VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

PROBLEMATIKA REVIZE ELEKTRICKÉHO STROJE SE SBĚRACÍM ÚSTROJÍM, VČETNĚ DOPLŇKOVÉHO ZAŘÍZENÍ

PROBLEMS REVISIONS ELECTRIC MACHINE WITH A SLIP DEVICE, INCLUDING AN ADDITIONAL DEVICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Ondrej Ščepka**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **doc. Ing. František Veselka, CSc.**
SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**
Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Ondrej Ščepka ***ID:*** 174185
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Problematika revize elektrického stroje se sběracím ústrojím, včetně doplňkového zařízení

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou provádění revizí elektrických zařízení.
2. Seznamte se s příslušnými normami pro provádění revizí zadaného elektrického zařízení a měřicími a diagnostickými metodami.
3. Zpracujte revizi sběracího ústrojí elektrického stroje.
4. Ověřte funkčnost revidovaného stroje.
5. Vyhodnoťte výsledek provedené revize.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] VESELKA, F., HUZLÍK, R.: Inspekční a revizní činnost ISBN 978-80-7204-568-6, laboratorní a numerická cvičení ISBN 978-80-7204-567-9,

[2] HONYS,V.: Bezpečná elektrotechnika. IN – EL Praha 1998, ISBN – 80 – 86230 – 00 -7

[3] CHMELÍK, K., VESELKA, F.: Kluzný kontakt v elektrických strojích. Ostrava, KEY Publishing s.r.o., ISBN 978-80-87071-59-5

Termín zadání: 6.2.2017 ***Termín odevzdání:*** 31.5.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. František Veselka, CSc.
Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

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

Abstrakt

Táto bakalárska práca popisuje problematiku revízie elektrického stroja so zberacím ústrojenstvom. V prvej časti sú popísané elektrické stroje, ktorých súčasťou je klzný kontakt. Druhá časť je zameraná na oboznámenie sa s potrebnými normami na výkon revízií elektrických zariadení a vysvetlenie pojmov používaných pri revíziách elektrických zariadení. Nasleduje detailnejší popis klzného kontaktu v elektrickom stroji, s popisom jeho jednotlivých častí. V záverečnej časti som popísal postup jednotlivých meraní, zaznamenal a spracoval namerané hodnoty z meraní potrebných ku vystaveniu revíznej správy.

Kľúčové slová

Revízia, klzný kontakt, kefa, krúžok, rotor

Abstract

This Bachelor's thesis describes an issues of an revisions on electric engine equipped with brush. Electric engines with brushing are described in the first part. In the second one is focused on the introduction with necessary standards for performing of revisions of the electric equipment and on the clarification of terms used during the revisions of the electric equipment. The work continues with more detailed description of brushing contact in the electric engine and with the description of its parts. In the next part I have become more familiar with the electric engine that will be inspected. The final part of thesis contains sequence of measurements. I registered and handled recorded measured values mandatory for the issuing of revision report.

Keywords

Revision, sliding contact, brush, commutator, rotor

Bibliografická citácia:

ŠČEPKA, O. *Problematika revize elektrického stroje se sběracím ústrojím, včetně doplňkového zařízení.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 58 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. František Veselka, CSc..

Prehlásenie

„Prehlasujem, že svoju záverečnú prácu na tému Problematika revize elektrického stroje se sběracím ústrojím, včetně doplňkového zařízení som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, zvlášť som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Zb., vrátane možných trestnoprávnych dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Zb.

V Brne dňa 22. mája 2017 ……

podpis autora

Poďakovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Františkovi Veselkovi, CSc. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

V Brne dňa 22. mája 2017 ……

podpis autora

Obsah

1 Úvod ... 1
2 Elektrické stroje ... 2
2.1 Elektrické stroje točivé s klzným kontaktom ... 2
2.1.1 Synchrónne stroje ... 3
2.1.2 Asynchrónne stroje ... 4
2.1.3 Striedavé stroje s komutátorom ... 5
2.1.4 Jednosmerné stroje ... 6
2.2 Problematika revízií elektrických zariadení ... 6
2.2.1 STN 33 1500 ... 7
2.2.2 STN 33 2000-6 ... 11
2.3 Klzný kontakt v elektrickom stroji ... 14
2.3.1 Komutátor ... 15
2.3.2 Krúžok ... 16
2.3.3 Kefy ... 17
2.3.4 Zberacie ústrojenstvo ... 19
3 Turboalternátor 1MKZ31 ... 20
3.1 Technické parametre turboalternátora ... 20
3.2 Konštrukčné riešenie stroja ... 21
3.2.1 Stator ... 21
3.2.2 Rotor ... 22
3.2.3 Zberacie ústrojenstvo ... 22
3.3 Kontroly a skúšky počas revízie turboalternátora ... 25
3.3.1 Kontrola zberacieho ústrojenstva ... 25
3.3.2 Meranie izolačného stavu rotorového vinutia ... 30
3.3.3 Meranie čiastkových výbojov ... 32
3.3.4 Meranie kapacity a stratového činiteľa tgδ ... 32
3.3.5 Meranie izolačného stavu statora ... 35
3.3.6 Kontrola stavu výstuh v čelných partiách ... 37
3.3.7 Kontrola tuhosti drážkových klinov ... 38
3.3.8 Skúška elektrickej odolnosti priloženým napätím ... 39
3.3.9 Kontrola elektrických priechodiek ... 40
3.3.10 Meranie činného odporu vinutia statora ... 40
4 ZÁVER ... 42
Literatúra ... 44
Zoznam symbolov, veličín a skratiek ... 45
Zoznam príloh ... 46

Zoznam obrázkov

Obr. 2.1: Premena energie v generátore 2
Obr. 2.2: Premena energie v motore 3
Obr. 2.3: Transport nového statora turbogenerátora TG 22 v Jaslovských Bohuniciach [8] 4
Obr. 2.4: Schéma zapojenia trojfázového asynchrónneho motora s vinutým rotorom 5
Obr. 2.5: Schéma zapojenia trojfázového derivačného komutátorového motora napájaného do statora. 6
Obr. 2.6: Komutátor s 12 lamelami [10] 16
Obr. 2.7: Krúžky s kefami, budenie dieselgenerátora 6kV 16
Obr. 2.8: Uhlíkové kefy pre komutátory [11] 18
Obr. 2.9: Uhlíkové kefy pre krúžky [11] 18
Obr. 2.10: Zberacie ústrojenstvo dieselgenerátora 6kV 19
Obr. 3.1: Uhlíková kefa RGE 25x32x64 mm 24
Obr. 3.2: Meranie hádzavosti krúžkov turboalternátora 26
Obr. 3.3: Meranie hádzavosti krúžkov, kefa č.1, krúžok1 26
Obr. 3.4: Termovízny snímok zberacieho ústrojenstva počas prevádzky na 100% výkone 28
Obr. 3.5: Demontáž zberacieho ústrojenstva 29
Obr. 3.6: Detail medzery držiakov kief a zberacieho krúžka 29
Obr. 3.7: Poškodená prítlačná pružina kefy 30
Obr. 3.8: Merací prístroj MI 3201 TeraOhm 5kV Plus [12] 30
Obr. 3.9: Meranie R_{iz} rotora - schéma zapojenia 31
Obr. 3.10: Náhradná schéma jednej fázy vinutia statora 33
Obr. 3.11: Fázorový diagram reálneho kondenzátora 33
Obr. 3.12: Čelo vinutia - detail rozperiek a bandážovania vinutia 37
Obr. 3.13: Znázornenie uloženia statorového vinutia v drážke 38
Obr. 3.14: Prístroj na meranie tuhosti klinov v drážkach statora [13] 38

Zoznam tabuliek a grafov

Tabuľka 2.1: Minimálne hodnoty izolačného odporu [5] 13
Tabuľka 3.1: Technické údaje stroja od výrobcu [2] 20
Tabuľka 3.2: Katalógové údaje výrobcu pre materiál kief CG 318. 22
Tabuľka 3.3: Namerané hodnoty hádzavosti krúžkov turboalternátora 27
Tabuľka 3.4: R_{iz} rotora turboalternátora 32
Tabuľka 3.5: Namerané hodnoty kapacity a stratového činiteľa 34
Tabuľka 3.6: Namerané hodnoty R_{iz} statorového vinutia pred napäťovou skúškou 36
Tabuľka 3.7: Namerané hodnoty R_{iz} statorového vinutia po napäťovej skúške 37
Tabuľka 3.9: Namerané hodnoty prúdov na konci napäťovej skúšky statorového vinutia. 39
Tabuľka 3.10: Namerané hodnoty R_{iz} priechodiek pred a po napäťovej skúške. 40
Tabuľka 3.11: Namerané hodnoty prúdov na konci napäťových skúšok priechodiek 40
Tabuľka 3.12: Namerané a prepočítané hodnoty činného odporu statorového vinutia 41
Tabuľka 4.1: Lehoty pravidelných revízií elektrických inštalácií a zariadení na ochranu pred účinkami statickej elektriny podľa vonkajších vplyvov určených na základe STN 33 2000-5-51 [3] 47
Tabuľka 4.2: Lehoty pravidelných revízií existujúcich elektrických inštalácií a zariadení na ochranu pred účinkami statickej elektriny podľa druhu prostredia určeného na základe STN 33 0300:1988 a STN 33 0300:2001 [3] 48
Tabuľka 4.3: Lehoty pravidelných revízií existujúcich elektrických inštalácií a zariadení na ochranu pred účinkami statickej elektriny podľa druhu prostredia určeného na základe STN 33 0300:1988 a STN 33 0300:2001 [3] 49
Tabuľka 4.4: Zoznam hlavných činností pri BO a GO TG 50

Graf č. 3.1: Závislosť kapacity na skúšobnom napätí 34
Graf č. 3.2: Závislosť tgδ na skúšobnom napätí 35
Graf č. 3.3: Izolačný odpor statora pred napäťovou skúškou 36

1 ÚVOD

Najvhodnejšou energiou na pohon zariadení v domácnosti je elektrická energia. Ľudstvo začalo využívať elektrickú energiu na pohon jednotlivých zariadení už v 80. rokoch 19. storočia. S rozvojom elektrifikácie narastala potreba ochrany ľudí, zvierat a majetku pred neželanými účinkami elektrickej energie pri používaní elektrických zariadení. Od začiatku minulého storočia vznikali prvé predpisy popisujúce potrebné opatrenia na zaistenie bezpečnosti elektrických zariadení. Postupne sa zvyšovala bezpečnosť používaných zariadení až na dnešnú úroveň.

V dnešnej dobe je bezpečnosť elektrických zariadení na vysokej úrovni, jednak používanými materiálmi pri ich výrobe a jednak prijatými postupmi pri ich prevádzke. Na jednotlivé etapy života elektrického zariadenia sú vypracované doporučené pravidlá popísané v technických normách. Dodržaním týchto pravidiel pri návrhu, výrobe, skúške, uvádzaní do prevádzky a samotnej prevádzky až do vyradenia elektrického zariadenia je zaistená požadovaná bezpečnosť osôb, zvierat a majetku podľa požiadaviek dnešnej doby. Tento trend zvyšovania bezpečnosti musí pokračovať s rozvojom používania elektrických zariadení v budúcnosti.

V bakalárskej práci sa zaoberám problematikou revízie elektrického zariadenia. Na vykonanie revízie je oprávnenou osobou podľa vyhlášky 508 z roku 2009 Zbierky zákonov revízny technik.

Podmienkou dobre vykonanej revízie je znalosť revidovaného zariadenia revíznym technikom. Z toho plynie potreba neustáleho vzdelávania sa revíznych technikov nielen v oblasti technických noriem, ale aj v oblasti vývoja nových elektrických zariadení.

V prvej časti popisujem základné elektrické stroje, ktoré používajú klzný kontakt. Sú tu uvedené základné časti jednotlivých strojov.
Nasleduje časť venovaná základným normám popisujúcich výkon revízie elektrického zariadenia, s vysvetlením niektorých pojmov používaných pri výkone revízií.

Záverečná časť je oboznámením sa s revidovaným zariadením, jeho parametrami, zapojením, požiadavkami výrobcu na prevádzkovanie a revíziu počas plánovaných opráv. V tejto časti sú zaznamenané a graficky spracované namerané hodnoty počas generálnej opravy revidovaného stroja.

2 ELEKTRICKÉ STROJE

Elektrické stroje točivé slúžia na premenu mechanickej energie na elektrickú energiu, nazývame ich generátory (Obr.2.1), alebo na premenu elektrickej energie na mechanickú energiu a tieto nazývame motory (Obr.2.2).

Elektrické stroje rozdeľujeme podľa rôznych hľadísk:

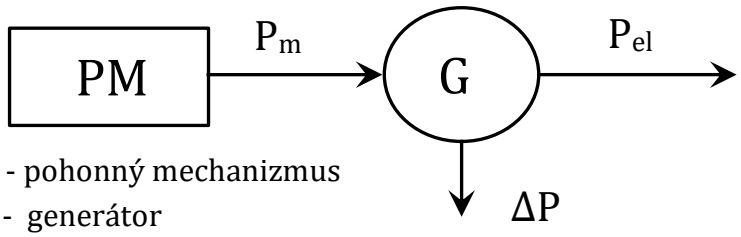
1. Druh napájacej sústavy:
   - jednosmerné,
   - striedavé,
     - jednofázové,
     - trojfázové,
     - viacfázové.

2. Podľa pohybu:
   - netočivé – transformátory, meniče,
   - točivé – motory, generátory,
   - lineárne.

3. Smer toku a druhu energie:
   - motory,
   - generátory,
   - meniče.

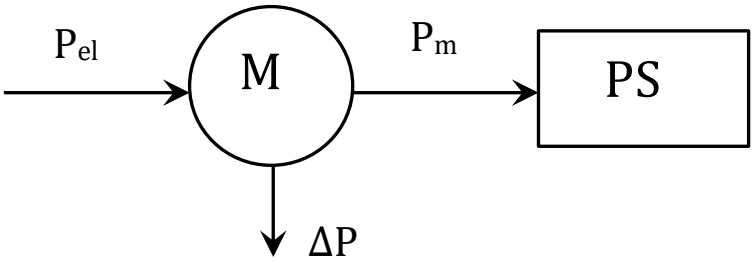
2.1 Elektrické stroje točivé s klzným kontaktom

Elektrické stroje točivé slúžia na premenu mechanickej energie na elektrickú energiu, nazývame ich generátory (Obr.2.1), alebo na premenu elektrickej energie na mechanickú energiu a tieto nazývame motory (Obr.2.2).



PM - pohonný mechanizmus
G - generátor
P_m – mechanický výkon
P_{el} – elektrický výkon
ΔP – stratový výkon

Obr. 2.1: Premena energie v generátore



PS – pracovný stroj
M - motor

Obr. 2.2: Premena energie v motore

Elektrické stroje točivé s klzným kontaktom sa skladajú z nasledovných častí:

- stator – nepohyblivá časť stroja, obsahujúca statorové vinutie a magnetický obvod statora (obr.2.3),
- rotor – pohyblivá (rotujúca) časť stroja skladajúca sa z rotorového vinutia a magnetického obvodu rotora,
- zberacie ústrojenstvo – zabezpečuje prenos elektrickej energie medzi rotujúcimi a nerotujúcimi časťami rotora, tvoria ho krúžky/komutátor, kefy a držiaky kief,
- mechanické časti – zaisťujú správne vzájomné usporiadanie stroja, jeho chladenie, upevnenie na pracovnom mieste.

2.1.1 Synchrónne stroje

Ako zdroj elektrickej energie sa dnes pri jej výrobe najčastejšie používajú synchrónne stroje. Ich názov je odvodený od otáčok rotora, ktoré sú synchrónne, teda rovnaké ako otáčky elektromagnetického poľa statora.

Synchrónny stroj má v statore, ktorý je zostavený z dynamových plechov umiestnené 3-fázové vinutie. Rotor nesie na sebe budiace vinutie napájané jednosmerným prúdom. Budiaci prúd je dodávaný z budiacej sústavy cez dva krúžky a potrebný počet kief. Usporiadanie synchrónneho stroja môže byť aj opačné, vtedy je budiace vinutie uložené v statore a trojfázové vinutie je nesené rotorom. Usporiadanie s jednosmerným budiacim vinutím na rotore je vhodné najmä z jednoduchšieho pripojenia generátora na sieť , nie je nutné odvádzať výkon stroja cez klzné kontakty. Pripojenie generátorov na sieť býva pri veľkých výkonoch prevedené pomocou tzv. zapuzdrených vodičov. Pre dodanie potrebného jednosmerného budiaceho prúdu postačujú menšie krúžky a kefy, nakoľko výkon potrebný pre budenie stroja je niekoľkonásobne menší, ako striedavý výkon synchrónneho stroja [1].

Rotory synchrónnych strojov sa vyrábajú ako:

- hladké – majú vysoké otáčky, pre generátory poháňané plynovými, alebo parnými turbínami – turboalternátory,
- s vystúpenými pólmi – pre pomalobežné synchrónne stroje používané najmä vo vodných elektrárňach – hydroalternátory.

Obr. 2.3: Transport nového statora turbogenerátora TG 22 v Jaslovských Bohuniciach [8]

2.1.2 Asynchrónne stroje

Asynchrónne stroje, ako už názov napovedá pracujú na nižších otáčkach ako sú synchrónne otáčky. Asynchrónny stroj sa používa aj ako generátor, ale oveľa častejšie ako motor. Ako generátor nachádza uplatnenie najmä vo veterných elektrárňach.

Asynchrónny motor je najčastejšie používaným točivým strojom, či už v priemysle, alebo v domácnostiach. Používa sa ako jednofázový, tak aj ako trojfázový motor.

Vyrábajú sa s rotorom (kotvou):

- klietkovým,
- vinutým.

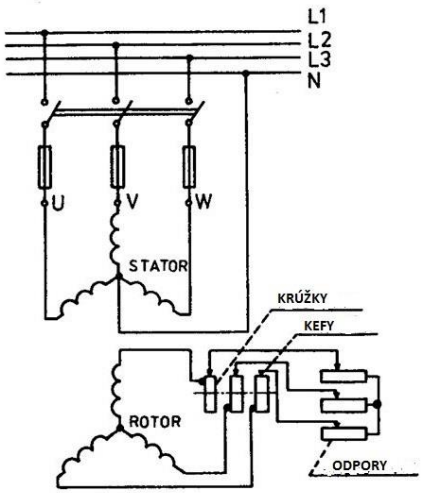
Motory s klietkovým rotorom, označované aj ako motory s kotvou nakrátko, nepotrebujú pre svoju prevádzku dodávať, alebo odoberať z rotora žiadnu energiu a z toho dôvodu nemajú ani žiadne zberacie ústrojenstvo medzi rotujúcimi časťami a statickými časťami. Ich najväčšou výhodou je jednoduchá konštrukcia.

Asynchrónne motory s vinutou kotvou majú rotorové vinutie uložené v rotorových drážkach, najčastejšie býva zapojené do hviezdy. Konce vinutí sú

vyvedené na krúžky, začiatky sú spojené v uzle hviezdy. Rotorové vinutie môže byť pripojené na premenné odpory, pomocou ktorých môžeme meniť parametre motora pri rozbehu – záberný moment, záberný prúd... Schematické znázornenie asynchrónneho motora s vinutým rotorom je na obr.2.6 .

Pri motoroch, ktoré nie sú prevádzkované s častými štartami sa po rozbehu odpory v kotve vyskratujú na krúžkoch a kefy v zberacom zariadení sa nadvihnú nad krúžky. Týmto sa predíde opotrebovaniu kief a krúžkov počas chodu stroja, jeho zaprášeniu uhlíkovým prachom od pritlačených kief a sú odstránené aj nežiadúce prechodové odpory v obvode rotora. U motorov s týmto systémom sa nevyskytujú problémy so zberacím ústrojenstvom, pretože toto je v prevádzke iba veľmi krátky čas počas rozbehu stroja. [1]

Motory prevádzkované v zariadeniach s častým štartom, napríklad motory žeriavov, nepoužívajú odklápacie zariadenie ako je popísané v predchádzajúcom odseku. Pri týchto motoroch je potrebné venovať pozornosť opotrebovaniu krúžkov a kief, aby sa predišlo poruchám takto prevádzkovaných strojov.

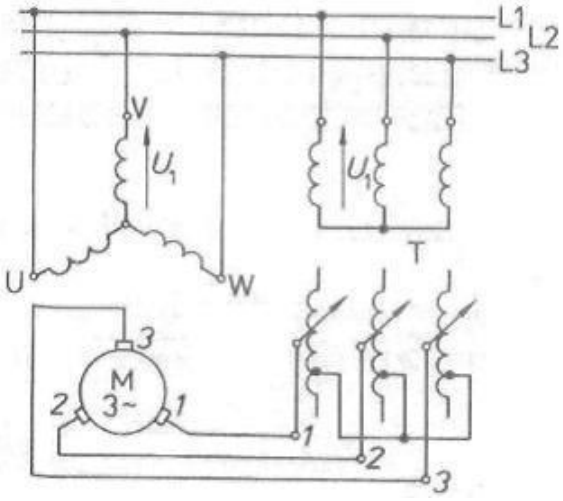


Obr. 2.4: Schéma zapojenia trojfázového asynchrónneho motora s vinutým rotorom

2.1.3 Striedavé stroje s komutátorom

Striedavé stroje s komutátorom sa vyrábajú ako jednofázové, tak aj trojfázové. V domácnostiach nachádzajú uplatnenie stroje jednofázové. Používajú sa ako pohony domáceho ručného náradia (pílky, vŕtačky...), rôznych kuchynských spotrebičov – vysávače, mixéry, sušiče vlasov, a pod.

V priemyselnej oblasti sa používajú aj trojfázové striedavé stroje s komutátorom, Pre menšie výkony sa používajú trojfázové sériové komutátorové motory, napr. ako zdvíhacie motory pri žeriavoch a riaditeľné motory. Väčšie motory s výkonom vyše 100 kW sú derivačné trojfázové komutátorové motory napájané do statora.



Obr. 2.5: Schéma zapojenia trojfázového derivačného komutátorového motora napájaného do statora.

2.1.4 Jednosmerné stroje

Význam jednosmerných strojov rastie spolu s rozširujúcim sa používaním polovodičových usmerňovačov v napájaní priemyselných rozvodov. Pri používaní jednosmerných strojov v praxi využívame najmä ich jednoduché riadenie otáčok pomocou napätia kotvy, veľký krútiaci moment pri malých otáčkach, pomerne veľkú preťažiteľnosť a prispôsobivosť ich zaťažovacích charakteristík pracovnému stroju. Jednosmerné stroje sa využívajú v prevádzkach vyžadujúcich časté reverzácie stroja, prerušovaný chod stroja čo sú náročné podmienky prevádzky stroja.

Jednosmerné stroje sa skladajú zo statora, na ktorom je statorové vinutie napájané z jednosmerného zdroja, z rotora - na rotore je navinuté rotorové vinutie, v ktorom sa indukuje striedavé napätie pri pohybe rotora v magnetickom poli vytvorenom cievkami statorového vinutia. Ďalšou, z hľadiska klzného kontaktu najdôležitejšou časťou stroja je komutátor. Komutátor usmerňuje striedavé napätie z cievok rotora, ktoré sú pripojené na jeho lamely. Okamih, kedy je cievka rotorového vinutia spojená kefami nakrátko sa nazýva komutácia.

2.2 Problematika revízií elektrických zariadení

Každé elektrické zariadenie sa musí inštalovať a prevádzkovať v súlade s pokynmi výrobcu. Elektrické zariadenie musí byť vhodné pre použitie v okolitom prostredí a daných podmienkach.

Revízia elektrického zariadenia je overenie jeho stavu z hľadiska bezpečnosti. Požiadavky bezpečnosti sa považujú za splnené, pokiaľ elektrické zariadenie zodpovedá z hľadiska bezpečnosti príslušným ustanoveniam noriem [3].

„Bezpečnosť elektrického zariadenia je jeho schopnosť neohrozovať ľudské zdravie, úžitkové zvieratá, alebo majetok a okolité prostredie pri stanovených podmienkach prevádzky elektrickým prúdom, alebo napätím, alebo javmi vyvolanými účinkami elektriny.

Tento pojem zahŕňa i požiarnu bezpečnosť z hľadiska možného vzniku požiaru pôsobením prúdu, napätím, alebo javmi vyvolanými účinkami elektriny" [3].

Odborné prehliadky a odborné skúšky elektrických zariadení (revízie) sa vykonávajú vždy pred ich prvým uvedením do prevádzky, pri ich opätovnom uvedení do prevádzky a v pravidelných intervaloch počas prevádzky.

2.2.1 STN 33 1500

Norma [3] je základnou normou pre vykonávanie revízií elektrických zariadení. Všetky elektrické zariadenia, ktoré by mohli ohroziť ľudské zdravie, úžitkové zvieratá, alebo okolité prostredie elektrickým prúdom, alebo napätím musia byť revidované v zmysle tejto normy. Norma popisuje druhy revízií a postupy ich vykonávania. Ďalej sú v nej zadefinované náležitosti, ktoré musí obsahovať revízna správa , obsahuje tiež odkazy na ďalšie potrebné normy.

2.2.1.1 Východisková revízia

Pred uvedením elektrického zariadenia do prevádzky sa na tomto zariadení musí vykonať tzv. východisková revízia. Výnimku tvoria zariadenia u ktorých sa bezpečný stav dokladuje iným spôsobom uvedeným v tejto norme. Za takýto doklad sa podľa normy považuje napr. označenie štátnou značkou akosti, značkou prvého stupňa akosti, schvaľovacou, alebo, certifikačnou značkou podľa zákona 30/1968 Z.z., protokolom o kusovej skúške výrobcu a inými v norme uvedenými dokladmi.

Pri zariadeniach rekonštruovaných bez možnosti ich odstavenia od napätia na celú dobu rekonštrukcie, zapríčinenými závažnými spoločenskými, národohospodárskymi, alebo technologickými dôvodmi, sa môžu tieto prevádzkovať bez vykonanej východiskovej revízie. Na takýchto častiach rekonštruovaného zariadenia je nutné zabezpečiť také opatrenia a kontroly, aby nebola ohrozená bezpečnosť. O týchto opatreniach a kontrolách je nutné vyhotoviť písomný záznam s podpisom povereného pracovníka.

Po ukončení rekonštrukcie sa na prevádzkovaných zariadeniach podľa predchádzajúceho odseku vykoná východisková revízia. Tento jediný prípad povoľuje norma pre prevádzkovanie elektrických zariadení bez vykonanej

východiskovej revízie. Všetky ostatné rekonštruované elektrické zariadenia je možné prevádzkovať až po vykonaní východiskovej revízie s kladným výsledkom.

Rozšírenie elektrického obvodu nn sa podľa článku 2.3 tejto normy nepovažuje za nové , alebo rekonštruované elektrické zariadenie. Východiskovú revíziu v tomto prípade nahradí záznam o kontrole podpísaný povereným pracovníkom.

V prípade montáže elektrického zariadenia na mieste ich budúceho uvedenia do prevádzky sa môže východisková revízia vykonávať tiež po častiach. Na častiach zariadenia, ktorých bezpečný stav bol dokladovaný podľa článku 2.1 (doklady spomínané v úvode) sa nemusí vykonávať východisková revízia, avšak spomínané doklady slúžia ako podklady pre celkovú východiskovú revíziu elektrického zariadenia.

Pri premiestnení elektrického zariadenia na nové umiestnenie, a ak pri tomto mohlo dôjsť ku zmene elektrických, alebo funkčných vlastností je nutné vykonať pred uvedením do prevádzky aspoň kontrolu tohto zariadenia a o tejto kontrole vykonať zápis s podpisom povereného pracovníka. Toto platí aj vtedy, ak bolo zmenené zapojenie oproti pôvodnej dokumentácii. Pokiaľ však bolo elektrické zariadenie po presune na nové miesto následne zostavované z jednotlivých častí, je v tomto prípade nutné vykonať východiskovú revíziu.

Opravované elektrické zariadenie, u ktorého mohla mať vykonaná oprava dopad na jeho bezpečnosť sa musí podrobiť kontrole a o tejto musí byť vyhotovený podpísaný záznam.

Pre potreby meranie a skúšania revidovaného zariadenia sa toto môže uviesť pod napätia po splnení potrebných opatrení zabezpečujúcich bezpečnosť.

2.2.1.2 Pravidelné revízie

Elektrické zariadenia sa musia počas svojej prevádzky podrobiť pravidelným revíziám v termínoch podľa tabuľky 4.1, tabuľky 4.2 a tabuľky 4.3. Tabuľky sú v prílohe č.1. Termín vykonania pravidelnej revízie sa určí zo spomínaných tabuliek výberom najkratšieho termínu z termínov určených pre revidované elektrické zariadenie podľa triedy vonkajšieho vplyvu, druhu objektu, alebo zariadenia a druhu prostredia.

Výnimku z vykonávania pravidelných revízií majú vedenia prenosovej a distribučnej sústavy, transformátorovne vn/nn a rozvodné zariadenia nn distribučnej sústavy podľa STN 333200, pokiaľ je ich bezpečnosť zaistená pravidelnými kontrolami a údržbou popísanou vo vlastnom prevádzkovom predpise pre ich údržbu.

Termíny pravidelných revízií vymedzených zariadení sa môžu predĺžiť na dvojnásobok lehôt uvedených v tabuľke 4.1 za predpokladu, že organizácia

prevádzkujúca elektrické zariadenie má vypracovaný vlastný plán preventívnej údržby so zadefinovanými kontrolami a rozsahom údržby, pomocou ktorých zabezpečuje bezpečnosť ich bezpečnosť. Pravidelné kontroly sa však musia vykonávať minimálne v termínoch predpísaných pre pravidelné revízie – toto sa nemôže uplatniť pre zariadenia triedy BE2, BE3, CA2, CB3, CB4, na dočasné elektrické inštalácie, objekty a priestory s nebezpečenstvom výbuch, alebo požiaru, na zariadenia v prostredí pasívnom s nebezpečenstvom požiaru a v prostredí pasívnom s nebezpečenstvom výbuchu (STN33 1500/Z1, STN 33 1500/Z1_O1). Možnosť postupovať podľa tohto odstavca bola zrušená vydaním STN 33 1500/Z2 z 10/2015.

Výsledky kontrol spolu so zistenými závadami vrátane termínov ich odstránenia musia byť archivované v písomnej forme a potvrdené podpisom povereného pracovníka.

V prípade nemožnosti odstaviť elektrické zariadenie pre výkon revízie z dôvodu závažných spoločenských, národohospodárskych, alebo technologických dôvodov je povolené vykonať pravidelnú revíziu pri najbližšom odstavení tohto zariadenia aj po uplynutí termínu podľa tabuľky 4.1, najneskôr však v roku nasledujúcom po uplynutí predpísaného termínu.

2.2.1.3 Podklady k vykonaniu revízie

Pre vykonanie východiskovej revízie musia byť dostupné potrebné podklady popisujúce stav elektrického zariadenia ku dňu revízie. Jedná sa najmä o dokumentáciu skutočného vyhotovenia, kde sú vyznačené všetky zmeny, ktoré nastali počas montáže a skúšok, protokoly o určení prostredia pre revidované zariadenie a záznamy o vykonaných kontrolách, skúškach a meraniach na elektrickom zariadení. V prípade, ak bolo zariadenie zmontované na mieste sú vyžadované doklady o vykonaných čiastkových východiskových revíziách. Doklady preukazujúce bezpečnosť elektrického zariadenia od výrobcov a od iných organizácií oprávnených takéto doklady vystaviť je nutné tiež zahrnúť medzi podklady ku vykonaniu revízie. Pri revízii zariadenia, ktoré sa nemohlo počas rekonštrukcie odstaviť, je nutné priložiť tiež záznamy o uskutočnených opatreniach a kontrolách pre zaistenie bezpečnosti počas rekonštrukcie zariadenia.

Pravidelná revízia vyžaduje mierne odlišné podklady. Dokumentácia skutočného vyhotovenia a protokoly o určení prostredia sú nutné ako aj pri východiskovej revízii. Rozdiel oproti východiskovej revízii je v potrebe mať k dispozícii návod pre údržbu elektrického zariadenia, kde sú popísané postupy vykonávaných kontrol, opráv, skúšok a meraní počas prevádzky zariadenia. O týchto úkonoch musia byť spísané záznamy s podpisom povereného pracovníka. Ďalšími podkladmi sú záznamy o vykonaných kontrolách pri možnom rozširovaní

elektrického zariadenia nízkeho napätia. Pre zariadenie presunuté na iné pracovné miesto, alebo pre opravované elektrické zariadenie, u ktorého mohlo dôjsť k zásahu s vplyvom na jeho bezpečnosť sa musí doložiť podpísaný záznam o vykonaných kontrolách. V prípade kontroly štátneho odborného technického dozoru sa prikladajú aj výsledky z týchto kontrol.

2.2.1.4 Postup vykonávania revízií a správa o revízii

Účelom revízie elektrického zariadenia je pomocou prehliadky, meraním a vykonaním skúšky overiť jeho stav z hľadiska bezpečnosti. Tomuto cieľu je nutné prispôsobiť postup vykonávania revízie, s prihliadnutím k požiadavkám na zariadenie požadovanými výrobcom a ostatnými slovenskými technickými normami .

Výsledkom revízie je vypracovaná písomná správa obsahujúca druh vykonávanej revízie - môže sa jednať o východiskovú, alebo pravidelnú revíziu, vymedzenie revidovaného zariadenia, zoznam použitých meracích prístrojov. V ďalšej časti sú popísané jednotlivé činnosti vykonané pri revízii. Pri kontrolách, meraniach a skúškach sú zaznamenané aj potrebné hodnoty s vyjadrením, či vyhovujú požiadavkám na bezpečnosť. Použitie podkladov z meraní, alebo kontrol z predchádzajúcich činností na zariadení je možné, musia byť však uvedené odkazy na umiestnenie týchto dokumentov, prípadne sa musia vložiť do prílohy revíznej správy.

V záverečnej časti správy o revízii je nutné uviesť všetky zistené nedostatky spolu s popisom ,ktorému článku normy nevyhovujú a celkové zhodnotenie výsledku revízie elektrického zariadenia s rozhodnutím či je toto schopné bezpečnej prevádzky. Pri nevyhovujúcom závere celého zariadenia, alebo jeho časti sa musia popísať dôvody, kvôli ktorým sa nemôže zariadenie, alebo jeho časť uviesť do prevádzky.

Súčasťou správy o revízii musí byť aj dátum jej vykonania a meno s podpisom revízneho technika spolu s jeho evidenčným číslom, ktoré je najčastejšie uvedené na jeho pečiatke.

U zariadení veľkého rozsahu sa východisková revízna správa môže vypracovať na z vykonaných východiskových revízií jednotlivých častí zariadenia. Pravidelnú revíziu môžeme vypracovať z podkladov vykonaných kontrol zariadenia podľa predpísaného plánu údržby.

Revízne správy musia byť uložené u prevádzkovateľa elektrického zariadenia, východisková trvale od spustenia do vyradenia zariadenia, pravidelná do vydania nasledujúcej revízie správy. Obe revízne správy musia byť prístupné pri kontrole štátnym dozorným orgánom.

Norma STN 331500 nahradzuje normy STN 34 3800, STN 34 3801, STN 34 3810 a boli v jej vydaní odstránené povinnosti organizácií a kvalifikácia pracovníkov vykonávajúcich kontroly a revízie elektrických zariadení.

K prvému vydaniu normy z 6/1990 sú vydané ďalšie opravné vydania: STN 33 1500/Z1, STN 33 1500/Z1-O1, STN 33 1500/Z2, ktorými sa upravilo pôvodné znenie.

2.2.2 STN 33 2000-6

Slovensko, ako člen CENELEC je povinné plniť vnútorné predpisy CEN/CENELEC. Do STN 33 2000-6 boli zahrnuté požiadavky z IEC 60364-6. Výsledný text bol schválený CENELLEC-om ako harmonizačný dokument HD 60364-6 1.9.2006. Tento HD nahrádza HD 384.6.61S2:2003. STN 33 2000-6 nahrádza STN 33 2000-6-61 v plnom rozsahu. Zmeny oproti nahradenému dokumentu sú v rozšírení oblasti použitia, zahŕňa už aj periodické revízie. Sú zmenené aj požiadavky na písanie správ po vykonaní východiskovej a periodickej revízie, požiadavky na samočinné odpojenie napájania, na preverenie doplnkovej ochrany a ďalšie popísané zmeny. Bol popísaný modelový formulár záznamov, ktorý sa môže použiť na opis inštalácie pre východiskovú a periodickú revíziu elektrickej inštalácie.

STN 33 2000-6 popisuje požiadavky na vykonanie východiskovej a periodickej revízie. Skladá sa z časti zaoberajúcou sa požiadavkami na východiskovú revíziu, v ktorej určuje potrebné úkony na písanie správy o výsledku východiskovej revízie. V druhej časti sa zaoberá periodickými revíziami a popisuje postup ich vykonávania, spolu s popisom požiadaviek na vystavenie záverečnej správy o periodickej revízii. Tretiu časť, nemenej dôležitú tvoria prílohy.

V norme sa používajú niektoré zadefinované označenia [5]:

- revízia (verification) – *„všetky opatrenia, ktorými sa kontroluje súlad elektrickej inštalácie s príslušnými požiadavkami HD 60364“,*
- prehliadka (inspection) – *„kontrola elektrickej inštalácie s použitím všetkých zmyslov potrebných na zistenie správnosti výberu a montáže elektrických zariadení“,*
- skúšanie (testing) – *„realizácia opatrení v elektrickej inštalácii, pomocou ktorých sa preukazuje jej spôsobilosť“,*
- písanie správy o revízii (reporting) - *„zaznamenávanie výsledkov prehliadky a skúšania“,*
- údržba (maintenence) – *„kombinácia všetkých technických a administratívnych úkonov vrátane úkonov spojených s dozorom, s cieľom, zachovania sledovanej jednotky v stave, v ktorom môže vykonávať vyžadovanú funkciu, alebo s cieľom návratu do tohto stavu“.*

Elektrické zariadenia sa už počas montáže a následne aj po jej ukončení podrobuje kontrolám, ktoré sú podkladom pre vykonanie východiskovej revízie tohto zariadenia pred jeho uvedením do prevádzky.

Osoba vykonávajúca revíziu musí byť kvalifikovaná na jej vykonávanie a musí mať k dispozícii všetky potrebné podklady a informácie z predchádzajúcich kontrol.

Počas vykonávania revízie nesmie prísť k ohrozeniu osôb, hospodárskych zvierat ani k poškodeniu majetku a zariadení vykonávaním úkonov potrebných pre revíziu, napríklad počas merania izolačných stavov, impedančných slučiek, a pod. K tomuto ohrozeniu nesmie dôjsť ani pri výskyte poruchy skúšaného zariadenia.

2.2.2.1 Postup vykonávania východiskovej revízie

Preverenie bezpečnosti elektrického zariadenia sa začína jeho prehliadkou, v rámci ktorej sa preverí splnenie požiadaviek výrobcu zariadenia na umiestnenie a spôsob inštalácie zariadenia. Vizuálne sa preverí, či nedošlo ku poškodeniu zariadenia počas montáže, predpísaný spôsob ochrany pred zásahom elektrickým prúdom, kompletnosť protipožiarnych prepážok ak sú použité, dimenzia použitých vodičov s ohľadom na ich prúdovú zaťažiteľnosť a dovolené úbytky napätia (STN 33 20 00-4-43, STN 33 2000-5-52), farebné označenie použitých vodičov a ich správne pripojenie, vrátane vodičov ochranného pospájania. Ďalej je potrebné sa pri prehliadke zamerať na kontrolu nastavenia ochranných prístrojov, kontrolu ovládacích prístrojov, ich druh a umiestnenie. Kontrolou vhodnosti použitých prístrojov v danom prostredí, označenia jednotlivých častí, bezpečnostných označení podľa príslušnej normy a potrebnej priloženej dokumentácie, akou je napr. jednopólová schéma zariadenia môžeme prehliadku ukončiť.

Skúškou zariadenia, nameranými skutočnými hodnotami sa preukazuje bezpečnosť elektrického zariadenia. V norme sú uvedené referenčné postupy skúšok, je dovolené použiť iné postupy skúšok, ale musia poskytnúť rovnako platné výsledky. Meracie prístroje používané pri skúškach musia byť v súlade EN 61557, v prípade použitia iných prístrojov tieto musia poskytnúť rovnaký stupeň spôsobilosti a bezpečnosti.

V priebehu skúšky elektrického zariadenia sa musí vykonať skúška spojitosti ochranných vodičov vrátane vodičov na ochranné a doplnkové pospájanie. Kontrolu spojitosti krajných vodičov norma predpisuje v prípade koncových obvodov usporiadaných do prstenca.

Meranie izolačných odporov elektrického zariadenia patrí medzi hlavné merania dávajúce informáciu o kvalite izolácie medzi živými a neživými (príp. medzi živými časťami navzájom) časťami inštalácie a stroja, ktorá sa mení počas prevádzky stroja. Izolačný odpor sa meria medzi krajnými vodičmi a ochranným vodičom, medzi krajnými vodičmi navzájom pri zariadeniach určených do priestoru

s nebezpečenstvom požiaru. Pri meraní izolačného odporu motora sa merajú izolačné odpory jednotlivých vinutí voči neživej časti zariadenia na ktorej sú umiestnené a izolačné stavy vinutí navzájom.

Minimálne hodnoty izolačných odporov sú v tabuľke č. 2.1

Menovité napätie obvodu (V)	Jednosmerné skúšobné napätie (V)	Izolačný odpor (MΩ)
SELV a PELV	250	≥0,5
Do 500 V vrátane, vrátane FELV	500	≥1,0
Nad 500 V	1000	≥1,0

Tabuľka 2.1: Minimálne hodnoty izolačného odporu [5]

Izolačný odpor sa meria s nadstavenými hodnotami skúšobného napätia a musí byť väčší ako hodnota uvedená v tabuľke 2.1. V prípade zapojenia zariadení, ktoré by mohli skresľovať výsledky merania, napr. zariadenia na ochranu proti prepätiu, je nutné tieto odpojiť. Ak odpojenie nie je možné, norma dovoľuje vykonať meranie zníženým skúšobným napätím na hodnotu 250 V pri zachovaní hodnoty minimálneho izolačného odporu 1 MΩ.

U obvodov SELV, PELV a obvodov s elektrickým oddelením sa meraním izolačných odporov preukazuje oddelenie živých častí jednotlivých obvodov navzájom. Namerané hodnoty musia vyhovovať hodnotám uvedeným v tabuľke 2.1.

Pri skúške nevodivého okolia podľa STN 33 20000-4-41, kapitola C1 sa vykonávajú minimálne tri merania. Jedno meranie sa vykoná vo vzdialenosti 1 meter od cudzej vodivej časti a ostatné merania sa vykonajú vo väčšej vzdialenosti [5].

Odpor izolačných podláh a stien nesmie byť menší ako 50 kΩ pre menovité napätie inštalácie do 500 V, 100 kΩ pre menovité napätie inštalácie väčšie ako 500V [4].

Skúška ochrany elektrického zariadenia pri poruche – ochrany samočinným odpojením napájania sa v sústave TN prevádza meraním impedancie poruchovej slučky. V sieťach TN sa na ochranu pri poruche používajú nadprúdové ochranné prístroje a prúdové chrániče. Prúdový chránič môže byť použitý iba spolu s nadprúdovým ochranným prístrojom, ale nesmie sa použiť v sieti TN-C. V sieťach TN-C-S sa musí nachádzať rozdelenie vodiča PEN na PE a N pred prúdovým chráničom.

Impedancia poruchovej slučky musí spĺňať nasledovnú podmienku [6]:

$$Z_S \cdot I_a \leq U_0 \qquad (2.1)$$

kde: Z_S -impedancia poruchovej slučky [Ω]

I_a -prúd zaisťujúci samočinné odpojenie ochranného prvku [A]

U_0 – menovité fázové napätie [V]

Ak nie je možné dosiahnuť splnenie podmienky podľa (2.1), musí sa vykonať doplnkové pospojovanie, alebo použiť prúdový chránič. Pri použití doplnkového pospojovania sa musí jeho účinnosť overiť. Odpor medzi súčasne prístupnými neživými časťami a cudzími vodivými časťami musí spĺňať podmienku pre striedavé systémy:

$$R \leq \frac{50\ V}{I_a} \tag{2.2}$$

a pre jednosmerné systémy:

$$R \leq \frac{120\ V}{I_a} \tag{2.3}$$

kde: I_a – vypínací prúd ochranného prístroja [A]
(pri prúdovom chrániči je to ΔI, pri nadprúdových ochranných prístrojov prúd, ktorý zaistí odpojenie v čase 5s) [4]

Pre viacfázové obvody sa preskúša sled fáz.

Funkčnej skúške na preukázanie správnosti namontovania a nastavenia sa musia podrobiť zostavy ako sú rozvádzače, pohony, riadiace a blokovacie jednotky.

2.2.2.2 Správa o východiskovej revízii

Správa o východiskovej revízii sa vypracuje po skončení revízie novej, alebo rekonštruovanej inštalácie, bude v nej určený rozsah revidovaného zariadenia, záznam o prehliadke a výsledky skúšok zariadenia. Vo východiskovej správe sa doporučuje uviesť interval do vykonania nasledujúcej pravidelnej revízie. Závady zistené počas kontroly a skúšania sa musia odstrániť pred vystavením správy s kladným výsledkom revízie. Správu o východiskovej revízii vypracuje osoba oprávnená na výkon revízie a potvrdí ju svojím podpisom.

2.3 Klzný kontakt v elektrickom stroji

V praxi sa často stretávame s potrebou prenášať elektrickú energiu zo stojacej časti na pohybujúcu sa časť. V točivých elektrických strojoch je veľakrát potrebné pripojiť vinutie umiestnené na otáčajúcom sa rotore na nepohybujúcu sa časť stroja. Podľa druhu stroja je rotorové vinutie zapojené do série, paralelne, alebo sériovo - paralelne so statorovým. Rotorové vinutie môže byť napojené na nezávislý zdroj elektrickej energie. Prepojenie rotujúcich a nerotujúcich častí stroja sa najčastejšie realizuje pomocou klzného kontaktu. Klzný kontakt sa skladá z viacerých častí.

Otáčajúca sa časť, krúžok alebo komutátor je súčasťou rotora. Zberacie ústrojenstvo je mechanicky spojené s nepohyblivou časťou stroja a zabezpečuje mechanické a elektrické napojenie kief. Kefy nám zabezpečujú samotný prenos energie medzi pohybujúcou a nepohybujúcou sa časťou elektrického stroja.
Z konštrukčného hľadiska rozdeľujeme klzné kontakty na dve skupiny:

- kefa – komutátor,
- kefa – krúžok.

Rozdelenie na základe prenášaného elektrického prúdu:

- jednosmerný – jednosmerné stroje s komutátorom,
  – synchrónne stroje s krúžkami.
- striedavý – striedavé komutátorové stroje (napr. motor ručnej vŕtačky) ,
  – striedavé motory s krúžkami (3fázový asynchrónny motor s rotorovým spúšťačom).

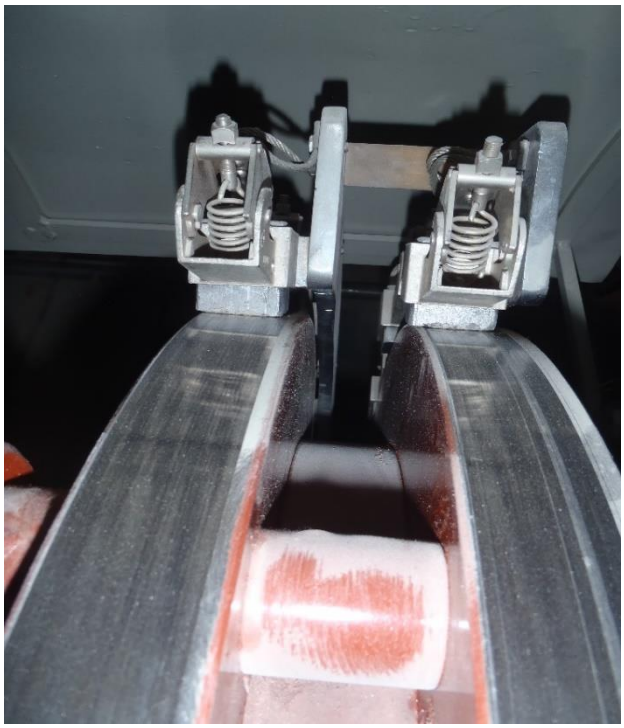
2.3.1 Komutátor

Komutátor (obr.2.6) je mechanický prepínač, ktorého úlohou je prepínanie smeru prúdu privádzaného do cievok rotorového vinutia. Zmena prúdu v cievke sa nazýva komutácia. Pri tejto zmene je cievka vyskratovaná kefou na komutátore. Komutátor sa skladá z lamiel, lamely sú medzi sebou oddelené drážkami rovnobežnými s osou rotora. Na jednotlivé lamely sú pripojené začiatky a konce cievok rotorového vinutia. Umiestnenie kief je dané počtom pólov stroja. Povrch komutátora má veľký vplyv na kvalitu komutácie. Každá nerovnosť spôsobuje zvýšenie iskrenia, čo má za následok zvýšené opotrebenie kief a poškodzovanie lamiel komutátora. Dobrá valcovitosť komutátora je podstatná pri jeho narastajúcej obvodovej rýchlosti.

Obr. 2.6: Komutátor s 12 lamelami [10]

2.3.2 Krúžok

Krúžok má na rozdiel od komutátora za úlohu iba previesť elektrický prúd do cievok rotora. Povrch krúžku je hladký, môže mať drážky po obvode.



Obr. 2.7: Krúžky s kefami, budenie dieselgenerátora 6kV

Aj keď sa zdá, že pri krúžkoch neprichádza k problémom s kvalitou klzného kontaktu, je potrebné venovať im náležitú pozornosť. Jedným z dôležitých faktorov pre kvalitný klzný kontakt je výber vhodného materiálu krúžku. Najčastejším materiálom sú zliatiny medi, v tomto prípade bronzy. Mosadze sa nemôžu použiť pre obsah hliníku, ktorý spôsobuje nadmerné opotrebenie krúžkov a kief.

Pri vysokootáčkových strojoch sa používa ako materiál krúžkov oceľ, pretože použitie bronzu je limitované jeho menšou mechanickou pevnosťou. Oceľové krúžky majú oproti bronzovým nevýhody. Sú ľahko korozívne, majú väčší prechodový odpor. Pri oceľových krúžkoch je nevhodné používať kovografitové kefy.

2.3.3 Kefy

Kefa zabezpečuje elektrický kontakt medzi pohyblivou a pevnou časťou elektrického stroja. Názov kefa pochádza z minulosti, kedy sa na prepojenie pevnej a pohyblivej časti stroja používala kovová mosadzná kefa.
Požiadavky na materiál kefy:

- dobrá elektrická vodivosť,
- dobré klzné vlastnosti,
- vysoký bod tavenia,
- tepelná odolnosť,
- mechanická pevnosť,
- odolnosť voči opotrebeniu,
- odolnosť voči poškodeniu elektrickým oblúkom.

Dnes sa používajú na výrobu kief materiály na základe grafitu. Grafit spĺňa požiadavky kladené na materiál kief popísané vyššie, má dobrú elektrickú vodivosť, výborné klzné vlastnosti, jeho mechanická pevnosť je dostatočná aj pri vysokých teplotách a je netaviteľný za normálnych podmienok.

Materiály na výrobu kief a jeho použitie:

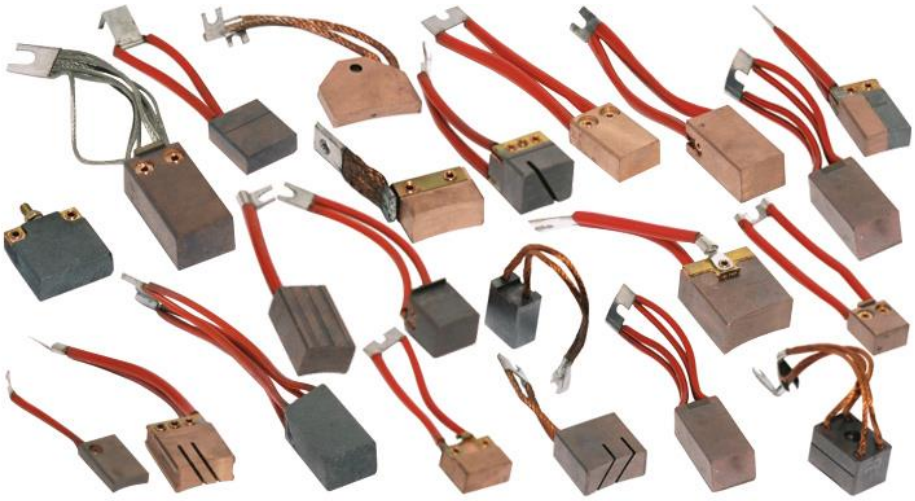
- uhľografit – zmes amorfného uhlíku a grafitu, (koks, sadze, grafit a spojivá),
  Nachádza použitie v málo zaťažených motoroch s malou obvodovou rýchlosťou komutátora (do 15 m/s),
- prírodný grafit – čistý prírodný grafit (tuha) a spojivo
  Vhodné pre oceľové krúžky turboalternátorov s obvodovou rýchlosťou do 70 m/s, stroje s obvodovou rýchlosťou komutátora do 40m/s s menšími výkonmi,
- elektrografit – materiál ako uhľografit vypaľovaný pri teplote 2500°C. Najpoužívanejší materiál pre výrobu kief, používa sa vo všetkých

jednosmerných aj striedavých komutátorových motoroch. Pre krúžkové striedavé stroje sú vhodné pri nižšom prúdovom zaťažení.

- kovografit – zmes kovov (Cu, Pb,Ag) a grafitu, spojivom je mäkký kov. Kefy z kovografitu sa používajú v strojoch s nízkym napätím, do 80V, v strojoch s obvodovou rýchlosťou krúžkov do 30 m/s.
- bakelitografit, grafit impregnovaný kovom pre špeciálne účely. Používa sa napríklad v motorčekoch a generátorčekoch v leteckom priemysle, bakelitové kefy v univerzálnych motoroch s nevyškriabanou sľudou.
- inovované kefy – vyrobené z pôvodných materiálov za použitia najmodernejších technológií.
  Inovované kefy majú na nábehovej, alebo odbehovej hrane teflónovú doštičku.

Impregnácia kief využíva veľmi pórovitú štruktúru materiálu kief. Materiál kefy je schopný absorbovať množstvo olejov, voskov a rôznych živíc. Tieto prísady priaznivo ovplyvňujú chovanie kief v určitých podmienkach prevádzky. [1]

Obr. 2.8: Uhlíkové kefy pre komutátory [11]

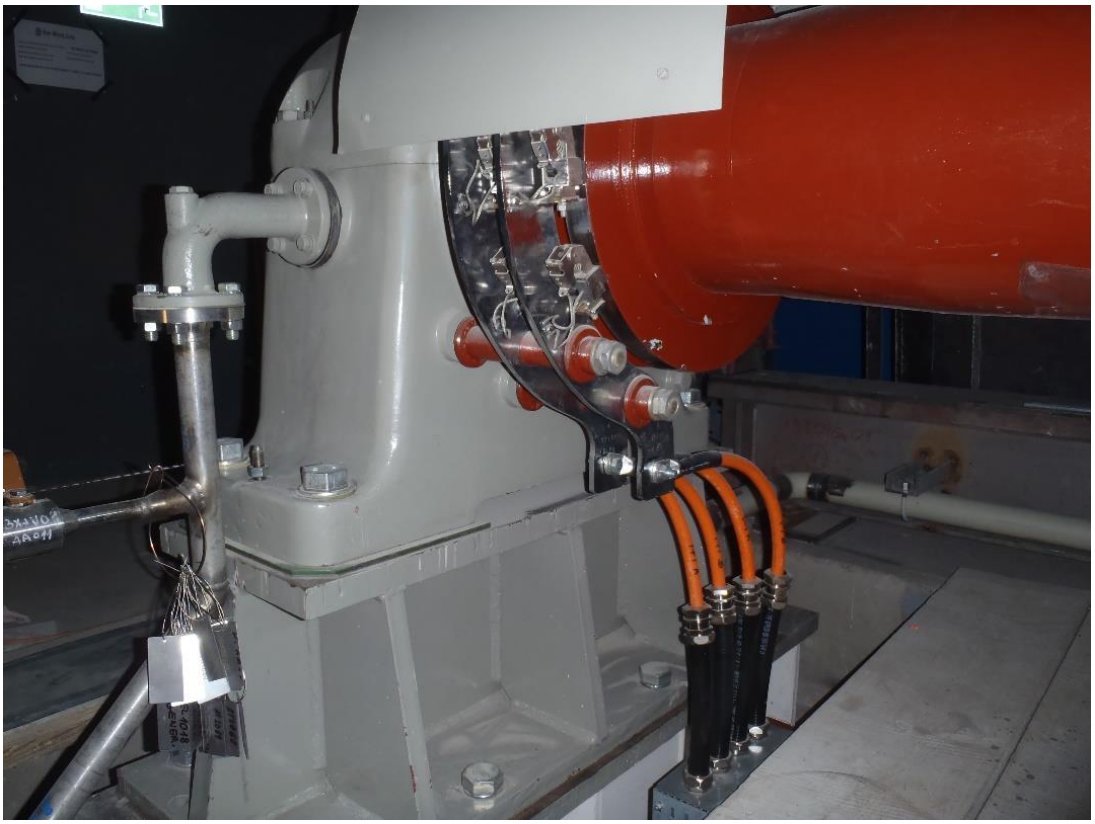


Obr. 2.9: Uhlíkové kefy pre krúžky [11]

2.3.4 Zberacie ústrojenstvo

Dobrú činnosť klzného kontaktu zabezpečuje po mechanickej stránke zberacie ústrojenstvo. Hlavnou časťou zberacieho ústrojenstva sú držiaky kief. Pre správnu činnosť klzného kontaktu musia držiaky kief spĺňať nasledovné kritériá [1]:

- zabezpečiť upevnenie a vedenie kefy,
- zaistiť potrebnú prítlačnú silu pre styk kefy s komutátorom, krúžkom, aby nedochádzalo ku prerušeniu dotyku medzi nimi,
- prítlačnú silu udržiavať konštantnú aj pri opotrebovaní rozmerov kefy,
- miesto pôsobenia prítlačnej sily udržiavať na stálom mieste,
- umožniť pohyb kefy v smere kolmom na styčnú plochu potrebný pre vyrovnanie nerovností komutátora, krúžku,
- tlmiť prípadné vibrácie a nárazy na kefy.



Obr. 2.10: Zberacie ústrojenstvo dieselgenerátora 6kV

3 TURBOALTERNÁTOR 1MKZ31

Na výrobu elektrickej energie sa v atómovej elektrárni používa turboalternátor. Je to synchrónny stroj vyrobený firmou BRUSH SEM s.r.o. s typovým označením 2H 6688/2-VH.

3.1 Technické parametre turboalternátora

Tabuľka 3.1: Technické údaje stroja od výrobcu [2]

Turbogenerátor - technické údaje		
stroj		dvojpólový synchrónny generátor
Typ stroja		2H6688/2-VH
Menovitý zdanlivý výkon		300 000 kVA
Menovitý činný výkon		270 000 kW
Menovitý účinník		0,9
Menovitá frekvencia		50 Hz -3% +2%
Menovité združené napätie statora		15 750 V +- 5%
Menovitý prúd statora		10 997 A
Budiaci prúd rotora		904 - 2616 A *
Budiace napätie rotora		103 - 361 V *
Menovité otáčky		3000 min^{-1}
Trieda izolácie		F
Max. induktívny výkon		215 600 kVAr
Max. kapacitný výkon		130 700 kVAr
Dovolené nesymetrické zaťaženie trvalé		I_2=0,08x I_{1N}
Dovolené nesymetrické zaťaženie prechodné		$(I_2/I_{1N})^2$x t=8 s
Zapojenie vinutia statora		hviezda
Počet vývodov statorového vinutia		6
Činný odpor fázy vinutia statora pri 20 ˚C		0,00144 Ω
Činný odpor vinutia rotora pri 20 ˚C		0,111 Ω
Kapacita fázy vinutia statora $C_{0,2Un}$		0,418 µF
Smer otáčania rotora v smere hod. ruč. pri pohľade od turbíny		vpravo
Hodnota striedavého napätia U_{SK} pre skúšku výdržným napätím		32 500 V
Tlak vodíka		400 kPa abs.
Zberné ústrojenstvo		
Krúžky	výrobný priemer	445 mm
	min. priemer	430 mm
	hĺbka špirálovej drážky (výrobná/minimálna)	10 mm/ 4 mm
Kefy	typ	RGE

	počet na 1 krúžku	32
	rozmer	25 x 32 x 64 mm
Menovitá prúdová hustota		9,4 A/cm^2
Tlak na kefu		20 kPa

*) prvá hodnota platí pre chod naprázdno, druhá pre menovité zaťaženie

3.2 Konštrukčné riešenie stroja

Turbogenerátor je synchrónny dvojpólový stroj s hladkým rotorom. Pri svojej prevádzke používa vodíkové a vodné chladenie. Po mechanickej stránke má vlastné klzné ložiská v štítoch statora. Rotor TG je pevne spojený s rotorom nízkotlakej časti turbíny.

3.2.1 Stator

Magnetický obvod statora je zložený z nízko stratových plechov M270-50A, ktoré sú stiahnuté skrutkami medzi dve nemagnetické dosky. Vnútorná kostra statora je uložená na listových pružinách, tieto zabraňujú prenosu chvenia od rotujúceho magnetického poľa na vonkajšiu konštrukciu.

Diely statora sú utesnené vymeniteľnými gumovými vložkami proti úniku vodíka zo stroja. Skúšku tesnosti s časovou kontrolou poklesu skúšobného tlaku je potrebné vykonať po každej revízii stroja, alebo po dlhšej odstávke stroja pred napúšťaním vodíka. Výrobca požaduje používať dodávané tesniace vložky, ktoré sú dodávané v súprave náhradných dielov. Tým je splnená požiadavka na kvalitu a kontrolu použitých dielov.

Statorové vinutie je dvojvrstvové so skráteným krokom. Tyče statorového vinutia sú z plných a dutých vodičov. Do dutých vodičov je privedený kondenzát cez izolačné teflónové hadice. Tesnosť celého statorového vinutia vrátane priechodiek a rozvodných častí musí byť skúšaná v určených termínoch.

Všetky konštrukčné prvky v čelách vinutí sú z nemagnetických materiálov. Proti uvoľneniu výstuh v čelách vinutí sú výstužné prvky obalené plsťou nasýtenou epoxidovou živicou. Na priebežnú izoláciu tyčí je použitá páska zo skla, sľudového papiera a syntetického pojiva. Ovinutie povrchu tyče polyesterovou páskou slúži ako ochrana proti vplyvom ionizácie. Táto je na povrchu tyče vodivá a na výstupe tyče z drážky je polovodivá s nelineárnou závislosťou odporu na napätí.

Ložiskové panvy a komory rotorových upchávok umiestnené v štítoch na oboch stranách statora sú izolované pomocou sklotextilných vložiek proti ložiskovým prúdom.

Statorové vinutie je plynotesne napojené na zapuzdrené vodiče pomocou kondenzátorových priechodiek.

3.2.2 Rotor

Rotor je vyrobený z chróm-mangánovej ocele. Vinutie rotora má vodiče z elektrolytickej medi legovanej striebrom obdĺžnikového prierezu. Vodiče majú eliptickú dutinu pre chladenie vodíkom. Z jednotlivých polzávitov sú zostavené cievky rotorového vinutia. Jednotlivé polzávity sú spojené bočným spájkovaním na čele cievok, tým je vytvorený priestor na vstup vodíka do vinutia.

Izolácia vinutia je zo skleného laminátu. Rotorové vinutie je napájané z krúžkov. Prepojenie krúžkov s vinutím je cez axiálny vývrt v telese rotora. Prestup medzi rotorovým vinutím nachádzajúcim sa vo vnútri stroja a krúžkami umiestnenými vedľa stroja je utesnený gumovými tesniacimi vložkami.

3.2.3 Zberacie ústrojenstvo

Na napájanie rotorového vinutia z budiacej sústavy sa používa zberacie ústrojenstvo. Zberacie ústrojenstvo je tvorené z nosnej konštrukcie, na ktorej sú umiestnené držiaky kief, samotných kief a rotorových krúžkov.

Nosná konštrukcia tiež zabezpečuje prívod vzduchu k aktívnym plochám krúžkov. Na čape rotora sú umiestnené dva radiálne ventilátory, ktoré zabezpečujú cirkuláciu vzduchu v skrini.

Počet kief, ich typ, rozmer, prúdová hustota a prítlačný tlak sú uvedené v tabuľke č.3.1.

V nasledujúcej tabuľke sú parametre materiálu kief CG 318 z výrobného závodu Elektrokarbon Topoľčany.

Tabuľka 3.2: Katalógové údaje výrobcu pre materiál kief CG 318.

Objemová hustota [g/cm^3]	Merný el. odpor [μΩ.m]	Tvrdosť [-]	Odporúčaná hustota prúdu [A/cm^2]	Obvodová rýchlosť max. [m/s]
1,53	18	93HR 10/20	8	80
Odporúčaný tlak na kefu [kPa]	Celkový úbytok napätia [V]	Súčiniteľ trenia [-]	Obsah kovu [%]	
20-25	3,8	0,40	0,0	

Pre synchrónny turboalternátor sa používajú kefy pre vysoké obvodové rýchlosti. Výrobca udáva priemerné opotrebovanie kief asi 10 mm za 1 mesiac trvalej prevádzky. Prevádzka kontroluje opotrebovanie kief v pravidelných intervaloch pomocou meracej tyčinky a po dosiahnutí medzného opotrebenia kefu vymení. Na obr. 3.1 je kefa RGE z turboalternátora.

Podľa [2] sa musia dodržiavať nasledovné zásady pri uvádzaní TG do prevádzky, alebo pri jeho revíziách, aby sa predišlo zhoršeniu stavu zberacieho ústrojenstva:

- spodná hrana držiakov kief musí byť vzdialená 2 mm od krúžku a os vloženej kefy musí smerovať na os rotora,
- pohyb kief musí byť voľný, pravidelne kontrolovaný, dotyková plocha s krúžkom je po celej ploche kefy, pripojenie laniek je pevné,
- prítlačný tlak kefy je určený systémom držiaka, môže sa len kontrolovať bez možnosti jeho zmeny,
- pri výmene kefy sa prednostne používajú zabrúsené kefy. Na zabrúsenie sa používa kotúč pokrytý brúsnym papierom s rovnakým priemerom ako zberací krúžok. Pri použití nezabrúsených kief na výmenu, je možné vymeniť maximálne 10 % kief na jednom krúžku. Výmena kief za prevádzky TG sa vykonáva podľa prevádzkového predpisu elektrárne,
- pri odstavení budenia na dobu dlhšiu ako 16 hodín, výrobca predpisuje povinnosť vybrať kefy z držiakov,
- pri zastavení rotora TG na dobu dlhšiu ako 48 hodín je potrebné vybrať kefy – týmto sa zabráni vzniku plôšok pod kefami, ktoré vedú ku neokrúhľostiam krúžkov a ich následnému poškodeniu,
- v pravidelných intervaloch je potrebné prepólovať stroj. Výroba navrhuje obdobie prepólovania na 3- 6mesiacov prevádzky,
- počas prevádzky je nutné sledovať čistotu zberacieho ústrojenstva, pretože uhlíkový prach uvoľnený znižuje izolačný stav a môže spôsobiť skrat v obvode rotora. Podľa prevádzkového predpisu je potrebné pri každom odstavení generátora vyčistiť zberacie ústrojenstvo suchým stlačeným vzduchom.

Obr. 3.1: Uhlíková kefa RGE 25x32x64 mm

Parametre generátora sú z výroby nastavené na menovitý výkon. V prípade kief sú tieto navrhnuté na prevádzku s menovitými parametrami. Prúdová hustota kefy sa musí udržiavať v rozsahu 75-125 % menovitej prúdovej hustoty. Zvýšená prúdová hustota kefám nespôsobuje problémy, ale pri znížení prúdovej hustoty pod 75 % dochádza už za 5 hodín ku zníženiu životnosti zberacieho zariadenia.

Pri znížení prúdovej hustoty pod 75 % menovitej sa obtiažne vytvára film na zberacích krúžkoch a môže dôjsť k ich ryhovaniu. Pri poklese prúdovej hustoty pod 60 % sa film na krúžkoch nevytvára vôbec, nastáva veľké trenie, ktoré môže mechanicky poškodiť kefy. Krúžky sa veľmi ryhujú, pretože nemajú ochranný film.

Pri potrebe prevádzky s takto nízko nabudeným strojom je potrebné znížiť počet osadených kief tak, aby sa dosiahla požadovaná prúdová hustota kefy.

Chveniu kief je potrebné tiež venovať pozornosť. Rozoznávame vysokofrekvenčné chvenie kefy spôsobené trením o zberací krúžok ovplyvnené prúdovou hustotou, teplotou a vlhkosťou. Škodlivejšie sú nízkofrekvenčné kmity, ktoré sú vyvolané vibráciami stroja, neokrúhlosťou zberacích krúžkov, alebo malou tuhosťou zberacieho ústrojenstva. Nízkofrekvenčné kmity spôsobujú iskrenie a poruchy kontaktu. Podľa veľkosti iskrenia je nutné rozhodnúť o odstavení stroja z prevádzky, aby sa predišlo poškodeniu zberacích krúžkov.

Najväčšia dovolená neokrúhľosť krúžkov je 0,05mm, potom je nutné sústruženie krúžkov, ale musí zostať zachovaná aspoň 1/3 pôvodnej hĺbky drážky. Povrch krúžku po sústružení nesmie byť lesklý a hladký, stopa po reznom nástroji

má byť viditeľná a hrany drážky sa musia zaobliť o 0,3 mm. Sústruženie sa neodporúča na odstraňovanie rýh na krúžkoch.

3.3 Kontroly a skúšky počas revízie turboalternátora

Pri revíziách turboalternátora sa vykonáva bežná oprava TG, alebo generálna oprava TG. Podľa výrobcu je nutné vykonať každých 12 mesiacov bežnú opravu TG a každých 96 mesiacov generálnu opravu. Podrobný rozsah prác pri jednotlivých typoch opráv je v prílohe č.2.

Počas revízie turboalternátora sa vykonávajú nasledovné kontroly a skúšky:

- kontrola statorového vinutia,
- kontrola a skúška magnetického obvodu,
- tlaková skúška statorového vinutia,
- meranie izolačného odporu vinutia statora a rotora,
- skúška statorového vinutia výdržným napätím,
- kontrola teplotných sond,
- kontrola rotora,
- meranie činného odporu statorového a rotorového vinutia,
- kontrola vzduchovej medzery,
- axiálne presadenie rotora voči statoru,
- kontrola ložísk,
- kontrola chladičov vodíka,
- tesniaca skúška TG a jeho plynového hospodárstva.

3.3.1 Kontrola zberacieho ústrojenstva

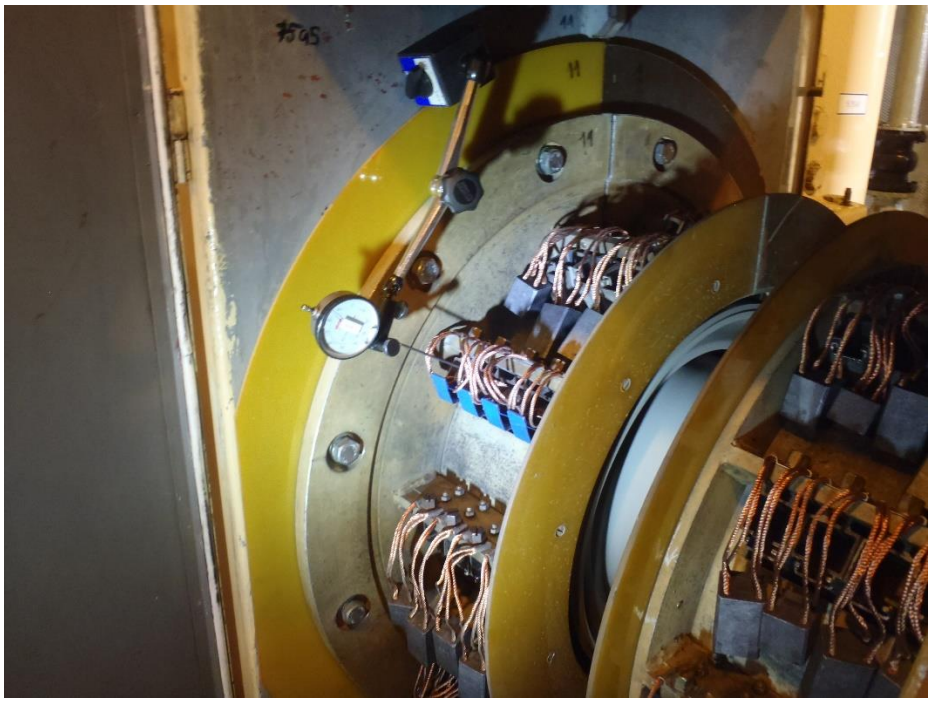
Po odstavení turboalternátora do opravy sa medzi prvými meraniami vykonáva meranie hádzavosti krúžkov rotora turboalternátora. Pre vykonanie merania je nutné zaistenie budenia a zapnuté natáčacie zariadenie, ktoré otáča rotorom otáčkami cca 72 min^{-1}. Meranie sa vykonávalo kontaktným odchýlkomerom M2 TOP značky Käfer.

Parametre prístroja M2 TOP:

- meracia sila cca 1 N,
- nastaviteľné tolerančné značky,
- priemer ciferníka 58 mm,
- plochá zadná strana,
- upnutie ø 8 mm,
- rozlíšenie 0,01 mm,
- ciferník 0-100,

- norma DIN878.

Držiak odchýlkomera bol upevnený pomocou magnetického držiaka na pevnú časť zberacieho ústrojenstva, merací hrot sa postupne prikladal na jednotlivé kefy pomocou kĺbového mechanizmu (obr.3.2, obr3.3).



Obr. 3.2: Meranie hádzavosti krúžkov turboalternátora

Obr. 3.3: Meranie hádzavosti krúžkov, kefa č.1, krúžok1

Pre jednoznačnú identifikáciu krúžkov a kief sa používa číslovanie krúžkov a kief v smere od generátora. Krúžok a kefa bližšie ku generátoru sa označuje číslom 1. Pri meraní sa odčítavajú dve hodnoty zo stupnice meracieho prístroja, hodnoty maximálnej (δ_{max})a minimálnej (δ_{min})výchylky ručičky prístroja. Výsledná hodnota hádzavosti sa následne vypočíta pomocou vzorca:

$$\delta_{Ki} = \frac{\delta_{max} - \delta_{min}}{100} \ , \qquad (3.1)$$

kde δ_{Ki} je hodnota hádzavosti i-tej kefy v mm.
Namerané hodnoty hádzavosti sú v tabuľke č.3.3.

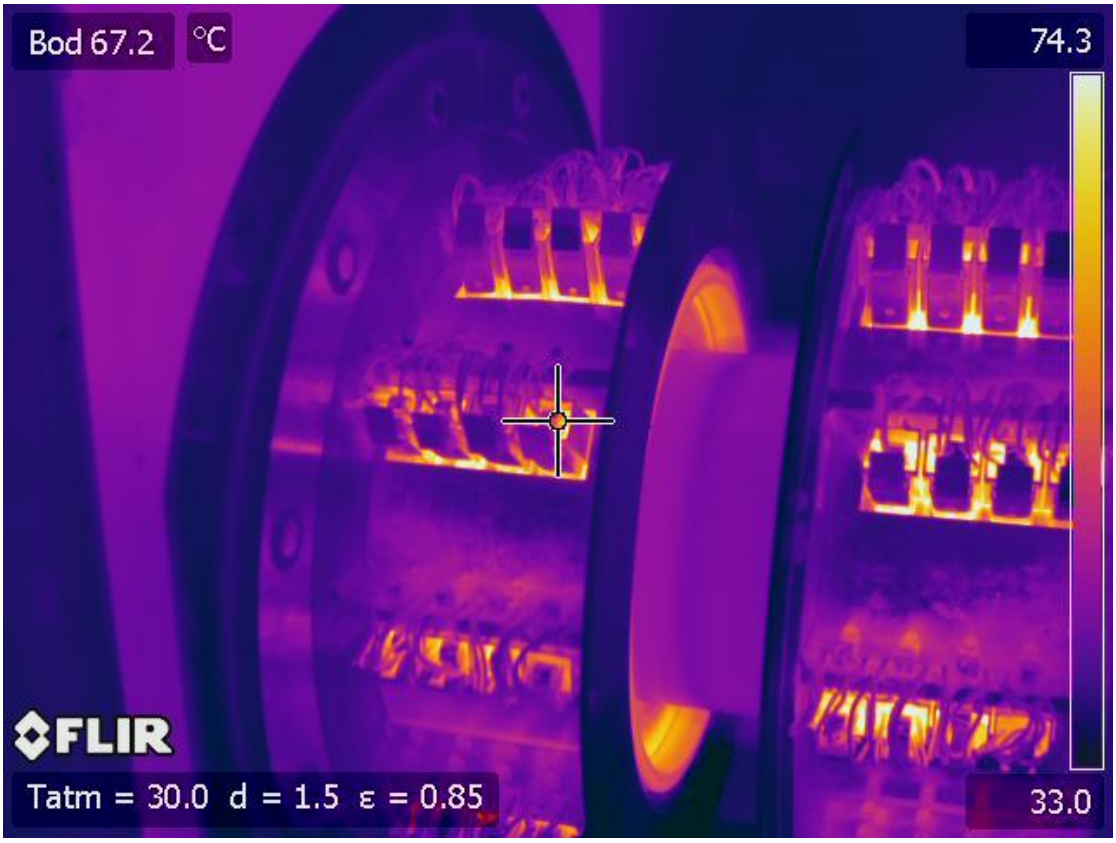
Tabuľka 3.3: Namerané hodnoty hádzavosti krúžkov turboalternátora

Krúžok 1				Krúžok 2			
Kefa č.1 [mm]	Kefa č.2 [mm]	Kefa č.3 [mm]	Kefa č.4 [mm]	Kefa č.1 [mm]	Kefa č.2 [mm]	Kefa č.3 [mm]	Kefa č.4 [mm]
0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,05

Výrobcom predpísaná dovolená hádzavosť krúžkov je 0,05 mm, z nameraných hodnôt je zrejmý vyhovujúci stav meraných krúžkov.

Ďalšou činnosťou pri revízii zberacieho ústrojenstva je odstraňovanie závad zistených pri prevádzke stroja. Zberacie ústrojenstvo je zložitá časť turboalternátora, kde môže dochádzať k poruchám spôsobených zlým kontaktom medzi dvomi časťami elektrického obvodu. Takisto aj teplota kief má vplyv na ich opotrebenie. Minimálne opotrebenie kief a zberných krúžkov je podľa [2] pri teplotách v rozmedzí 60-90 ˚C. Chladné alebo príliš horúce kefy a zberacie krúžky podstatne znižujú životnosť zberacieho ústrojenstva. Teploty hláv kief a laniek majú byť približne rovnaké s maximálnou teplotou 100 ˚C. Zberacie ústrojenstvo môže byť osadené len kefami jednotnej kvality, akákoľvek zmes kief vedie ku havárii zberacích krúžkov[2].

Počas prevádzky sa v pravidelných intervaloch vykonávajú termovízne merania zberacieho ústrojenstva. Pomocou termovíznej kamery je možné včas odhaliť miesta so zvýšenou teplotou, spôsobenou napr. zhoršeným prechodovým odporom medzi jednotlivými časťami ústrojenstva.



Obr. 3.4: Termovízny snímok zberacieho ústrojenstva počas prevádzky na 100% výkone

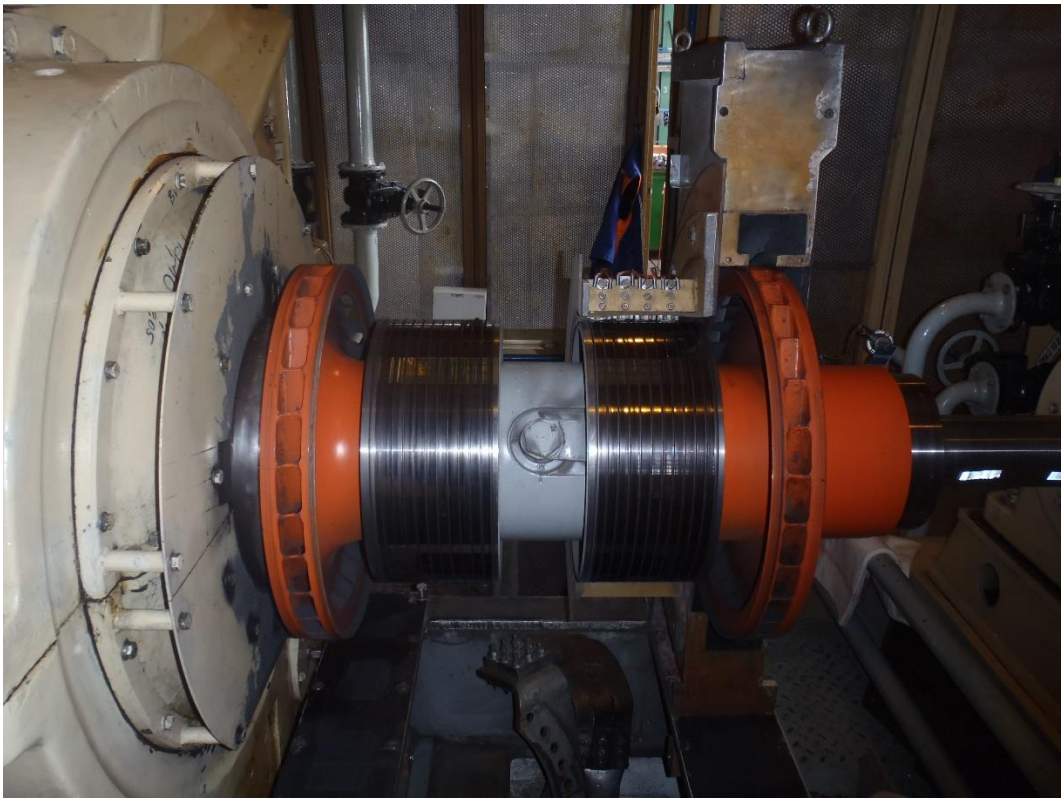
Na obr.3.4 je možno vidieť teplotu jednotlivých kief, krúžkov a ostatných častí zberacieho ústrojenstva. Maximálna teplota na snímke dosiahla74,3 ˚C, teplota označenej kefy bola 67,2 ˚C čo je optimálna teplota podľa [2]. Na tomto termovíznom snímku nie je pozorované žiadne miesto s poruchovým zvýšením teploty.

V ďalšom období opravy turboalternátora bol zmeraný izolačný odpor zberacieho ústrojenstva voči kostre stroja. Pri tomto meraní boli kefy vytiahnuté z držiakov a zabezpečené proti dotyku s kostrou stroja. Prístrojom Metrel MI 3201 bola nameraná hodnota izolačného odporu zberacieho ústrojenstva 2400 MΩ.

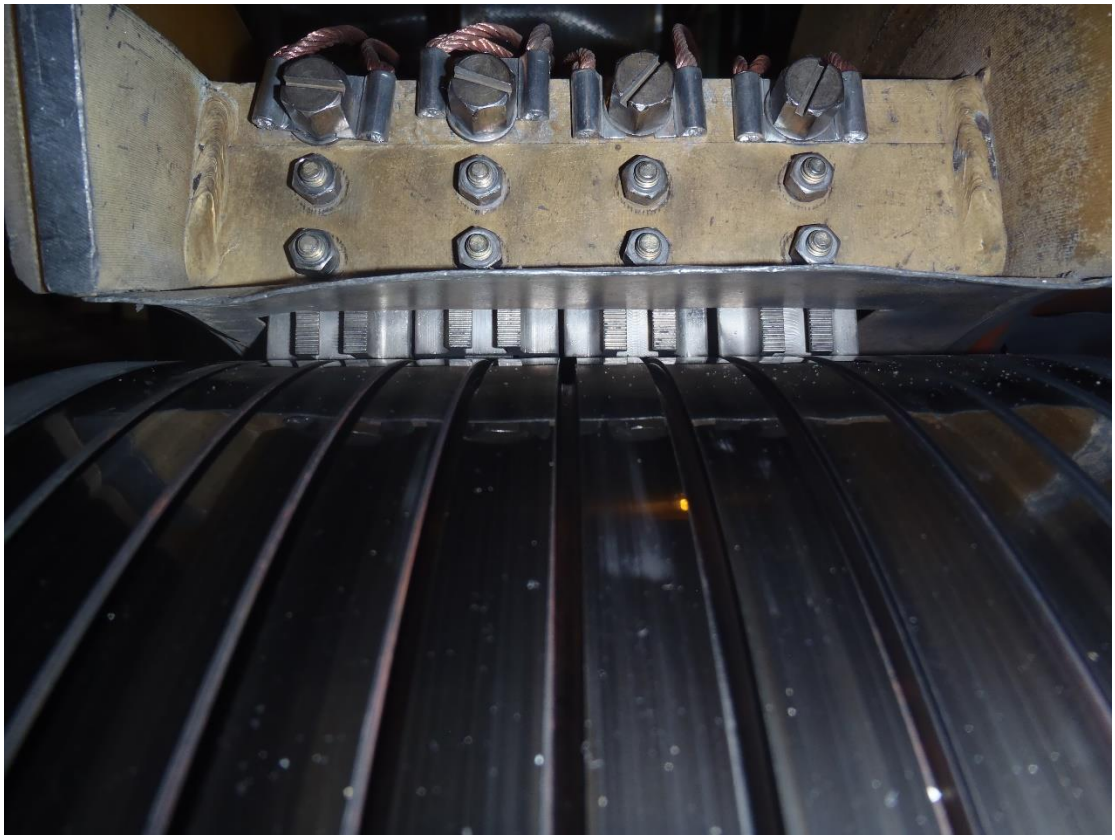
Nasledovalo rozobratie zberacieho ústrojenstva (obr.3.5), jeho vyčistenie a kontrola jednotlivých komponentov. Pri kontrole jednotlivých častí bola zistená poškodené prítlačná pružina jednej kefy (obr.3.7), ktorá bola vymenená za novú.

Spätná montáž zberacieho ústrojenstva prebehla až po zmontovaní turboalternátora. Zmeraný izolačný odpor po montáži bol 5200 MΩ. Ku zlepšeniu izolačného odporu prispelo najmä vyčistenie od grafitového prachu uvoľneného pri prevádzke stroja z kief.

Pracovníkmi údržby bola nadstavená vzdialenosť spodku držiakov kief od zberacích krúžkov na hodnotu 2mm (obr.3.6).



Obr. 3.5: Demontáž zberacieho ústrojenstva



Obr. 3.6: Detail medzery držiakov kief a zberacieho krúžka

Obr. 3.7: Poškodená prítlačná pružina kefy

3.3.2 Meranie izolačného stavu rotorového vinutia

Týmto meraním sa kontroluje stav izolácie rotorového vinutia. Meranie bolo vykonané prístrojom na meranie izolačných odporov značky Metrel MI 3201 Tera Ohm 5kV Plus.

Obr. 3.8: Merací prístroj MI 3201 TeraOhm 5kV Plus [12]

Parametre MI 3201 Tera Ohm 5kV Plus [12]:

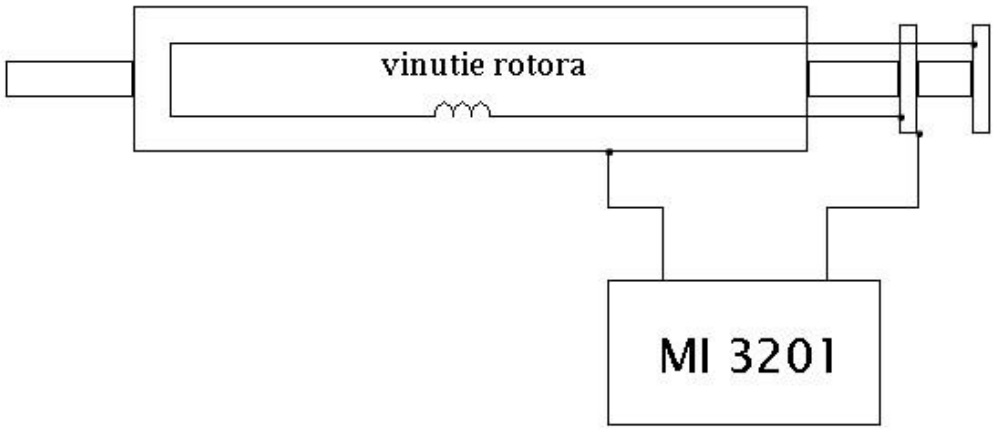
Meranie izolačného odporu	0,12MOhm až 10TOhmn
menovité meracie DC napätia	250V až 5000V, krok 25V
menovitý merací prúd	vačší ako 1mA
skratový prúd	5mA
presnosť	+/-(5% z MH+3dig)
max. výstupný výkon	5W
automatické vybitie po teste	
test skokovým napätím	do 5kV v piatich krokoch
programovateľný časovač	1s až 30min

Princíp merania izolačného odporu spočíva v pripojení meraného zariadenia na zdroj jednosmerného napätia príslušnej veľkosti, pri meraní R_{iz} rotora to bolo 1000V. Merací prístroj odmeria veľkosť prúdu, ktorý preteká meracím obvodom a z jeho veľkosti vypočíta hodnotu izolačného odporu meraného zariadenia.

$$R_{iz} = \frac{U}{I} \qquad [\Omega, V, A] \tag{3.2}$$

kde R_{iz} je izolačný odpor, U je veľkosť jednosmerného napätia a I je prúd pretekajúci meraným obvodom.

Na obr. 3.5 je principiálna schéma pripojenia meracieho prístroja MI 3201 počas merania R_{iz} rotora turboalternátora. Jeden merací hrot je pripojený na krúžok zberacieho ústrojenstva, t.j. na budiace vinutie, druhý na kovové telo rotora. Prúd pretekajúci obvodom je úmerný kvalite izolácie medzi budiacim vinutím a telesom rotora.



Obr. 3.9: Meranie R_{iz} rotora - schéma zapojenia

Namerané hodnoty R_{iz} rotora sú v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 3.4: R_{iz} rotora turboalternátora

Napätie meracieho prístroja [V]	R_{15} [MΩ]	R_{60} [MΩ]	p_i [-]
1000	2420	6330	2,62

Minimálna hodnota izolačného odporu rotora v teplom stave je 5 MΩ, v studenom stave je to 25 MΩ [2]. Z uvedeného je zrejmé, že nameraná hodnota s rezervou vyhovuje.

Polarizačný index sa vypočítal:

$$p_i = \frac{R_{60}}{R_{15}} \ [-] \qquad (3.3)$$

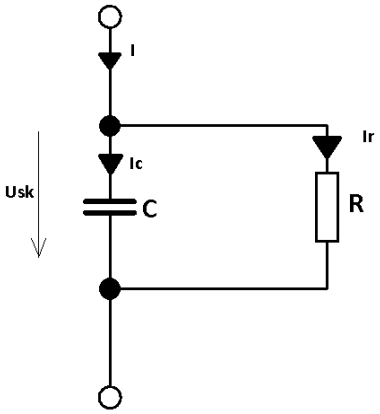
kde R_{60} a R_{15} sú hodnoty izolačných odporov v 60 a 15 sekunde merania. Hodnota polarizačného indexu potvrdzuje suchú izoláciu.

3.3.3 Meranie čiastkových výbojov

Toto meranie sa pri revízii generátorov v našom podniku nevykonáva. Pri meraní s používaným meracím zariadením sa nedarilo eliminovať rušivé vplyvy siete a dochádzalo ku skresleniu nameraných hodnôt. Pre meranie s uspokojivými výsledkami nezaťaženými rušením je potrebné zakúpiť nové moderné meracie vybavenie schopné kvalitnejšie odfiltrovať rušivé vplyvy siete.

3.3.4 Meranie kapacity a stratového činiteľa tgδ

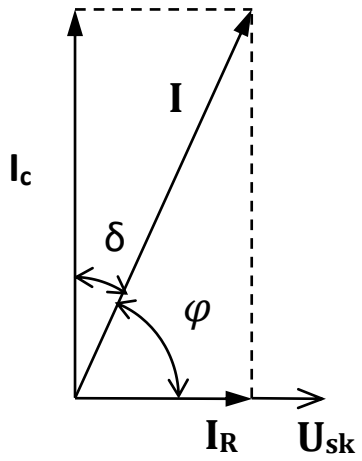
Statorové vinutie je vytvorené z kovovej časti a z izolácie, takže sa chová ako kondenzátor s určitou kapacitou voči zemi. Na obr. 3.10 je náhradná schéma fázy statorového vinutia zobrazená ako reálny kondenzátor. V prípade ideálneho kondenzátora, ktorý má nekonečný odpor izolácie sa po pripojení na striedavé napätie predbieha prúd pred napätím o 90˚. V reálnom prípade každý izolačný materiál obsahuje voľné elektróny, ktoré spôsobujú dielektrické straty. Na fázorovom diagrame reálneho kondenzátora (obr.3.11) vidíme zmenšenie uhla medzi napätím a prúdom o uhol δ, ktorý sa nazýva stratový uhol a jeho tangens, teda tgδ sa nazýva stratový činiteľ. Stratový činiteľ tgδ popisuje dielektrické straty.



Obr. 3.10: Náhradná schéma jednej fázy vinutia statora

$$tg\delta = \frac{I_r}{I_c} = \frac{X_c}{R} = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R} \qquad [-] \qquad (3.4)$$

kde I_c je kapacitná zložka prúdu, I_r odporová (činná) zložka prúdu, C je ideálny kondenzátor, R ideálny rezistor a U_{sk} je skúšobné napätie.



Obr. 3.11: Fázorový diagram reálneho kondenzátora

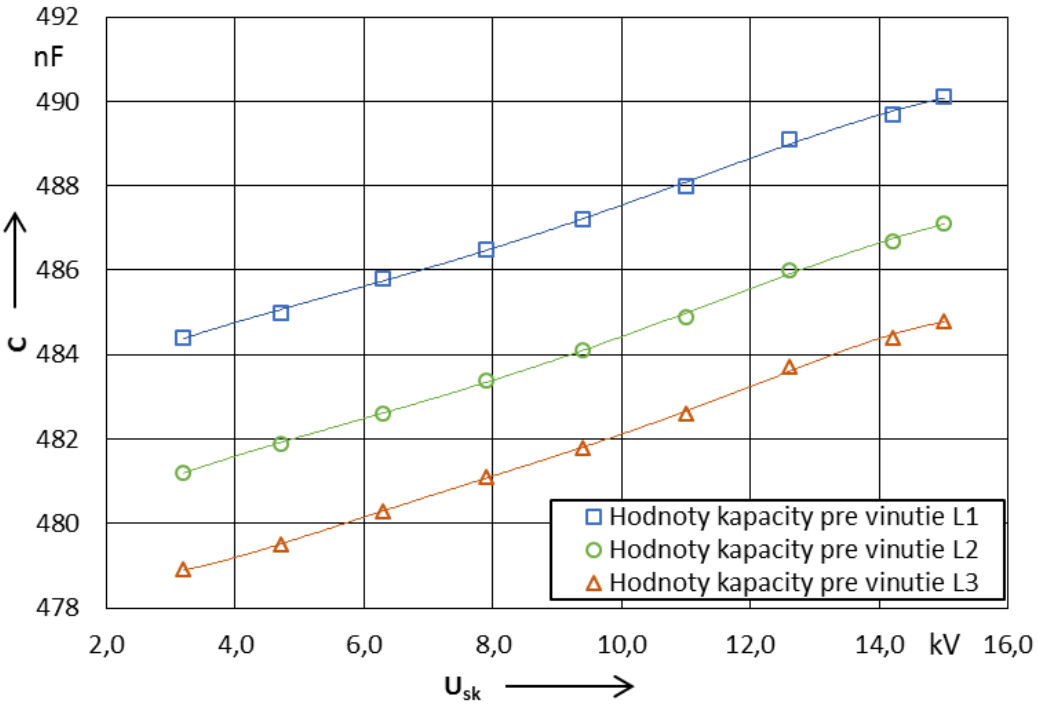
Pred samotným meraním bol generátor odpojený od zapuzdrených vodičov, statorové vinutie bolo zdrenážované a vysušené stlačeným vzduchom. Rotor stroja bol vybratý, nie je to však podmienkou pre meranie tgδ a kapacity statorového vinutia. Teplota meraného vinutia bola 26˚C, čo je v požadovanom rozsahu 5 až 30˚C. Nemerané vinutia boli na vstupe skratované na kostru stroja. Na vstup meraného vinutia bolo pripojené skúšobné napätie o veľkosti 3,2 kV, čo je približne 20% menovitého napätia stroja. Následne bolo skúšobné napätie zvyšované po krokoch (0,1.Un) až na menovitú hodnotu stroja. Meranie bolo vykonávané prístrojom MIDAS 2881G s nasledovnými parametrami [14]:

Výstupné napätie	0 až 15kV,
Výstupný prúd	150 mA trvalo, 350 mA krátkodobo,
Frekvencia	15 až 400 Hz,
Presnosť pri meraní tgδ	+-0,5% rdg+-0,01%,
Presnosť pri meraní kapacity	+-0,2% rdg +-0,2 pF.

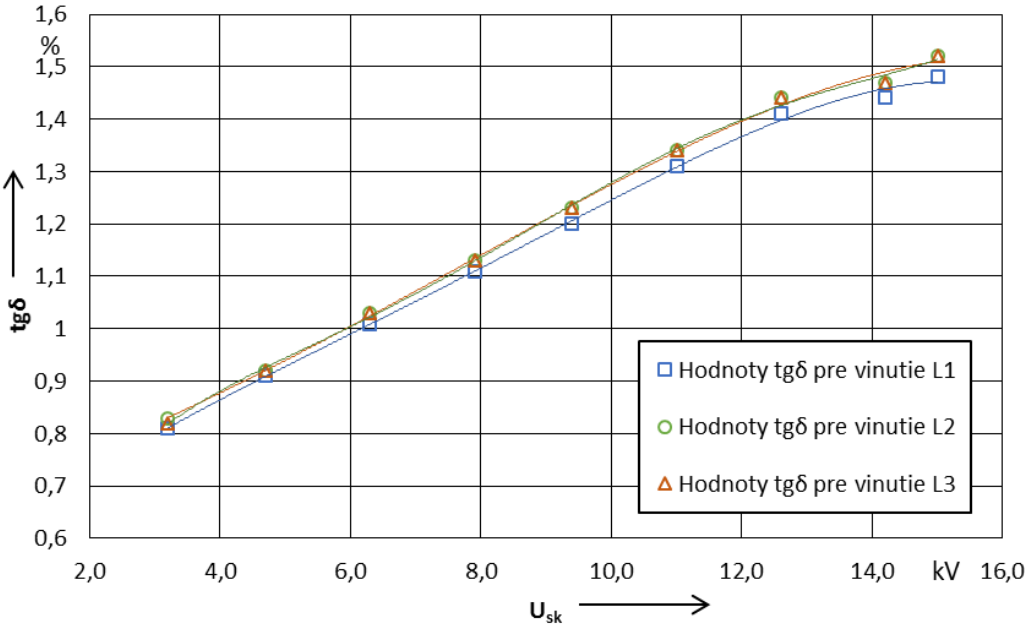
Do tabuľky 3.5 boli zaznamenané hodnoty kapacity a tgδ pre každú napäťovú hladinu a každú fázu vinutia.

Tabuľka 3.5: Namerané hodnoty kapacity a stratového činiteľa

Skúšobné napätie	L1		L2		L3	
Usk [kV]	C [nF]	tgδ [%]	C [nF]	tgδ [%]	C [nF]	tgδ [%]
3,2	484,4	0,81	481,2	0,83	478,9	0,82
4,7	485,0	0,91	481,9	0,92	479,5	0,92
6,3	485,8	1,01	482,6	1,03	480,3	1,03
7,9	486,5	1,11	483,4	1,13	481,1	1,13
9,4	487,2	1,20	484,1	1,23	481,8	1,23
11,0	488,0	1,31	484,9	1,34	482,6	1,34
12,6	489,1	1,41	486,0	1,44	483,7	1,44
14,2	489,7	1,44	486,7	1,47	484,4	1,47
15,0	490,1	1,48	487,1	1,52	484,8	1,52



Graf č. 3.1: Závislosť kapacity na skúšobnom napätí



Graf č. 3.2: Závislosť tgδ na skúšobnom napätí

Podľa podnikových kritérií diagnostických meraní musí byť hodnota tgδ <2%. Z nameraných hodnôt vidno, že táto požiadavka je splnená a meraná izolácia vinutia je v dobrom stave. V porovnaní s predchádzajúcimi nameranými hodnotami je možno zhodnotiť trend vývoja stratového činiteľa a kapacity vinutí ako ustálený.

3.3.5 Meranie izolačného stavu statora

Týmto meraním sa začína každé diagnostické meranie izolácie generátora. Výrobca turboalternátora odporúča vykonať kontrolu izolačného stavu statorového vinutia po troch rokoch od uvedenia stroja do prevádzky a následne pri každej GO. Toto meranie nám udáva stav izolácie statorového vinutia. Meria sa odpor každej fázy voči kostre statora, pričom nemerané fázy sú vodivo spojené s kostrou statora. Nameraná hodnota musí spĺňať nasledovný vzťah[2]:

$$R_{iz} \geq \frac{U_z}{\frac{S}{100} + 1000} \quad [\mathrm{M\Omega, V, kVA}] \qquad (3.5)$$

kde U_z je združené napätie statora a S je menovitý zdanlivý výkon stroja.

Pri studenom turboalternátore musí byť R_{iz} 5 krát väčší ako pri teplom turboalternátore.

Meranie izolačného odporu statorového vinutia sa vykonáva po dobu 10 minút. Zo zaznamenaných hodnôt R_{iz} v čase t_1=60s a t_2=600s sa vypočíta desať

minútový polarizačný index. Polarizačný index určuje vlhkosť a kvalitu izolácie a vypočíta sa podľa:

$$p_{i10} = \frac{R_{iz600}}{R_{iz60}} \ [-, \mathrm{M\Omega}, \mathrm{M\Omega}] \qquad (3.6)$$

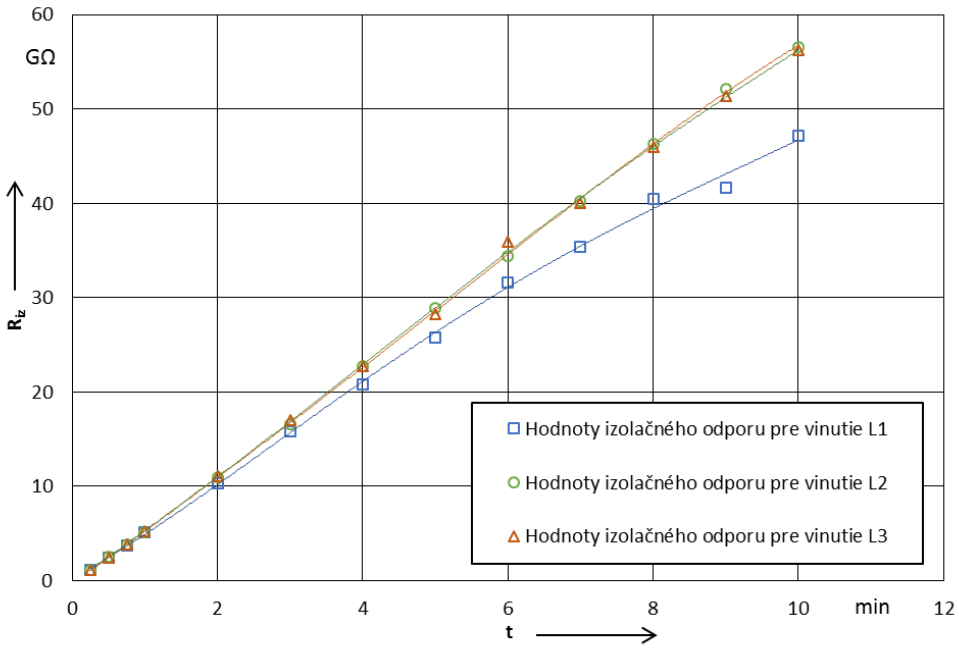
Hraničné hodnoty polarizačného indexu p_{i10} [2]:

- $p_{i10} < 1{,}5$ – *izolácia je veľmi vlhká,*
- $1{,}5 \leq p_{i10} \leq 2{,}5$ – *izolácia je vlhká, prípadne poškodená,*
- $p_{i10} > 2{,}5$ – *izolácia je suchá a čistá.*

Meranie izolačného stavu statorového vinutia pred napäťovou skúškou bolo vykonané pomocou meracieho prístroja MEGGER SI-1568.

Tabuľka 3.6: Namerané hodnoty R_{iz} statorového vinutia pred napäťovou skúškou

Skúšobné napätie U_{SK} [kV]: 5,0								
Fáza	R_{15} [GΩ]	R_{30} [GΩ]	R_{45} [GΩ]	R_{60} [GΩ]	R_{120} [GΩ]	R_{180} [GΩ]	R_{240} [GΩ]	R_{300} [GΩ]
L1	1,125	2,480	3,700	5,090	10,350	15,780	20,800	25,800
L2	1,109	2,490	3,800	5,180	10,960	16,540	22,800	28,900
L3	1,179	2,470	3,840	5,230	11,110	17,010	22,800	28,300
Fáza	R_{360} [GΩ]	R_{420} [GΩ]	R_{480} [GΩ]	R_{540} [GΩ]	R_{600} [GΩ]		p_{i1} [-]	p_{i10} [-]
L1	31,600	35,400	40,500	41,700	47,200		4,52	9,27
L2	34,400	40,200	46,300	52,100	56,600		4,67	10,93
L3	35,900	40,000	46,000	51,400	56,200		4,44	10,75



Graf č. 3.3: Izolačný odpor statora pred napäťovou skúškou

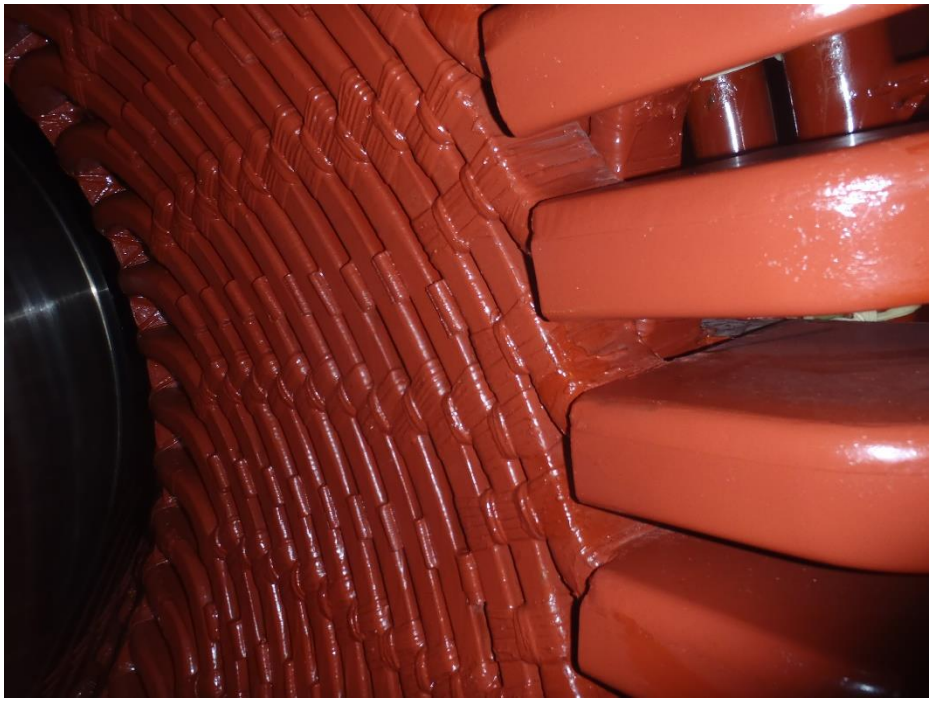
Po napäťovej skúške bol opätovne odmeraný izolačný stav statorového vinutia, hodnoty sú uvedené v tabuľke 3.7.

Tabuľka 3.7: Namerané hodnoty R_{iz} statorového vinutia po napäťovej skúške

Skúšobné napätie U_{SK} [kV]: 5,0				
Fáza	R_{15} [GΩ]	R_{60} [GΩ]		p_{i60} [-]
L1	1,136	5,100		4,49
L2	1,124	5,230		4,65
L3	1,141	5,210		4,57

3.3.6 Kontrola stavu výstuh v čelných partiách

Vizuálna kontrola čiel vinutia odhalí prípadné praskliny v zalakovanej časti. Tieto môžu byť spôsobené uvoľnením rozperiek, poškodením bandáže s následným vibrovaním niektorej tyče vinutia. K poškodeniu čiel vinutí dochádza aj v prípade skratov pri prevádzke turboalternátora, alebo pri nesprávnom fázovaní z dôvodu veľkých prúdových zmien.

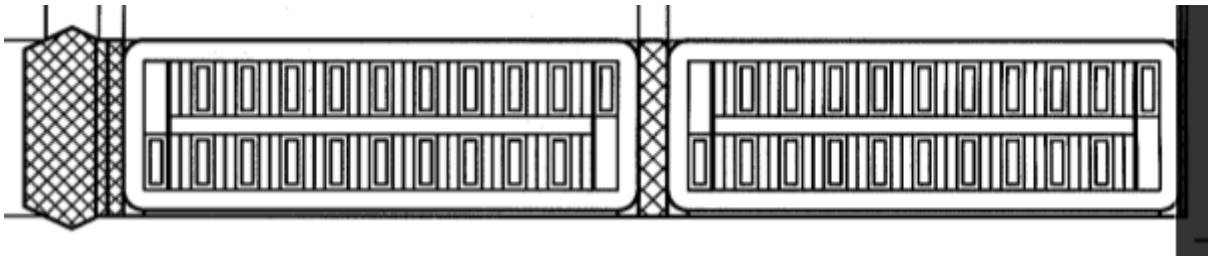


Obr. 3.12: Čelo vinutia - detail rozperiek a bandážovania vinutia

Kontrola stavu výstuh v čelných partiách vinutia bola vyhodnotená ako vyhovujúca, nebolo zistené poškodenie kontrolovaných častí.

3.3.7 Kontrola tuhosti drážkových klinov

V drážkach statora je uložené vinutie zložené z medených tyčí. V jednej drážke sú dve tyče, ktoré sú odizolované navzájom aj od statorových plechov (obr.3.13). Na jednotlivé tyče pôsobia pri prevádzke stroja sily, ktoré majú za následok ich vzájomný pohyb v drážke. Tento pohyb je nežiadúci, pretože môže spôsobiť poškodenie izolácie jednotlivých tyčí vinutia. Pri posunutí tyče vznikne vzduchová medzera, v ktorej sa podobne ako v kondenzátore nahromadí el. náboj. Po zmenšení medzery dochádza k uvoľneniu náboja formou čiastkového výboja, takto sa poškodzuje polovodičová vrstva na povrchu tyče. Na zamedzenie pohybu sú drážky uzavreté klinmi, ktorých úlohou je fixovať vinutie v drážkach. Pod klinom sa nachádza vlnovec. Posunutím klinu sa určuje prítlačná sila na vinutie v drážke.



Obr. 3.13: Znázornenie uloženia statorového vinutia v drážke

V minulosti vykonávali špecialisti dodávateľa turboalternátora kontrolu tuhosti klinov v drážkach poklepom kladivkom na jednotlivé kliny, dnes sa do popredia dostáva digitálna metóda kontroly tuhosti klinov. Pri kontrole použili špecialisti z výrobného závodu prístroj Equotip SVP 40 od firmy Proceq (obr. 3.14).

Obr. 3.14: Prístroj na meranie tuhosti klinov v drážkach statora [13]

V meracej sonde sa nachádza guľôčka, ktorá sa vystrelí na meraný klin. Na základe odozvy prístroj vyhodnotí predpätie klinu po predchádzajúcom nakalibrovaní vo výrobnom závode. Výsledok zobrazí v grafickej aj číselnej hodnote.

Statorové vinutie je uložené v 60 drážkach, každá drážka je zaklinovaná 22 klinmi. Meranie sa vykonávalo na troch miestach každého klinu a z týchto hodnôt bola vypočítaná výsledná hodnota tuhosti pre daný klin.

Porovnaním nameraných hodnôt s limitnými hodnotami výrobcu je potvrdené správne zaklinovanie vinutia v drážkach a nie je potrebné upraviť tuhosti jednotlivých klinov. Vyhovujúci stav tuhosti drážkových klinov bol potvrdený zápisom z nálezu merania na generátore a budiči EMO TG12, ktorý je v prílohe č.3.

3.3.8 Skúška elektrickej odolnosti priloženým napätím

Skúška elektrickej odolnosti priloženým napätím – napäťová skúška, sa vykonáva počas GO, keď je rotor turboalternátora vytiahnutý von zo statora. Napäťová skúška sa robí na každej priechodke, alebo na kompletnom statorovom vinutí. Na zdroj vysokého napätia sa pripojí jedna fáza vinutia, ostatné dve sú spojené so zemou. Veľkosť jednosmerného napätia určil pracovník z výrobného závodu stroja. Zariadenie vyhovie napäťovej skúške, ak po dobu skúšky (1 min) nepríde k prierazu izolácie. Na konci skúšky sa odčítajú hodnoty prúdu medzi meranou fázou a kostrou zariadenia. Táto skúška patrí medzi deštruktívne skúšky. Po každom meraní je nutné vybiť náboj z meraného obvodu. Najskôr sa vybíjacou tyčou vybije náboj vn zdroja, potom sa pripoja všetky fázy vinutia na zem po dobu min. 10 min.

Na napäťovú skúšku statora bol použitý vn zdroj BAUR PGK 80. Teplota okolia počas skúšky bola 22˚C, relatívna vlhkosť vzduchu počas merania bola 43%.

Tabuľka 3.8: Namerané hodnoty prúdov na konci napäťovej skúšky statorového vinutia.

Skúšobné napätie U_{sk} [kV]: 40,1	Doba priloženia U_{sk} [min]: 1,0
Fáza	Prúd I_{60} [μA]
L1	5,4
L2	6,2
L3	7,0

Skúška elektrickej odolnosti statora turboalternátora priloženým napätím bola vyhodnotená ako úspešná, počas skúšky v trvaní 1 minúty neprišlo k prierazu elektrickej izolácie.

3.3.9 Kontrola elektrických priechodiek

Počas GO turboalternátora boli zo stroja vymontované kondenzátorové priechodky, ktoré umožňujú napojenie koncov statorového vinutia na zapuzdrené vodiče cez telo statora. Okrem elektrickej izolácie plnia aj tesnostnú funkciu, nakoľko stroj je chladený počas prevádzky vodíkom. Samotné priechodky sú chladené statorovou vodou. Na všetkých priechodkách (celkovo ich je šesť) bola vykonaná skúška elektrickej odolnosti priloženým napätím. Pred a po tejto skúške bol zmeraný izolačný odpor všetkých priechodiek. Skúšobné napätie bolo určené technikom z výrobného závodu na hodnotu U_{sk}= 80kV. Na konci skúšok boli zaznamenané hodnoty prúdov. Namerané hodnoty sú zaznamenané v nasledujúcich tabuľkách. Boli použité meracie prístroje MEGGER S1-1568 a VN zdroj BAUR PGK80.

Tabuľka 3.9: Namerané hodnoty R_{iz} priechodiek pred a po napäťovej skúške.

		Meranie pred NS			Meranie po NS		
číslo priechodky	vinutie fázy	R_{15} [MΩ]	R_{60} [MΩ]	p_i	R_{15} [MΩ]	R_{60} [MΩ]	p_i
1	L1	1000000	3660000	3,66	900000	3770000	4,19
2	L1	600000	3650000	6,08	700000	3520000	5,03
3	L2	1000000	4000000	4,00	800000	2650000	3,31
4	L2	600000	3700000	6,17	700000	4540000	6,49
5	L3	900000	2870000	3,19	700000	2810000	4,01
6	L3	750000	5960000	7,95	700000	5060000	7,23

Tabuľka 3.10: Namerané hodnoty prúdov na konci napäťových skúšok priechodiek

Skúšobné napätie U_{sk} [kV]: 80,0		Doba priloženia U_{sk} [min]: 1,0
Číslo priechodky	Fáza	Prúd I_{60} [μA]
1	L1	0,260
2	L1	18,000
3	L2	25,000
4	L2	0,400
5	L3	4,400
6	L3	5,600

Všetky priechodky vyhoveli skúške odolnosti priloženým napätím.

3.3.10 Meranie činného odporu vinutia statora

Meranie sa vykonáva priamo na svorkách vinutia pri stojacom stroji. Merané vinutie sa napája jednosmerným prúdom, hodnoty prúdu a napätia sa merajú presnými

prístrojmi. Z nameraných hodnôt sa vypočíta činný odpor vinutia. Zaznamená sa teplota vinutia pri meraní. Odpor vinutia sa prepočíta na teplotu 20 ˚C podľa vzťahu:

$$\rho_{20} = \rho \cdot \frac{235 + 20}{235 + T} \ [\Omega, \Omega, ^{\circ}C] \qquad (3.7)$$

Kde: ρ_{20}-odpor vinutia pri 20˚C,
ρ – nameraný odpor vinutia,
T – teplota vinutia pri meraní.

Tabuľka 3.11: Namerané a prepočítané hodnoty činného odporu statorového vinutia

Namerané hodnoty činného odporu vinutia		
Teplota vinutia počas merania [˚C] : 26		
L1 [mΩ]	L2 [mΩ]	L3 [mΩ]
1,428	1,415	1,413
Prepočítané hodnoty činného odporu vinutia na teplotu 20˚C		
L1 [mΩ]	L2 [mΩ]	L3 [mΩ]
1,395	1,382	1,381

4 ZÁVER

Životnosť každého stroja je ovplyvnená mnohými faktormi. Už samotný návrh je veľmi dôležitý, je potrebné zohľadniť možné cudzie vplyvy, ktoré môžu pôsobiť na tento stroj počas jeho „života“. Jedným z najdôležitejších faktorov rozhodujúcich o dobe bezporuchovej prevádzky elektrického stroja je kvalita izolácie použitej na oddelenie elektrických častí od ostatných častí stroja. Stav a kvalita izolačných materiálov rozhoduje o dĺžke bezpečnej prevádzky stroja. Výrobcovia elektrických strojov predpisujú rozsah a termíny vykonania revízií pre jednotlivé zariadenia. Dodržiavaním týchto termínov a prác popísaných v manuáloch sa zabezpečuje optimálna starostlivosť o prevádzkované zariadenia. Zároveň sa vypracováva archív dôležitých parametrov, z ktorých je možné sledovať degradáciu jednotlivých častí stroja. Na základe trendu sledovaných parametrov je možné s určitou pravdepodobnosťou určiť dobu bezporuchovej prevádzky, prípadne naplánovať údržbársky zásah na konkrétnej časti zariadenia.

Pri porovnaní nákladov na údržbu zariadenia a cenou nového zariadenia, ktorým je v prípade mojej bakalárskej práce turboalternátor s výkonom 300 MVA je jasná dôležitosť kvalitnej starostlivosti o takéto zariadenie.

V teoretickej časti popisujem jednotlivé stroje používajúce klzný kontakt. Je to časť elektrického stroja, kde sa spája elektrický obvod medzi rotujúcou a statickou časťou stroja. Toto je samozrejme len základný pohľad na klzný kontakt. Pri bližšom pohľade na kontakt kefa krúžok sa vynára oveľa širšia problematika kvality klzného kontaktu. Tento klzný kontakt je namáhaný nielen mechanicky v podobe trenia a stým spôsobeného opotrebenia, ktoré poznáme azda všetci, ale je vystavený účinkom teploty, chemických procesov, rôznym druhom chvenia a v neposlednom rade aj prechod prúdu má veľmi významnú úlohu pri hodnotení jeho kvality. Správne zohľadnenia a nastavenie týchto vplyvov je dôležité pre správnu činnosť klzného kontaktu.

V praktickej časti som spolupracoval s pracovníkmi údržby a diagnostiky pri vykonávaní revízie turoalternátora 1MKZ31 v atómovej elektrárni v Mochovciach počas odstávky reaktora 1. bloku. Počas doby vyhradenej na odstávku sme vykonali všetky popisované merania a na základe údajov z minulých odstávok sme zhodnotili trend vývoja stavu jednotlivých častí stroja. Tento trend bol vyhodnotený ako ustálený.

Revízny technik na základe vykonaných meraní vystavil správu o pravidelnej odbornej prehliadke a odbornej skúške elektrického zariadenia (revíznu správu) s posudkom: elektrické zariadenie je z hľadiska bezpečnosti schopné prevádzky v zmysle STN 33 1500.

Cieľom mojej bakalárskej práce bolo vyhľadanie problémov v časti zberacieho ústrojenstva stroja a návrh prípadných zlepšení. Štúdiom použitého zberacieho ústrojenstva a jeho jednotlivých komponentov boli zistené výborné parametre klzného kontaktu. Tento výborný stav je daný dlhoročnými skúsenosťami s týmto typom zberacieho ústrojenstva. V minulosti sa vyskytovali problémy s kvalitou kief a ich príliš rýchlym opotrebovaním. V terajšej dobe je tento problém odstránený v spolupráci s dodávateľom kief boli objednané a dodané kefy s vyhovujúcimi parametrami. V období posledných desať rokov sa nevyskytli žiadne problémy so zberacím ústrojenstvom u turboalternátorov takéhoto výkonu v našej spoločnosti. Toto je odmena za kvalitnú starostlivosť o zberacie ústrojenstvo počas prevádzky a údržby.

Na niektorých turboalternátoroch (mimo závodu v Mochovciach) bol namontovaný online monitoring zberacieho ústrojenstva, ktorý uľahčuje sledovanie stavu kief z hľadiska prúdového zaťaženia. Systém sleduje prúdové zaťaženie jednotlivých kief v reálnom čase a v prípade dosiahnutia limitnej hodnoty zobrazí výstrahu.

Literatúra

[1] CHMELÍK, K., VESELKA,F. *Kluzný kontakt v elektrických strojích*. Ostrava: Key Publishing, 2007. ISBN 9788087071595.
[2] KREMSA, P., ed. *Predpis pre prevádzku a údržbu generátoru TG31&TG32(LOT1&LOT2)*. Slovenské elektrárne, 2012. PNM 34136160.
[3] STN 33 1500. *Revize elektrických zařízení*. Praha: Vydavatelství norem Praha, 1960, 12 s.
[4] STN 33 2000-4-41. *Elektrické inštalácie nízkeho napätia: Časť 4-41: Zaistenie bezpečnosti Ochrana pred zásahom elelktrickým prúdom*. Bratislava: Slovenský ústav technickej normalizácie, 2007, 52 s.
[5] STN 33 2000-6. *Elektrické inštalácie nízkeho napätia: Časť 6: Revízia*. Bratislava: Slovenský ústav technickej normalizácie, 2007, 44 s.
[6] VESELKA, F., HUZLÍK,R. *Inspekční a revizní činnost*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 9788072045686.
[7] ZÁSKALICKÝ, P. *Elektrické stroje*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2015, 135 s. ISBN 978-80-553-2117-2.
[8] Transport nového *statora turbogenerátora TG 22 v Jaslovských Bohuniciach. In: Javys.sk [online].*
[cit. 2016-12-27]. Dostupné z: http://www.javys.sk/sk/informacny-servis/energeticky-slovnik/S/stator
[9] Rotor 1 fázového asynchrónneho stroja s komutátorom. In: *Sopo.cz* [online]. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: http://sopo.cz/produkty-sluzby/fotogalerie
[10]Komutátor s 12 lamelami. In: *Komutex.cz* [online]. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: http://ww.komutex.cz/foto/12.jpg
[11] Uhlíkové kefy. In: *Carbonsmay.cz* [online]. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: http://www.carbonsmay.cz/products-materials/sliding-contacts/carbon-brushes/?lang=CS
[12] