VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

STROJÍRENSKÁ ÚDRŽBA TOČIVÝCH ELEKTRICKÝCH STROJŮ

MECHANICAL MAINTENANCE OF ROTATING ELECTRICAL MACHINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE PAVEL SMEJKAL
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. JOSEF PAVLÍK, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Smejkal

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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:

Strojírenská údržba točivých elektrických strojů

v anglickém jazyce:

Mechanical maintenance of rotating electrical machines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

I na točivých elektrických strojích je třeba provádět strojírenskou údržbu. Tuto údržbu je třeba shrnout do ucelené práce.

Cíle bakalářské práce:

Je třeba stanovit, jaká strojírenská údržba se na točivých elektrických strojích provádí a určit míru důležitosti jednotlivých druhů strojírenských údržbových kroků vzhledem k příčinám poruch.

Seznam odborné literatury:

-Havelka J., Dresler J., Jílek V.; Montáž, údržba a opravy elektrických strojů točivých, Praha, STRO.M, 1995
-Preventivní údržba strojů : Základy, metody a přístroje pro posuzování, diagnostiku a sledování strojů a pro údržbu podle jejich skutečného stavu, Praha, Nakladatelství techn. lit., 1989.
-Voštová V., Helebrant F., Jeřábek K.; Provoz a údržba strojů.. Údržba strojů, Praha, Vydavatelství ČVUT, 2002

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Pavlík, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 22.11.2011

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c. Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou strojírenské údržby točivých elektrických strojů. Nastiňuje základní rozdělení údržby a její vlivy na funkci a hospodárnost vzhledem k druhu údržby. Hlavní důraz je kladen na jednotlivé údržbové kroky, které se na točivých elektrických strojích provádí. Dále se zaměří na určení jejich důležitost vzhledem k příčinám poruch.

KLÍČOVÁ SLOVA

Údržba, hospodárnost, kontrolní prohlídka, selhání funkce, oprava

ABSTRACT

This thesis deals with the mechanical maintenance of rotating electrical machines. It outlines the basic division of maintenance and its effects on the function and cost efficiency due to the type of maintenance. Main emphasis is placed on individual maintenance steps, which is done on the rotating electrical machines and then to determine their importance in relation to the causes of failures.

KEYWORDS

Maintenance, economy, inspection visit, malfunction, repair

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SMEJKAL, P. *Strojírenská údržba točivých elektrických strojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 34 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Pavlík, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Josefa Pavlíka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 7. května 2012 ……..……..……..

Pavel Smejkal

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Josefu Pavlíkovi, Ph.D., za jeho pomoc, užitečné rady a čas strávený konzultacemi.

OBSAH

Úvod 10
1 Točivé elektrické stroje 11
1.1 Úvod do točivých elektrických strojů 11
1.2 Rozdělení točivých elektrických strojů podle principu 11
2 Údržba 12
2.1 Údržba s předem stanovenými intervaly 12
2.2 Údržba podle stavu 13
2.3 Údržba po poruše 14
2.4 Hospodárnost údržby 14
3 Preventivní údržba 16
3.1 Kontrolní prohlídka 16
3.2 Kontrolní prohlídka za klidu 17
3.2.1 Čistota točivých strojů 17
3.2.2 spojovací materiál 18
3.2.3 Přívody 18
3.2.4 Statické vyvážení 19
3.2.5 ložiskové oleje a tuky 19
3.2.6 Sběrací kroužky 21
3.2.7 Komutátory 21
3.2.8 Sběrné ústrojí 21
3.2.9 Vzduchová mezera 21
3.3 Kontrolní prohlídka v provozu 22
3.3.1 Mechanické kmitání 22
3.3.2 Dynamická nevyváženost 22
3.3.3 Momentová nevyváženost 22
3.3.4 Kmitání Valivých ložisek 23
4 Údržba po poruše 24
4.1 Ložiskové štíty 24
4.2 chlazení 24
4.3 Rotor 25
5 Selhání funkce 27
5.1 Nejčastější poruchy střídavých strojů 27
5.2 Asynchronní motor 29
5.3 Synchronní motor 30
5.4 Stejnosměrný motor 31

Závěr 32

ÚVOD

Doby, kdy nejrůznější stroje poháněla převážně lidská síla, minuly a to alespoň ve vyspělém světě. Dnes je zdaleka nejrozšířenější pohonná jednotka točivý elektrický stroj, který se dnes nachází v nějakém zastoupení ve většině zařízení. K jeho rozšíření pomohla velká užitečnost elektrického proudu, díky kterému se práce na jednom místě vykoná a na jiném spotřebuje.

Na točivé elektrické stroje jsou kladeny stále větší nároky. Vysoká účinnost, nízká cena, nízká hlučnost, a v neposlední řade environmentalismus. Aby bylo možno splnit tyto požadavky, vznikly v průběhu let různé konstrukce točivých elektrických strojů, které obsahují různé množství částí, které jsou náchylné k poruše. Porucha jedné části může znamenat poruchu nebo destrukci celého celku.

Točivé elektrické stroje vyžadují při plnění funkce patřičné zacházení (údržbu), která se odvíjí jak od jejich konstrukce, geografického umístění, způsobu namáhání a od mnoha dalších vlivů. Vhodně zvolená údržba a její části vedou k optimalizaci výrobního procesu, zlepšení hospodárnosti a v neposlední řadě bezpečnosti.

1 TOČIVÉ ELEKTRICKÉ STROJE

1.1 ÚVOD DO TOČIVÝCH ELEKTRICKÝCH STROJŮ

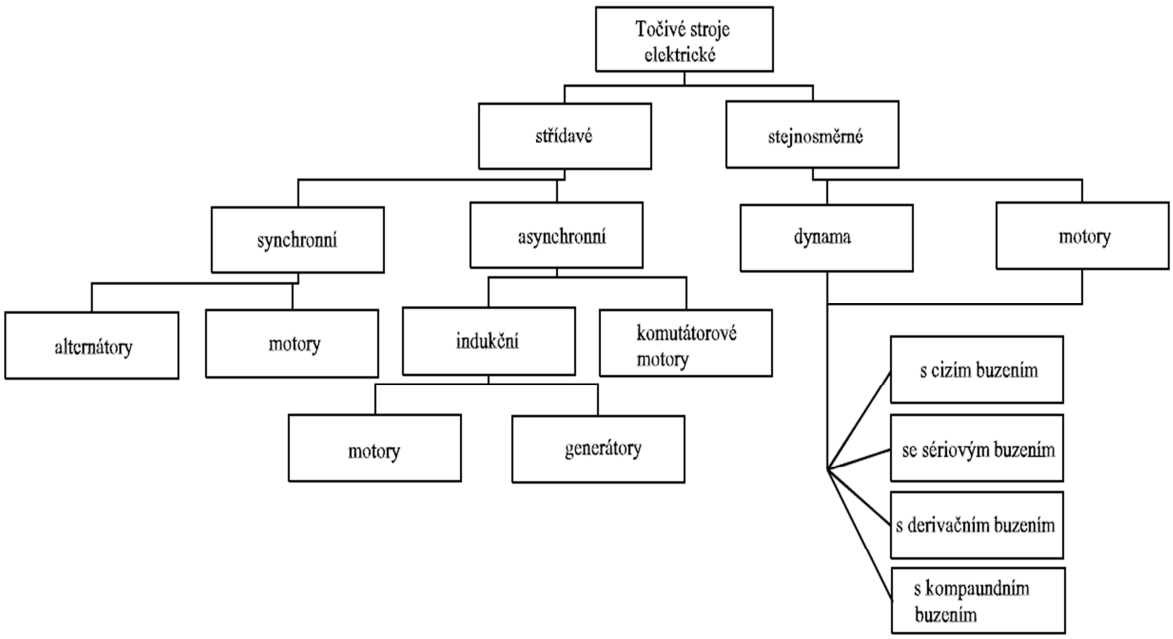
Točivé elektrické stroje jsou zařízení, které transformují elektrickou energii v mechanickou a naopak. Reprezentují tedy elektromechanické měniče energie. Dle druhu proudu použitého, dělíme točivé elektrické stroje na střídavé a stejnosměrné. Střídavý zdroj bývá ve většině případů trojfázový (přenosová soustava).

Točivý elektrický stroj má dvě význačné části: stator a rotor. Stator je ukotvená část motoru, zatímco rotor je za pomocí ložisek pohyblivě uložená část. Mezi rotorem a statorem je vzduchová mezera.

1.2 ROZDĚLENÍ TOČIVÝCH ELEKTRICKÝCH STROJŮ PODLE PRINCIPU

Střídavé točivé elektrické stroje dělíme na synchronní a asynchronní. Asynchronní motor potřebuje skluz otáček k indukci proudu v rotoru, zatím co synchronní motory mají i při zatížení stejné otáčky jako točivé pole statoru.

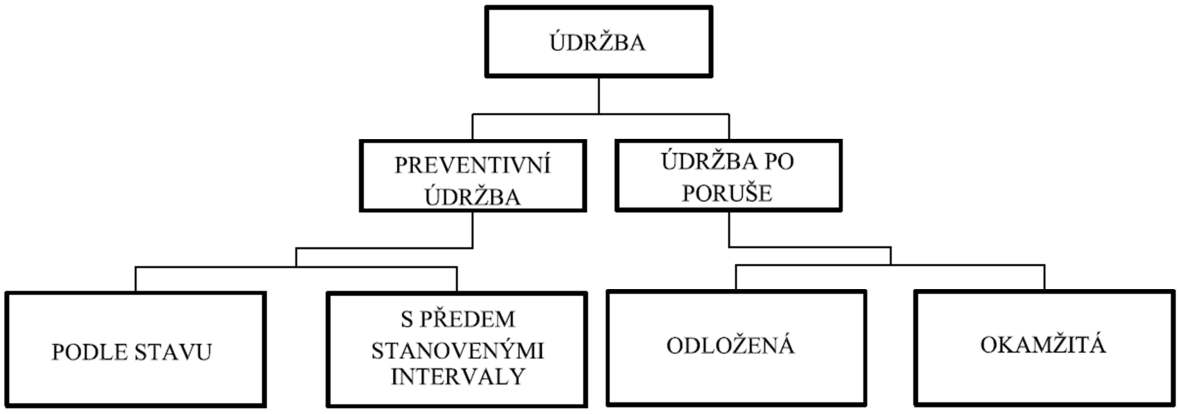
Stejnosměrné točivé stroje rozdělujeme podle transformace energie na elektrické motory a dynama. Podle způsobu buzení se dělí na stroje s cizím buzením, sériovým buzením, derivačním buzením a kompaundním buzením.



