] Továrna ve Vyškove: Centrální výrobní závod pro Evropu [online]. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o., 2015 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: https://www.smc.eu/portal_ssl/webpages/00_local/cz/vyskov_factory.jsp
- [24] ČSN 65 6256. *Zkušební metody pro ropné oleje - Minerální oleje - Korozní zkouška vodných emulzí na litině (Herbert test)*. Praha: Český normalizační institut, 2006
- [25] LABCOMPARE. [online]. © 2009-2017 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.labcompare.com/600-Viscometer-Digital-Viscometer/3593-SVM-3000-Stabinger-Viscometer/>
- [26] METROHM. [online]. 2010-2017 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://www.metrohm.com/en/products/karl-fischer-titration/kf-titrando/>
- [27] REFRAKTOMETRER-ESHOP. [online]. 2016 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://www.refraktometer-eshop.sk/refraktometre-serie-brix>
- [28] Interní materiály firmy: *Návod k obsluze stroje*. SMC Industrial Automation CZ s.r.o. Vyškov.[cit. 2017-04-26].
- [29] WTW. [online]. © 2014 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.wtw.sk/prenosne-ph-pristroje-154/>
- [30] LOTIONCRAFTER. [online]. © 2002-2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.lotioncrafter.com/microbial-test-kit-lotioncrafter.html>
- [31] DOBEŠ. Peter. *Diagnostika obráběcích kapalin*. časopis Tribotechnika, ročník VIII. (2015), č.1, s.50-51, ISSN 1338-0524

8 ZOZNAM SYMBOLOV, SKRATIEK, OBRÁZKOV A TABULIEK

8.1 Zoznam skratiek a symbolov

A.....	súčiniteľ pohotovosti
Al.....	hliník
CEZ.....	ukazovateľ celkovej efektívnosti
CNC.....	počítačovo riadený stroj
Cu.....	meď
E.....	ukazovateľ výkonnosti
Fe.....	železo
Pb.....	olovo
Q.....	ukazovateľ kvality
RAMO.....	rýchla analýza motorových olejov
TTD.....	tribotechnická diagnostika
ε	emisivita
ρ	reflexivita
τ	transmisivita

8.2 Zoznam tabuliek

TAB 1) MÝTY A PRAVDY O PROAKTÍVNEJ ÚDRŽBE	22
TAB 2) PARAMETRE CNC AUTOMATICKÉHO SÚSTRUHU [28].....	36
TAB 3) VONKAJŠÍ POHĽAD – NÁZVY ČASTÍ [28]	37
TAB 4) KROKY PREVENTÍVNEJ ÚDRŽBY	38
TAB 5) ROČNÝ PLÁN ÚDRŽBY	39
TAB 6) VÝPOČET NÁVRATNOSTI.....	39
TAB 7) POUŽITÉ OLEJE NA STROJNOM ZARIADENÍ	40

8.3 Zoznam obrázkov

OBR. 1) DEFINÍCIA SPOLEHLIVOSTI [4].....	18
OBR. 2) ŠTRUKTÚRA ANALYTICKEJ DIAGNOSTIKY [6]	18
OBR. 3) ROZDELENIA STRATÉGII ÚDRŽBY [7]	20
OBR. 4) TRIBOLOGICKÉ PROCESY[14]	27
OBR. 5) ROZLOŽENIE ZÓN V CHROMATOGRAME - KVAPKOVÁ SKÚŠKA [14]... 30	
OBR. 6) TRIBOSYSTÉM.....	31
OBR. 7) PRÍKLAD TYPU TERMOKAMERY OD SPOLOČNOSTI FLIR [18] .	32
OBR. 8) CELKOVÉ MERANIE VIBRÁCII [9]	33
OBR. 9) VÝROBNÝ ZÁVOD VO VYŠKOVE [23].....	35
OBR. 10) VONKAJŠÍ POHĽAD -OZNAČENÉ ČASTÍ [28].....	37
OBR. 11) VSKOZIMETER STABINGER [25]	41
OBR. 12) TITRAČNÉ ZARIADENIE FISCHER [26]	42
OBR. 13) DIGITÁLNY REFRAKTOMETER [27]	42
OBR. 14) PRÍSTROJ NA MERANIE PH [29]	43
OBR. 15) VZORKOVNICA BAKTERIÁLNYCH KOLÓNII (MIKROBIOLOGICKÉ ZNEČISTENIE) [30]	43
OBR. 16) GRAF NAMERANÝCH HODNÔT KONCENTRÁCIE OBRÁBACEJ EMULZIE	44
OBR. 17) GRAF NAMERANÝCH HODNÔT PH OBRÁBACEJ EMULZIE	45

9 ZOZNAM PRÍLOH

CD s obsahom:

- Bakalárska práca vo formáte PDF