Obr. 1Rozdělení točivých elektrických strojů[12]

2 ÚDRŽBA

Definovat jaké činnosti spadají do kategorie údržby pomůže norma ČSN ISO 13 306 Údržba: *kombinace všech technických, administrativních a manažerských opatření během životního cyklu objektu zaměřených na jeho udržení ve stavu nebo jeho navrácení do stavu, v němž muže vykonávat požadovanou funkci.[14]* Z tohoto faktu se dá údržba rozdělit na dvě hlavní části a to na Preventivní údržbu a na Údržbu po poruše.



Obr. 2.1 Rozdělení údržby[14]

2.1 ÚDRŽBA S PŘEDEM STANOVENÝMI INTERVALY

Tento druh údržby je zastoupen ve většině údržbových krocích a to zejména u velkých systémů, kde výpadek jedné jednotky může znamenat pád systému jako celku. To se nepříznivě odrazí na době zpracování daného požadavku, která se ve výsledku projeví značnou nehospodárností celého celku. Hospodaření tohoto typu si v dnešní době může málokdo dovolit a proto tento druh údržby bývá zpravidla nejrozšířenější.

Samotná údržba spočívá v provádění údržby v předem daném časovém plánu. Stanovení termínu se provede dle instrukcí výrobce a na základě dlouhodobých zkušeností s daným systémem, ale i v souladu s výrobním plánem. Nutnost odstavení systému od celku je zpravidla vyžadovaná kvůli technologickým vlastnostem systému, ale i z důvodu bezpečnosti.

Časový plán, tedy interval, ve kterém se vyskytují údržbářské činnosti má hned několik slabin. Prevence poruchy v daném časovém intervalu se nemusí shodovat se skutečným stavem stroje, neboli výměna dané jednotky nemusí odpovídat stavu stroje a naopak. Není zaručená bezporuchovost systému mezi jednotlivými časovými intervaly bez použití nahraditelnosti.

Takto se může údržba se stanoveným intervalem prodražit, nicméně snaha o včasnou prevenci poruch je dobrou cestou, díky které lze náklady minimalizovat s pomocí dobře zvoleného časového plánu.

2.2 ÚDRŽBA PODLE STAVU

Optimální údržbu je možno realizovat pouze v závislosti na skutečném stavu systému a to při této koncepci

- *stroje se odstavují pouze tehdy, jestliže to jejich stav vyžaduje*

- *dílce se vyměňují jen tehdy, jestliže dosáhly příslušného opotřebení*

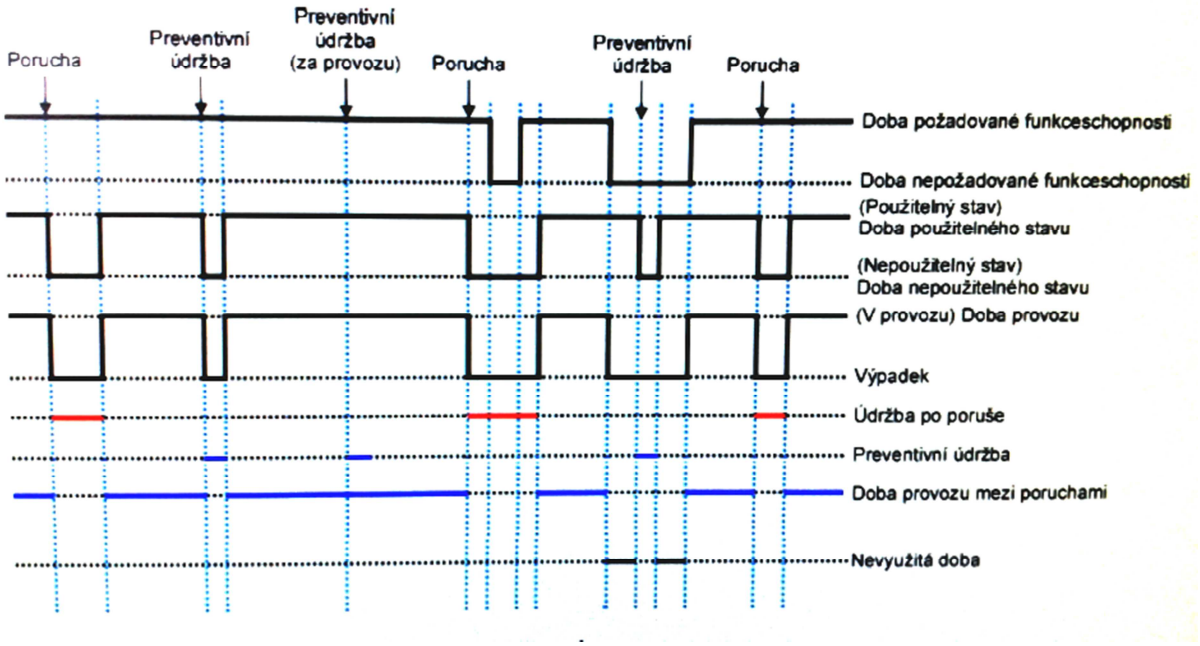
- *rotory se znovu vyvažují jen tehdy, když byly překročeny příslušné tolerance*

- *osy agregátu se znovu vyrovnávají teprve tehdy, když nesouosost příliš narostla[2]*

Skutečný stav systému můžeme zjistit měřící senzorikou, kterou musí být systém vybaven, ale i pomocí přenosných diagnostických zařízení. Tyto čidla monitorují stav systému v době. To zaručí příjem hodnot, které se dají porovnat s dovolenými hodnotami ale i hodnotami standartními. Vyhodnocením se získá představa o stavu systému, ale i o době, ve které některé části systému vypoví službu.

Pomocí takto vyhodnocených informací jsme schopni včas reagovat na hrozící nebezpečí a předejít tak případné poruše a zastavení celého celku. Znalost intervalu, ve kterém se porucha objeví, dává možnost stanovit vhodný časový plán údržby s předem stanovenými intervaly .

Tento způsob je po finanční stránce značně nákladný a to zejména při zavádění. Během provozu se vyznačuje značně hospodárněji z již uvedených důvodů. Tato metoda údržby nalézá uplatnění především tam, kde se systém vyznačuje velkou setrvačností.



Obr. 2.2 Doba poruch[14]

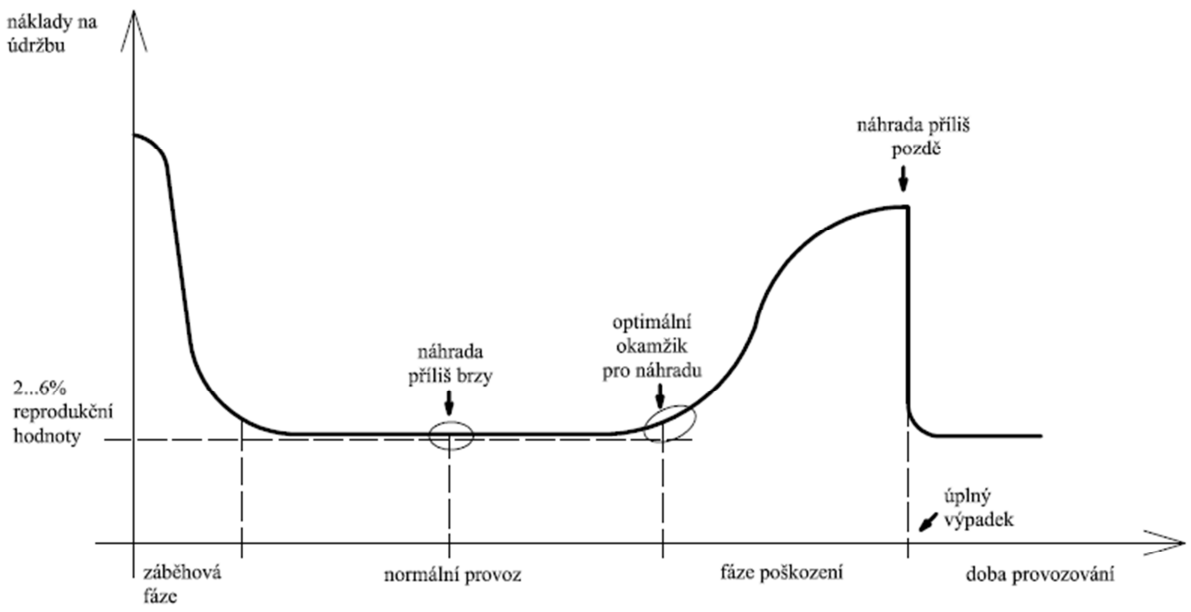
2.3 ÚDRŽBA PO PORUŠE

Princip této údržby spočívá v tom, že se na systému neprovádí žádná údržbová činnost do doby, než dojde k poškození nějaké části systému, která povede ke ztrátě funkčnosti systému. Tato metoda se využívá tam, kde výpadek části systému neohrozí funkci celku nebo tam, kde systém pracuje samostatně a může si odstávku dovolit. Tento způsob údržby nesmí být použit v případě, že bezpečnostní prvek obsahuje systém, který může svojí nefunkčností ohrozit funkci celku a tím narušit bezpečnost provozu.

Předností této metody je především nulová ekonomická zátěž v průběhu funkce systému. Po poruše musí následovat oprava systému nebo nahrazení systému jiným, případně systémem vyšší řady.

2.4 HOSPODÁRNOST ÚDRŽBY

Nedílnou součástí jakéhokoli výrobního cyklu je optimalizace nákladů. Dobře zvolená údržbová činnost zvýší provozní spolehlivost systémů a tím i celku.

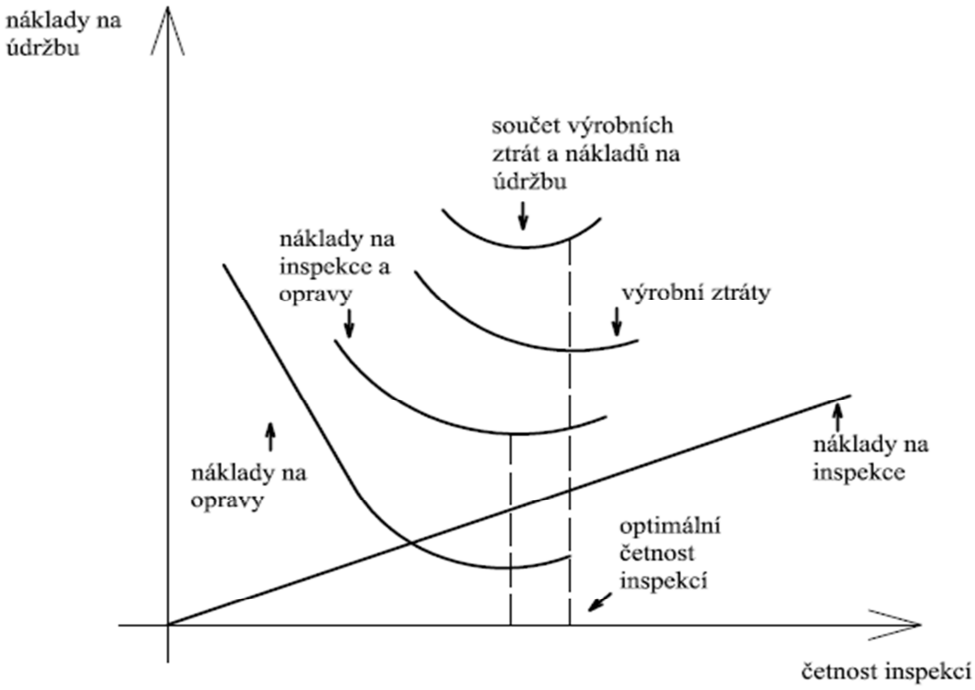


Obr. 2.3 Vývoj nákladů na údržbu během doby provozu stroje[2]

Jak je vidět na obrázku 2.3 náklady na údržbu jsou proměnné v závislosti na fázi životního cyklu. Největší náklady zpravidla bývají při zavádění systému do provozu. Při normálním provozu je nejvhodnější z hlediska ekonomického, provádět údržbový krok

v okamžiku iniciace poškození. Nicméně zaručeně lze dosáhnout tohoto výsledku pouze při údržbě podle stavu, která je v první fázi ekonomicky náročná.

Údržba s předem stanovenými intervaly nemusí ekonomicky nastavený požadavek splnit, z důvodu možné předčasné výměny části systému. Nebo nestihne rozpoznat vadu včas a dojde k poškození systému.



Obr. 2.4 Náklady v závislosti na četnosti inspekcí[2]

Obrázek 2.4 prezentuje závislost mezi finálními náklady a četností inspekcí. Náklady na inspekce stoupají přímo úměrně s jejich počtem. Součet výrobních ztrát a nákladů na údržbu má své minimum, které signalizuje optimální četnost prohlídek. Náklady na opravy jsou při nízké četnosti inspekcí vysoké. Při dosažení optimální četnosti inspekcí jsou náklady na opravu a inspekce vyváženy.

Jedním z cílů údržby je nalezení rovnováhy mezi spolehlivostí systému a náklady v optimální shodě, vzhledem ke stanovenému účelu.

3 PREVENTIVNÍ ÚDRŽBA

Hlavními cíli preventivní údržby je snížení pravděpodobnosti poruchy nebo znehodnocení funkce systému.

Obr. 3.1 Rozdělení preventivní údržby

Úspěšnost detekce závad točivých elektrických strojů je hlavní pilíř celé údržby. Bez dokonalé znalosti principu a funkce daných systémů nelze zavést jednoduchý návod detekce závad.

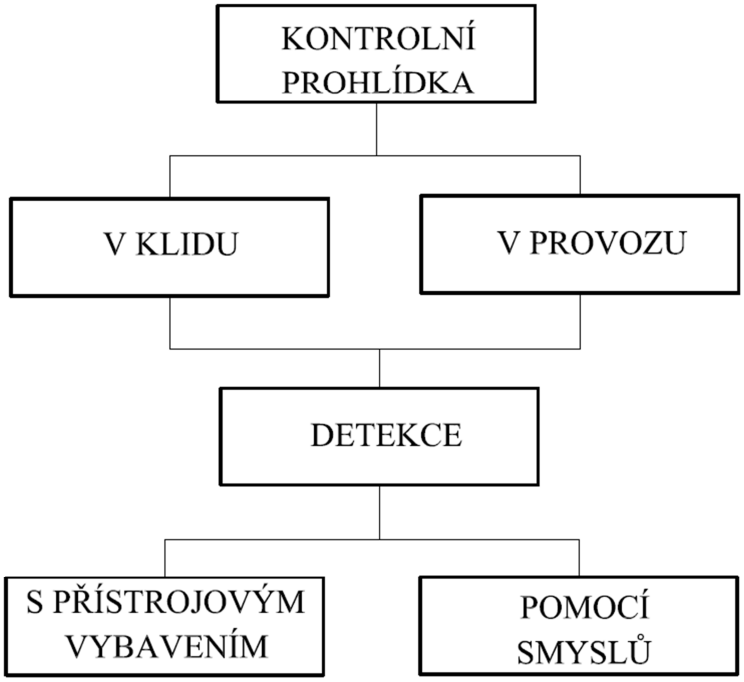
Velký záběr vstupních hodnot umožnuje nestranné posouzení stavu stroje, proto je třeba dbát na precizní sběr informací v místě provozu daného systému. Způsob činnosti točivého elektrického stroje pomůže odhadnout pravděpodobnost možného výskytu dané vady části systému. V takto zvoleném místě se provede detailní měření. Existují případy, kdy vyhodnocování v daném místě nevede k požadovanému cíli, a tak se postupuje od nejpravděpodobnějšího k méně pravděpodobnému.

3.1 KONTROLNÍ PROHLÍDKA

Pod pojem prohlídka spadají všechna opatření k zjištění a posouzení skutečného stavu strojních částí, strojů a zařízení[4]

Kontrolní prohlídka je prováděna na základě časového plánu, nebo když si to stav systému žádá (odchylky od normálu). Kontrolní prohlídku je možno provést jak za provozu, tak za klidu celku. Hlavní částí kontrolní prohlídky je detekce stavu sytému. Detekce provedená vizuální, hmatovou a sluchovou prohlídkou je nejstarší kontrola vůbec. Části takto provedené kontroly jsou pro členy provozu zcela intuitivní, tudíž zpravidla předcházejí detekci s přístrojovým vybavením.

Jaké kontrolní prohlídky by měly spadat pod údržbu točivých elektrických strojů, určuje norma ČSN 35 0010[13]. V normě jsou uloženy zkoušky, které mají prokázat, že systém vyhovuje daným požadavkům.



Obr. 3.2 Kontrolní prohlídka[2]

3.2 KONTROLNÍ PROHLÍDKA ZA KLIDU

Kontrolou lze vyhodnotit tam, kde poškození dosáhlo změny stavu blížícího se k nepřípustné mezi. Rezerva na opotřebení během funkce postupně klesá vlivem mechanismů opotřebení. Dojde-li, ke snížení rezervy na opotřebení pod hranici poškození, dojde k výpadku daného systému. Opravou poškozené části systému se vytvoří nová rezerva na opotřebení. Oprava by zpravidla měla poruše předcházet. V takovém případě se jedná o údržbu s předem stanovenými intervaly.

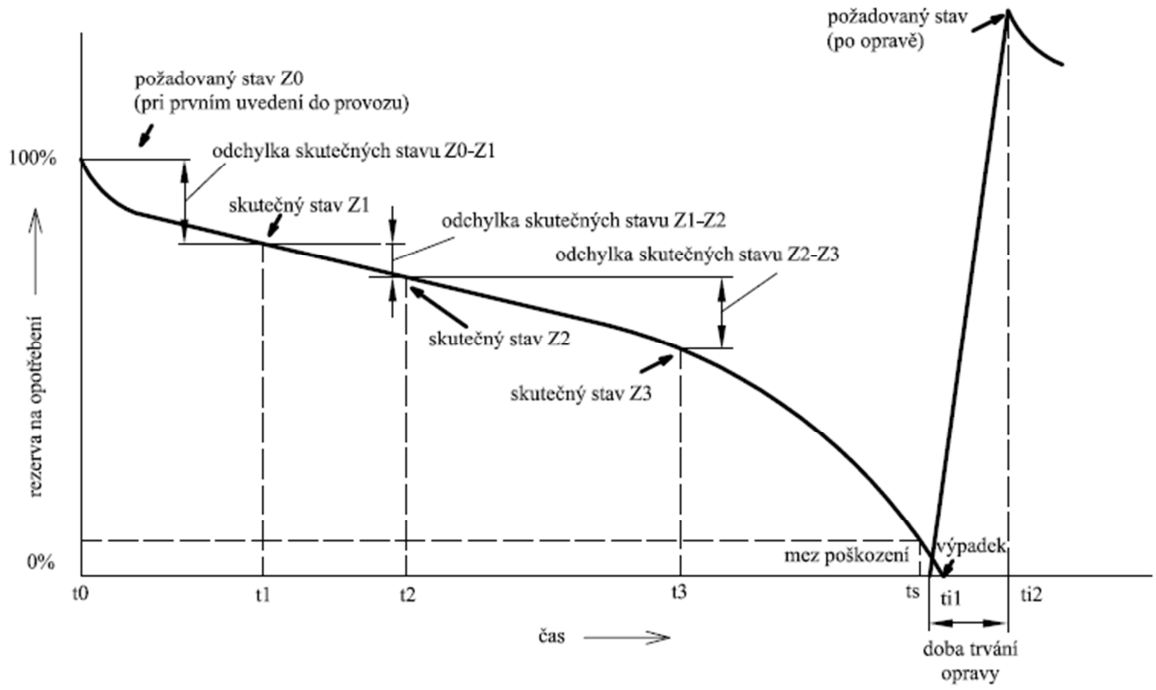
Klidová poloha daného celku umožnuje přiblížení kontrolního pracovníka k místu dané problematiky a tím snižuje pravděpodobnost úrazu.

3.2.1 ČISTOTA TOČIVÝCH STROJŮ

Točivý elektrický stroj se pravidelně kontroluje na množství cizích látek (prach, piliny, písek, kovové třísky…) vně i uvnitř stroje. V přítomnosti těchto látek by se točivý stroj neúměrně zahříval, a proto by došlo k předčasnému porušení stroje. U strojů s permanentními magnety hrozí odmagnetování při překročení Curieho teploty. Hlavně v prašném prostředí je třeba brát v potaz čistotu stroje a to kvůli účinnosti chlazení, ale i nebezpečí vzplanutí v přítomnosti hořlavého prachu.

Čištění točivých elektrických strojů se provádí vymetáním nečistot vně stroje nebo vyfoukáním stlačeným vzduchem. U některých strojů je třeba pečlivě čistit a vyfukovat chladící průduchy mezi vinutím, mezi plechy a mezi rotorem a statorem. Vždy je nutno brát v potaz to, aby se nečistoty po vyfukování neshromažďovaly uvnitř stroje.

Na obrázku 3.3 můžeme vidět možný průběh křivky na opotřebení během provozu. Tato křivka závisí na daném zatížení, korozním působení, pracovním prostředí, způsobu provozování atd. vždy pro daný systém.



Obr. 3.3 Schématický průběh rezervy na opotřebení nad dobu požívání[4]

3.2.2 SPOJOVACÍ MATERIÁL

Rotační části způsobují kmitání, jehož důsledky mohou zapříčinit samovolné uvolnění šroubových spojů. Prověřuje se, zda jsou šroubové spoje řádně dotažené a zajištěné proti samovolnému uvolnění nejen na aktivních částech systému, ale i na dílčích, jako je dotažení stroje k základnímu rámu. Visuální kontrola spojovacího materiálu napoví mnoho o jeho stavu. Povrchová úprava spojovacího materiálu by měla být nepoškozená. Povrch materiálu bez stop koroze a mechanického poškození.

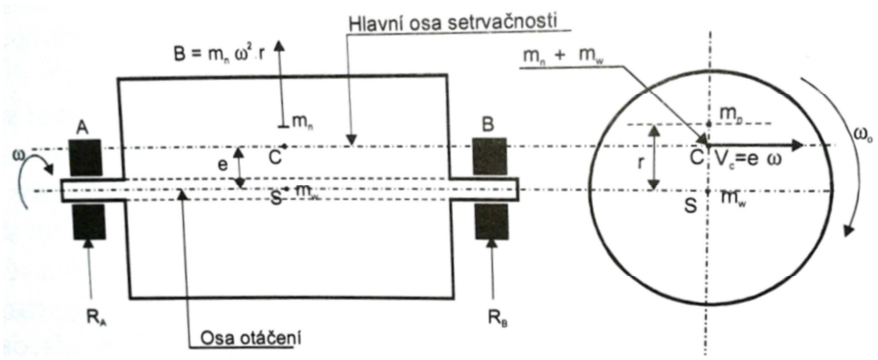
3.2.3 PŘÍVODY

Izolace přívodových kabelů nesmí být porušená. Svorkovnicová skříň musí být pevně upevněna a vnitřek svorkovnicové skříně musí být čistý a neporušený. Svorkovnice musí zprostředkovat takový dotyk, který zabrání oteplení v místě styku částí vodících proud. Všechny vnitřní spoje musí být dostatečně utažené a zajištěné proti otočení a samovolnému uvolnění.

3.2.4 STATICKÉ VYVÁŽENÍ

Statického vyvážení se doporučuje používat u strojů s krátkým rotorem a s počtem otáček do 1000ot/min.[5]

Kontrola statického vyvážení se provádí na přesně uložených vodorovných a dostatečně tuhých podporách. Na podpory se uloží čepy hřídele rotoru. Je-li rotor dobře vyvážen, zůstane poloha nezměněna vzhledem ke své vodorovné ose. Vyvážení se obvykle provádí po 60° kolem jeho osy. Svévolné otáčení rotoru signalizuje špatné vyvážení. Rotační pohyb způsobuje nerovnoměrně rozložená váha rotoru, kdy dochází k přesunu hmotnější části blíže referenční rovině.

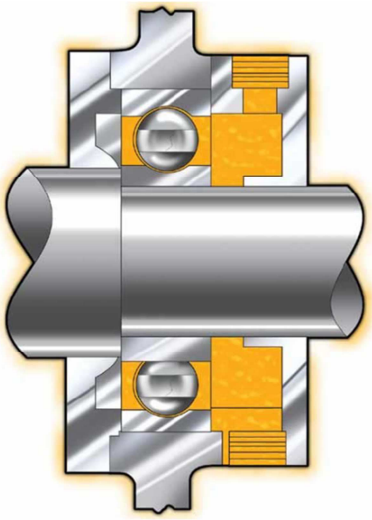


Obr. 3.4 Staticky nevyvážený rotor[9]

3.2.5 LOŽISKOVÉ OLEJE A TUKY

Za normálních podmínek se tukové mazivo používá ve většině uložení valivých ložisek. Ve srovnání s olejem má mazací tuk tu výhodu, že se udrží v uložení a to i v šikmém nebo svislém uložení hřídele.

Přibližně 90 procent motorů mazaných tukem v energetickém průmyslu má sestavu .štítu podle obrázku 3.5. [16]



Obr. 3.5 Sestava štítů[16]

Jak je vidět na obrázku 3.5 tuk vstupuje a vychází na stejné straně dutiny ložiska. To znamená, že při použití stávajících standardů mazání, pokud se dutina přeplní tukem, nebo stávající tuk v dutině ztvrdne, zvýšený tlak maziva vyvíjený přidáním nového tuku bude tlačit do klece ložiska a dojde k předčasnému selhání ložiska.

Při absenci štítů tuk prochází mezi valivými tělesy ložiska, vyplňuje dutinu s vnitřním víčkem a nakonec je tlačen přes vzduchovou mezeru mezi vnitřním víčkem ložiska a hřídeli. Tuk se pak usází na vinutí motoru. To může vést k předčasnému selhání.[16]

Obr 3.6 Poškození motoru vlivem přemazávání ložisek[3]

Vhodným řešením, jak odstranit zvýšený tlak je použití přetlakových ventilů, které mohou být součástí maznic. U větších provozních tlaků je možno použít hydraulicky uzavíratelné maznice.

Ložiskový tuk je buď zapouzdřený v ložisku po celou dobu životnosti ložiska, nebo je doplňován prostřednictvím maznic. U přístupných ložisek se odebere opotřebovaný tuk a nahradí se novým. Příliš velké množství maziva způsobí nárůst provozní teploty a to především při vysokých otáčkách. *Zpravidla by mělo být naplněno mazacím tukem pouze ložisko, zatímco volný prostor mezi valivými tělesy by měl být vyplněn mazivem jen zčásti. U ložisek, která mají pracovat s velmi nízkými otáčkami a musí být dobře chráněná proti znečištění a korozi, je vhodné vyplnit celý volný prostor tělesa mazacím tukem.*[9]

Ložiskové komory a nádrže oleje je třeba kontrolovat na množství oleje v nich obsažených. K určení správného množství oleje slouží olejoznak, který určuje přípustné množství oleje. U valivých ložisek nemá hladina oleje sahat výše než ke středu nejnižšího valivého tělíska. O druhu oleje rozhoduje stanovení výrobce, vlastní zkušenost s určitým druhem (značkou). Při doplňování náplně oleje je třeba použít správný druh oleje. Správný druh oleje se určí podle vnějších a vnitřních charakteristik. Při výměně oleje je třeba vyčistit olejové komory od usazených nečistot zpravidla na dně komor. Tyto nečistoty se nesmí dostat do ložiska z důvodu možného poškození.

Jednou z možností jak zabezpečit čistotu maziva (pomineme-li 100% odvedenou práci obsluhy) při doplňování maziva, je instalace plnicích filtrů. A chceme-li mít zabezpečený provoz mazacího systému z hlediska nečistot celkově, tak musíme být důslední a osadit mazací obvod i výstupními tlakovými filtry maziva. Neinstalováním výstupních tlakových filtrů předpokládáme odpovídající čistotu doplňovaných maziv a nulovou kontaminaci nečistot z okolního prostředí (např. přes víko nádrže).[18]

Během životního cyklu podléhá olej degradačním vlivům jako je mechanické znečištění, okysličování, teplota, chemické vlivy atd.. *Okysličování je zvláště značné u rychloběžných strojů s tlakovým mazáním, zejména pracuje-li olej při vyšších teplotách ložisek. Množství*

vzduchu v oleji má být menší než 5%. Při obsahu vzduchu nad 10% je nebezpečí zadření stroje, zejména při doběhu kdy klesá účinnost chladičů. Okysličování (oxidaci) urychlují též některé kysličníky těžkých kovů (olovo) a voda.[6]

Časový plán kontrol a vyhodnocení olejových vlastností (viskozita, bod vzplanutí, kyselost atd.) se provádí vzhledem ke stanoveným předpisům s ohledem na konkrétní druh oleje, množství oleje a místě, ve kterém se olej nachází.

3.2.6 SBĚRACÍ KROUŽKY

Sběrací kroužky musí být souosé ve stanovené kruhovitosti. *Házení nesmí přesahovat 0,04mm* [7]. K poškození může dojít opálením nebo mechanickým opotřebením (vydřením). Vyskytne-li se vodivé spojení (byť jen krátké) mezi kroužky, musí se určit. Spojení kroužku může být způsobeno prachem z kartáčů, který je třeba odstranit nebo porušením izolace.

3.2.7 KOMUTÁTORY

Povrch musí být hladký beze stop oxidace. Lamely komutátoru musí být rovnoběžné s osou komutátoru. Nepoškozenost žádné z lamel. Izolační materiál (slída) nesmí přečnívat lamely komutátoru. Hrany lamel mají být sraženy, aby nedocházelo k nadměrnému opotřebení kartáčů (uhlíku).

3.2.8 SBĚRNÉ ÚSTROJÍ

Nosná část sběrného ústrojí musí být bez známek mechanického poškození. Pohyblivost mechanismu musí být zachována a to ve stejné hladině pro všechny sběradla v daném celku. Základna nosné části musí být dostatečně upevněna. Povrch bez známek koroze. Sběradla musí splňovat rovnoběžnost s osou komutátoru. Vzdálenost sběradel od komutátoru nebo sběrných kroužků by měla být všude stejná.

Kartáče musí být ve sběrném ústrojí posuvně uloženy, ale nesmí se příčit v drážkách jim určeným. Musí být zajištěn ideální přítlak kartáče na komutátor nebo sběrný kroužek. Materiál kartáče by měl odpovídat základnímu složení, které uvádí výrobce. Při použití nižší řady dochází k předčasnému opotřebení kartáče, naopak při použití vyšší řady k nadměrnému opotřebení komutátoru a sběrného kroužku. Šikmé kartáče musí být orientovány podle směru otáčení stroje.

3.2.9 VZDUCHOVÁ MEZERA

Má-li být činnost točivého elektrického stroje správná, je nutné, aby vzduchová mezera mezi rotorem a statorem byla rovnoměrná. Rozdíly v šířce mezery, měřené v několika bodech obvykle ve 3 nebo 4 z obou stran po obvodu rotoru. Dovolená úchylka střední velikosti mezery od jmenovité je 10%. Tato hodnota se nesnadno dodržuje u asynchronních motorů, u kterých se šířka vzduchové mezery udává v desetinách milimetru. Ke kontrole vzduchové mezery slouží spároměry.

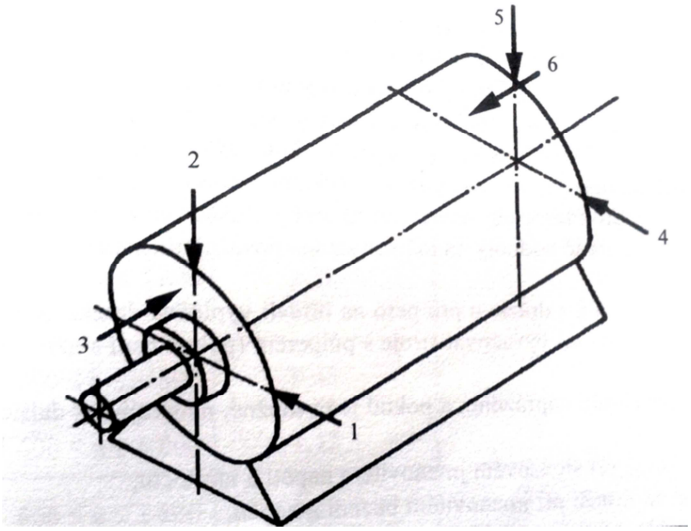
3.3 KONTROLNÍ PROHLÍDKA V PROVOZU

Nevede-li kontrolní prohlídka v klidu k určení závady, je nutné přistoupit na kontrolní prohlídku v provozu. Při běhu systému je možné vyhodnotit hned několik výstupních veličin, které vypovídají o stavu systému v čase provozu. Tyto veličiny je třeba velice pečlivě vyhodnotit na základě zkušeností s daným systémem a hodnotami, které jsou stanoveny jako referenční. Těsnost schody mezi referenční a měřenou hodnotou udává skutečný stav systému.

3.3.1 MECHANICKÉ KMITÁNÍ

Celá škála mechanických závad se inicializuje kmitáním a hlukem sytému. Proto se v rámci kontrolní prohlídky přisuzuje velký význam této detekci. Ve většině případů dokonce největší.

Mechanickým kmitáním se rozumí měřitelné kmitání na povrchu systému, částí systému, v uložení systému. Mechanické kmitání poskytuje podklady pro diagnostiku strojů.



Obr. 3.7 Předepsaná měřící místa[11]

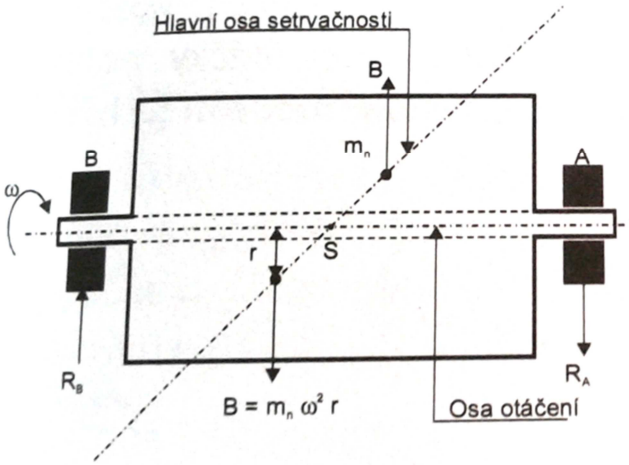
3.3.2 DYNAMICKÁ NEVYVÁŽENOST

Dynamická nevyváženost se vyskytuje u všech rotačních částí, neboť rotující části obsahuji v podstatě nekonečné množství nevyvážeností. Hlavní cíl dynamického vyvažování je minimalizování této nevyváženosti. Dynamická nevyváženost obsahuje mimo jiné momentovou a statickou nevyváženost, přičemž může jeden druh nevyváženosti převažovat. Dynamické vyvážení lze aplikovat pouze za rotace, tudíž se nazývá dynamická nevyváženost.

3.3.3 MOMENTOVÁ NEVYVÁŽENOST

Momentová nevyváženost vzniká tehdy, když dvě a více nevyvážeností jsou symetricky a střídavě rozděleny vůči těžišti. Mohou mít stejnou velikost nicméně jejich poloha je o 180° od sebe posunutá. Toto posunutí nevyváženosti se již nemůže detekovat prostým odvalením rotoru jako u statického vyvažování.

K vyvážení dobře slouží horizontální vyvažovací stroj. Rotující rotor provádí kyvný pohyb kolem osy (kolmo k ose rotace), neboť nevyváženosti vytvářejí moment. Pro momentové vyvážení je potřebný opačný moment, tedy stejně velké nevyváženosti, vzájemně posunuty o 180°. Momentová nevyváženost se kontroluje především u dlouhých válcovitých rotorů.



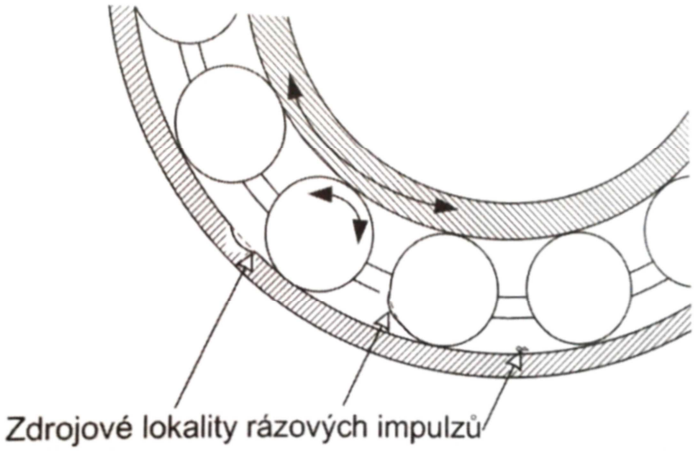
Obr. 3.8 Momentová nevyváženost[9]

3.3.4 KMITÁNÍ VALIVÝCH LOŽISEK

Ložiska jsou strojními částmi, které umožnují pohyb celků v daném směru. Dále musí zachycovat zatížení a přenášet je do částí konstrukce.

Valivá ložiska se skládají z vnitřního a vnějšího kroužku. Mezi nimi rotují valivá tělíska, která jsou uložena v kleci, aby byl zajištěn optimální poměr vzdáleností mezi jednotlivými tělísky. Ne vždy musí ložisko obsahovat klec. Otáčení je zprostředkováno valivými tělísky, které zmenšují třecí odpory. Valivá tělíska se odvalují po oběžných drahách kroužků. Skrze valivá tělíska je zprostředkován přenos kmitání jiných částí systému.

Ve valivém ložisku je kmitání buzeno nárazy valivých elementů. Po oběžných drahách se elementy pohybují buď s bodovým nebo přímkovým stykem. Kmitání tedy vzniká při změně zatížení valivých tělísek a jejich následných nárazech. Ložisko je tedy vhodné místo pro kontrolní prohlídku.



Obr. 3.9 Nárazy valivých elementů[10]

Velikost a četnost kmitání valivého ložiska je úměrná poškození ložiska.

4 ÚDRŽBA PO PORUŠE

Oprava točivého elektrického stroje provedená v záruční době zprošťuje výrobce závazků plynoucích ze záručních podmínek.

Oprava je fyzický zásah prováděný za účelem obnovy požadované funkce objektu, který je v poruchovém stavu. Do opravy se též zahrnuje lokalizace poruchového stavu a kontrola funkce.[14]

4.1 LOŽISKOVÉ ŠTÍTY

Ložiskové štíty se převážně opravují po vzniklých lomech a trhlinách, ale i po poškození dosedacích ploch na stator.

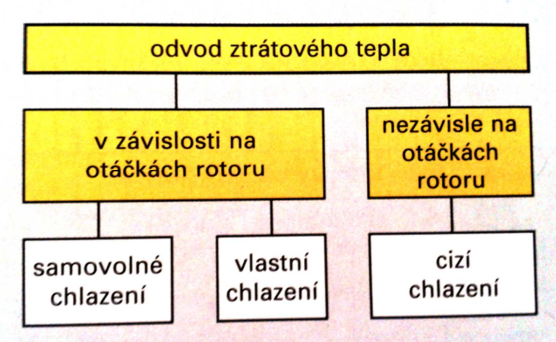
Malé trhliny se zavařují. Velké trhliny, které se linou až k uložení ložiska se zavařují, avšak deformace zbortí ve většině případů ložiskový štít tak, že ani následným soustružením není možné zborcení vyrovnat. Nejlepší řešení je ložiskový štít nahradit ložiskovým štítem novým, když však není možno ložiskový štít vyměnit, je třeba nalézt jiné řešení opravy ložiskového štítu.

Trhliny, které se jen velice těžko zavařují a to ještě s nezaručenou pevností sváru se dají opravit například tak, že se podél trhliny po obou stranách zavrtají šrouby v šachovitém tvaru, jejichž hlavy se pak spojí přivařeným můstkem.

Poškození v oblasti dosedacích ploch na stator je možno osoustružit. Drobné poškození, jako stopy po úderech, otřepy, atd. se opravují jemným pilníkem nebo škrabákem.

4.2 CHLAZENÍ

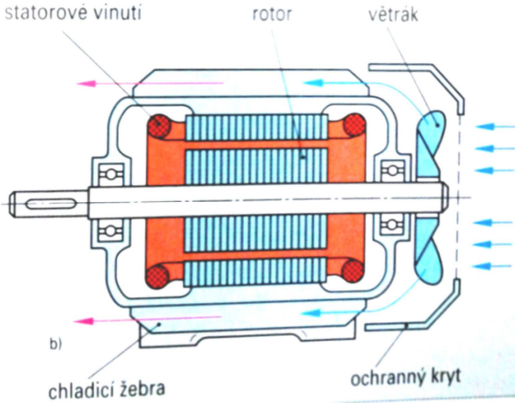
Zvýšení provozní teploty stroje ukazuje na celou řadu degradačních vlivů. Zvýšení provozní teploty je velice nebezpečné. Vysoká teplota má negativní vliv na všechny elektrické součásti systému. U točivých elektrických strojů dochází při výších teplotách k degradaci izolačního systému. Při nedodržení stanoveného teplotního gradientu dochází k poruše systému. *Jmenovité výkony elektromotorů jsou stanoveny většinou pro teplotu okolí či chladícího media na hodnotu 40°C[12]*. Porucha nebo zhoršení účinnosti ventilace systému je jeden z řady degradačních vlivů.



Obr. 4.1 Způsoby chlazení motorů[12]

Možnou příčinou špatně fungující ventilace elektrického točivého stroje je nevhodná zástavba v místě jeho provozu. Nevhodné umístění točivého elektrického stroje vzhledem k jiným celkům, brání přívodu chladícího media. K dalšímu snižování chladící účinnosti

dochází tím, že jiné celky předehřívají chladící medium a tím snižují teplotní spád. Snížení účinnosti chlazení způsobuje znečištění chladících ploch a chladících kanálů, v jehož důsledku se zmenší tepelný přenos z točivého elektrického stroje. Mechanická porucha pohonu ventilační jednotky zapříčiní rychlí pokles účinnosti chlazení.



Obr. 4.2 Vlastní chlazení povrchovým chlazením[12]

Oprava chlazení spočívá v tom, že se detekuje příčina zhoršení účinnosti chlazení. Dle konkrétního případu se zavedou patřičné opravárenské kroky. U nevhodné zástavby se točivý elektrický stroj umístí do vzdálenosti od překážky, dle stanoveného technického návodu. Vhodnější dráhou chladícího media, při které ji bude minimálně ovlivňovat vnější teplota, se zvýší tepelný spát mezi chladicím mediem a chlazeným objektem, a tak se zvýší účinnost chlazení. Různé druhy oběhu chladícího media vedou na značné množství mechanických poruch. Povolený ventilátor se opraví dotažením svěrného šroubu. Je-li ventilátor uvolněn z důvodu otlačení náboje, je třeba náboj vyvložkovat. Má-li ventilátor poškozenou nebo ztracenou lopatku, je ji možno vyměnit nebo opravit v závislosti na velikosti a tvaru ventilátoru. Poruchu motoru cizího chlazení lze opravit v závislosti na velikosti a hospodárnosti. Ve většině případů se oprava řeší jeho výměnou.

4.3 ROTOR

Opravit rotor znamená vyrovnat prohnutí hřídele, osoustružit a obrousit čepy, opravit klínovou drážku nebo vyměnit hřídel.

Prohnutí rotorového hřídele může být způsobeno různými příčinami. Velikost prohnutí hřídele určuje házení při otáčení rotoru. Hřídel se upne například do hrotů soustruhu a při nízkých otáčkách se kontroluje číselníkovým úchylkoměrem házení částí hřídele. Házení částí hřídele mezi ložisky se určuje na základě házení rotorových plechů, kroužků a komutátoru. Osa hřídele nebude nikdy přesně přímková, ale prohnutí hřídele nesmí být větší než hodnota, která zaručuje normální provoz.

Je-li hřídel rotoru prohnutý, mechanické opotřebení ložisek roste. Vzniká nerovnoměrné opotřebení pánve kluzného ložiska. Rozdělení namáhání u valivého ložiska probíhá nerovnoměrně. Pouze naklápěcí ložiska nejsou citlivá na prohnutí hřídele.

Odbourání vlivu prohnutí hřídele na chod systému lze dosáhnout tak, že se obrábí hřídelové čepy až po nasazení všech součástí na hřídel. Současně se obrábí i paket rotorových plechů a to na jedno upnutí. Takto se minimalizuje házení rotoru. Je-li prohnutí hřídele tak velké, že nejde minimalizovat obráběním jeho částí a součástí, musí se hřídel vyrovnat.

Vyrovnání se provádí na vyrovnávacích strojích. Zejména u velkých hřídelů vyrovnání probíhá tlakem lisu, který tlačí na paket rotorových plechu nebo samotnou hřídel, jejíž konce leží na podpěrách lisu. U malých hřídelů je možno použít jiný zdroj tlaku k srovnání hřídele. Po vyrovnávání se znovu roztočí hřídel a kontroluje se házení. Vyrovnávání probíhá tak dlouho, dokud házení nesplňuje dovolené hodnoty.

Obr. 4.3 Ruční stolní lis[17]

Detekce v jakém místě je třeba koncentrovat tlak při vyrovnávání se provede například tak, že rotor upneme do soustruhu. Do suportu se upevní vyznačovací nástroj např. křída. Rotor se začne pomalu otáčet a suport dosedne k rotoru v předem vytypované části. Křída zanechá stopu na vypuklé straně hřídele.

Čepy hřídele po výměně ložisek poškozené rýhami, nevhodnou drsností povrchu je třeba opravit. *Průměr čepů hřídele s kluznými ložisky lze při obrábění zmenšit nejvíce o 5 až 6% původního průměru. Pro uložení kuličkových ložisek je přípustná úchylka skutečného průměru čepu od jmenovitého průměru aspoň +0,002mm pro stroje do 30kW a +0,003 mm pro stroje 30 až 150kW.* [5]Drobné závady je možno odstranit vhodnou brusnou technikou za použití velké škály brusných materiálu. Broušení probíhá tak dlouho, dokud není povrch lesklý a hladký. Nejvhodnější řešení je broušení čepů hřídele bruskou na kulato. *Nedovolí-li tolerance průměru broušení, postup je následovný: Plochy se průměrově zmenší soustružením až o 0,2 až 0,4 mm a elektrochemicky se na takto připravené plochy nanese tvrdochrom. Následuje přebroušení průměrů na požadovaný rozměr.*[11]. Po broušení je nutno broušené plochy očistit vhodnou látkou, zvolenou dle použitého brusného materiálu.

Jsou-li okraje klínové drážky opotřebované, je nutno drážku pro frézovat frézkou většího průměru a vložit nový klín. Tato metoda může být použita za předpokladu, že je možno zvětšit drážku v součásti nasazované na hřídel.

Je-li poškození hřídele tak velké, že není možnost opravy, je třeba poškozený hřídel nahradit novým.

Nahrazení hřídele probíhá tak, že se sejme vinutí, sběrací kroužky nebo komutátor, rotorový svazek se sevře mezi dvěma kruhy a hřídel se vylisuje lisem. Rotory s kotvou na krátko nepotřebují sevření, protože tyče vedení pevně stahují plechy rotoru.

5 SELHÁNÍ FUNKCE

K určení rozsahu oprav je třeba zjistit příčinu chybné činnosti stroje. Příčiny poruch mohou být vnější, nevyžadující opravu stroje samotného, nebo vnitřní, způsobené poškozením jakékoli části stroje.

Vnitřní vady mechanických částí jsou zejména opotřebení ložisek, hřídelových čepů, trhliny ložiskových štítů, prohnutí hřídelů.

Průzkumy zaměřené na četnost poruch částí točivých elektrických strojů jsou použitelné, nicméně nemohou odpovědět na všechny otázky selhání funkce točivého elektrického stroje. Důkladná analýza příčiny selhání funkce může pomoci doplnit dané mezery.

Poruchové průzkumy by měli obsahovat poměrně velký vzorek. Cílení na shodu provozních podmínek v dané lokalitě s provozními podmínkami referenčního vzorku je žádané, avšak ve většině případů není možné a to z důvodu různorodosti použití točivých elektrických strojů, ale i geografického umístění.

5.1 NEJČASTĚJŠÍ PORUCHY STŘÍDAVÝCH STROJŮ

Údaje, které můžeme vidět obr. 5.1 jsou užitečné, protože upozorňují na nejpravděpodobnější poruchy, na základě kterých točivý elektrický stroj selhal. Nicméně to stále není dostačující. Je třeba provést důkladnou analýzu, která umožní najít definitivní příčinu selhání konkrétní komponenty. Četnost poruch se může lišit v závislosti na druhu průmyslového odvětví nebo jeho umístění.

Prvotní příčina poruchy	Upřesnění	Procentní podíl v roce 1989	Procentní podíl v roce 2002
Porucha vinutí		65,0 %	41,4 %
	Závitový zkrat	13,6 %	21,0 %
	Zkrat mezi fázemi	7,9 %	6,7 %
	Tepelné znehodnocení	39,0 %	11,0 %
	Přerušené vinutí	0,6 %	0,3 %
	Nízký izolační stav	4,5 %	2,3 %
Porucha ložisek	Zadření, valcha…	9,1 %	35,3 %
Porucha hřídele	Ukroucená, zlomená…	14 %	17,9 %
Jiné příčiny	Svorkovnice, kostra…	11,7 %	5,5 %

Obr.5 1 Četnost výskytu poruch částí asynchronního motoru[1]

Na obrázku 5.1 je vidět srovnání četnosti poruch asynchronních motorů, která se v průběhu let mění v závislosti na vývoji nových materiálů, způsobů řízení, kvality zpracování.

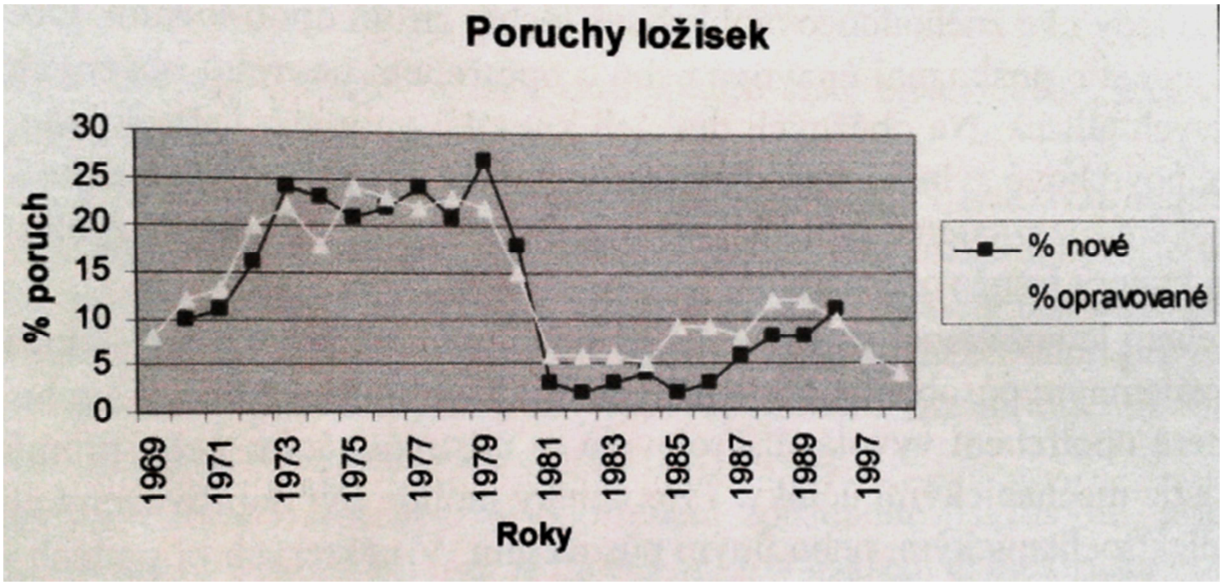
Některé zdroje uvádějí podstatně vyšší procento poškození ložisek a to až 51%[15]

S rozvojem polovodičových prvků, které umožnily rozšíření frekvenčních měničů, vznikly navzdory pokroku ve vývoji nových materiálů problémy s takzvanými ložiskovými a hřídelovými proudy, které přispívají k degradačním vlivům a to nemalou částí. Takto lze vysvětlit změnu v poruchovosti ložisek a hřídelů asynchronních motorů. Ložiskové a hřídelové proudy jsou však problematikou, která spadá pod elektrické poruchy, tudíž není v této práci dále rozebírána.

Tato změna se však netýká některých velkých synchronních motorů, které pracují při konstantních otáčkách, tudíž nepotřebují řídit otáčky frekvenčními měniči. Četnost poruch ložisek tak přibližně odpovídá četnosti asynchronních motorů, která je uvedena na obrázku 5.2 a to pod rokem 1985.

Velké synchronní motory, u kterých se provádí regulace otáček, mají četnost poruch přibližně 9% jak je vidět na obrázku 5.1 pod rokem 1989 a to z důvodu, že se rotorové proudy vedou mimo ložiska pomocí speciálního kontaktu.

U malých synchronních motorů je regulace otáček prováděna, ale ložiskové proudy jsou zanedbatelné z toho důvodu, že rotory jsou vesměs z permanentních magnetů.



Obr.5.2 Poruchy ložisek asynchronních motorů[8]

Není možno obecně určit nejpravděpodobnější poruchy elektrických strojů a to z důvodu obrovského množství konstrukcí, různorodosti kvality zpracování, ale i kvality jednotlivých částí, různé klimatické podmínky, způsoby mechanického namáhání atd..

Obecně však platí, že největší podíl na poruchovosti mechanických částí elektrických strojů má porucha ložisek, která je mnohdy zapříčiněna chybnou údržbou.

5.2 ASYNCHRONNÍ MOTOR

Stanovit jaké nejčastější poruchy se vyskytují u asynchronních motorů lze z různých grafů četností poruch asynchronních motorů.[14][15][18] Jak je vidět v tabulce 5.1

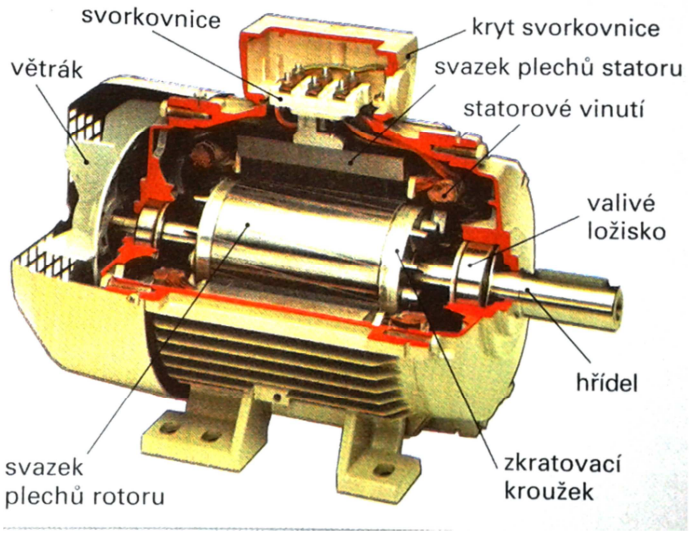
Nejčastější neelektrickou poruchou asynchronních motorů je porucha ložisek, která se odvíjí od problematiky frekvenčních měničů. Nejen ložiska, ale i hřídele zvýšily četnost poruch v závislosti na užívání frekvenčních měničů. Pominou-li se hřídelové proudy, tak hlavní nebezpečí spočívá v kmitavém namáhání hřídelů, které je způsobené změnou otáček.

Tab. 5.1 Četnost poruch asynchronních motorů

PŘÍJČINA	PRAVDĚPODOBNOST
ELEKTRICKÁ	PŘIBLIŽNĚ 40%
LOŽISKA	PŘIBLIŽNĚ 35%
HŘÍDEL	PŘIBLIŽNĚ 18%
NESOUOSOST	PŘIBLIŽNĚ 0,5%
PORUCHA CHLAZENÍ	PŘIBLIŽNĚ 0,5%

Na základě četnosti poruch jednotlivých částí asynchronního motorů, lze stanovit nejdůležitější údržbové kroky, které je třeba provádět. Na základě vhodného poměru ceny a životnosti jsou vybrány tyto kroky a to v pořadí:

- **Vibrodiagnostika ložisek**
- **Zkouška statické vyváženosti**
- **Vizuální prohlídka**



Obr. 5.3 Části asynchronního motoru[12]

5.3 SYNCHRONNÍ MOTOR

Ke stanovení nejčastějších poruch synchronních strojů bylo přihlédnuto k poruchám asynchronních motorů [14][15][18] a to z důvodu velmi podobné konstrukce. Také zkušenosti z oblasti konstrukce synchronních motorů vedly k hodnotám, které jsou uvedeny v tabulce 5.2.

Nejčastější neelektrická porucha malých synchronních strojů bývá porucha ložisek. Poškození hřídelů je na druhém místě. Menší pravděpodobnost poškození je způsobena tím, že malé synchronní motory mají rotor s permanentními magnety, a tak je hřídelový proud zanedbatelný. Další porucha, která nastává, je poškození sběracích kroužků nebo sběrného ústrojí. Tyto části jsou nezbytné k funkci synchronních motorů.

Tab. 5.2 Četnost poruch malých synchronních motorů

PŘÍJČINA	PRAVDĚPODOBNOST
ELEKTRICKÁ	PŘIBLIŽNĚ 50%
LOŽISKA	PŘIBLIŽNĚ 35%
HŘÍDEL	PŘIBLIŽNĚ 10%
SBĚRACÍ KROUŽKY	PŘIBLIŽNĚ 3%
PORUCHA CHLAZENÍ	PŘIBLIŽNĚ 0,5%

Na základě četnosti poruch jednotlivých částí synchronního motoru lze stanovit nejdůležitější údržbové kroky, které je třeba provádět. Na základě vhodného poměru ceny a životnosti jsou vybrány tyto kroky a to v pořadí:

- **Vibrodiagnostika ložisek**
- **Zkouška statické vyváženosti**
- **Vizuální prohlídka**

Obr. 5.4 Synchronní motor[19]

5.4 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR

Nejčastější poruchy stejnosměrných motorů jsou uvedeny v tabulce 5.3. Zkušenosti z oblasti konstrukce stejnosměrných motorů vedly k uvedeným hodnotám. Pro podporu těchto hodnot bylo provedeno srovnání poruch v databázi poruch jednoho velkého výrobního podniku na jehož základě byla provedena korekce těchto hodnot.

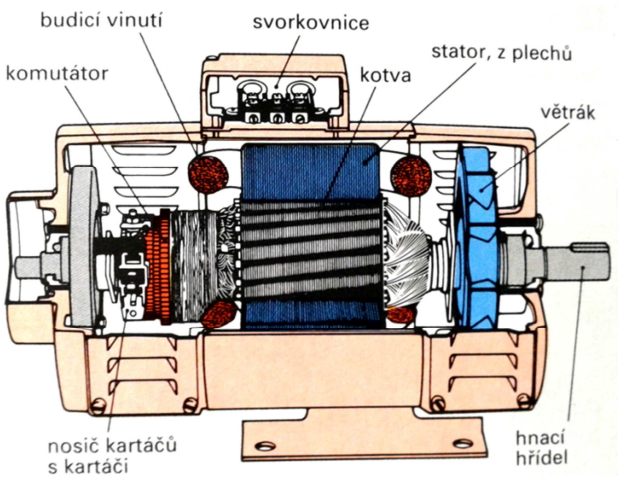
Nejčastější neelektrickou poruchou stejnosměrných motorů je porucha ložisek. Další v pořadí je poškození hřídelů, které je způsobeno velkým rozběhovým momentem a stupňovitou změnou otáček. Takto vzniká problém kmitového namáhání hřídele rotoru. K poruchám komutačního systému dochází z důvodu mechanického styku jeho částí a tím jeho opotřebení.

Tab. 5.3 Četnost poruch stejnosměrných motorů

PŘÍJČINA	PRAVDĚPODOBNOST
ELEKTRICKÁ	PŘIBLIŽNĚ 35%
LOŽISKA	PŘIBLIŽNĚ 20%
HŘÍDEL	PŘIBLIŽNĚ 18%
KOMUTÁTOR	PŘIBLIŽNĚ 15%
POŠKOZENÉ KARTÁČE	PŘIBLIŽNĚ 5%

Na základě četnosti poruch jednotlivých částí stejnosměrného motoru lze stanovit nejdůležitější údržbové kroky, které je třeba provádět. Na základě vhodného poměru ceny a životnosti jsou vybrány tyto kroky a to v pořadí:

- **Vibrodiagnostika ložisek**
- **Kontrola komutačního systému**
- **Vizuální prohlídka**



Obr.5.5 Části stejnosměrného motoru[12]

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo shrnutí strojírenské údržby a určení důležitosti jednotlivých kroků, vzhledem k příčinám poruch. Vzhledem k velkému množství konstrukcí točivých elektrických strojů, ale i způsobu jejich namáhání, různorodosti použití nebo geografického umístění není možné shrnout veškerou údržbu, která se na nich provádí do jedné práce, neboť by to bylo nad rámec jejího rozsahu.

V této práci je převážně uveden obecný návod pro méně důležité stroje a to z důvodu velké rozšířenosti těchto strojů. U těchto strojů se údržba volí především s ohledem na funkčnost a finanční zatížení, které plyne z jednotlivých údržbových kroků. V některých případech je ekonomicky výhodnější nechat stroj bez údržby až do havárie a pak jej vyměnit.

U strojů, kde je kladen maximální důraz na spolehlivost z důvodů nenahraditelnosti nebo bezpečnosti se provádí analýza rizik a na jejím základě diagnostická a údržbová činnost. Provedení analýzy rizik je finančně náročné a proto se vyplatí se jen u důležitých strojů.

V první části je uvedeno rozdělení údržby, které pomůže stanovit jakou údržbu volit vzhledem k užití točivého elektrického stroje. Jak je již naznačeno, pro malé nedůležité motory je nejvhodnější údržba po poruše, vzhledem k ekonomické stránce věci. V takových případech je nutno brát v potaz to, zda vyřazení jednoho pohonu neohrozí funkci celého systému.

Další část obsahuje přehled činností, které se u točivých strojů provádí za účelem zjištění jejich skutečného stavu. Tyto kontrolní prohlídky se provádí za klidu nebo za pohybu v závislosti na konkrétní kontrolní činnosti. Nejdůležitější kontrolní prohlídka, která by se měla provádět je vibrodiagnostika. Vibrodiagnostika vypoví mnoho o stavu systému a jeho částí.

Poslední část stanovuje, jaké jsou nejčastější neelektrické poruchy točivých elektrických strojů a jaké jsou nejdůležitější údržbové kroky. U elektrických točivých strojů obecně nejčastěji selhávají ložiskové uzle a to v různém procentuálním zastoupení, dle druhu konstrukce motoru. U asynchronních motorů se jako nejlepší údržbový krok vzhledem k ekonomickému hledisku jeví nejprve provést vibrodiagnostiku, zkoušku statické vyváženosti a provést visuální prohlídku. U synchronních motorů je postup stejný. Podobnost údržby vychází z podobnosti asynchronního a synchronního motoru. U stejnosměrných strojů je vhodný postup vibrodiagnostika ložisek, kontrola komutačního systému a visuální prohlídka. Další důležitá metoda, kterou je možno stanovit stav poškození částí systému je zkouška oteplení, která je zprostředkována například termokamerou. Jedná se o metodu značně účinnou, ale také drahou a proto používanou spíše u důležitých strojů, nebo tam, kde se vzhledem k velkému počtu kontrolovaných strojů termokamera rychle zaplatí.

Množství údržbových kroků prováděných na stroji je určeno především finančním limitem, který je na údržbu konkrétního stroje dán.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] BERNAT, Petr. *Negativní vlivy měničů frekvence na asynchronní motor*: Autoreferát doktorské disertační práce. Ostrava, 2006

[2] SCHENCK, Carl. *Preventivní údržba strojů*: *Základy. metody a přístroje pro posuzování, diagnostiku a sledování strojů a pro údržbu podle jejich skutečného stavu*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1989.

[3] TOBOLÁK, P. *Měření konstrukčních rozměrů rotoru asynchronního stroje*. Brno, 2011. Bakalářské práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Marcel Janda, Ph.D.

[4] KOPYLOV, Igor. *Stavba elektrických strojů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1988.

[5] LUCYK, V.I. *Opravy elektrických motorů a generátorů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1954.

[6] BRANDL, Izrael a Vladimír HRBEK. *Montáž, provoz a údržba asynchronních a synchronních strojů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959.

[7] VINOGRADOV, N.V. *Elektrozámečník pro opravu a montáž průmyslového elektrického zařízení*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1953.

[8] CHMELÍK, Karel. *Ložiskové proudy v elektrických strojích*. VŠB-TU: Montanex, 2008. ISBN 987-80-7225-290-0.

[9] HUDECZEK, Mečislav. *Zvyšování spolehlivosti asynchronních elektromotorů včetně poháněných strojů*. Albrechtice: Hudeczek Service, 2011. ISBN 978-80-905032-0-5.

[10] MENTLÍK, Václav, Josef PIHERA, Radek POLANSKÝ, Pavel PROSR a Pavel TRNKA. *Diagnostika elektrických zařízení*. Praha: Ben-technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-232-9.

[11] HAVELKA, Jiří, Jaromír DRESLER a Vladimír JÍLEK. *Montáž, údržba a opravy elektrických strojů točivých*. Praha: STRO.M, 1995.

[12] TKOTZ, Klaus. *Příručka pro elektrotechnika*. Praha: Sobotáles, 2002. ISBN 80-86706-00-1.

[13] ČSN 35 0010. *Točivé elektrické stroje: Zkoušky*. Praha, 1992.

[14] ČSN EN 13306. *Údržba: Terminologie údržby*. Praha, 2011.

[15] BONNETT, Austin a Chuck YOUNG. *Explaining Motor Failure*. In: Ecmweb [online]. 2004 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://ecmweb.com/mag/electric_explaining_motor_failure/

[16] *Snižování počtu poruch ložisek motorů: změněné postupy mazání zlepšují spolehlivost*. CMMS [online]. 2010 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://www.cmms.cz/archiv-clanku/doc_download/42-sniovani-potu-poruch-loisek-motor.html

[17] ŠPONDR, P. a A. DVOŘÁK. *Nečistoty v mazivu: hlavní příčina poruch centrálních mazacích systémů.* CMMS [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://www.cmms.cz/mazani/183-necistoty-v-mazivu.html

[18] BEZDÍČEK, Jan B. *Diagnostika asynchronních motorů*. Automa [online]. 2004 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=322

[19] *Synchronní motory*. Vaeprosys [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: http://www.vaeprosys.cz/product.asp?p=124&k=16&mk=10&ms=16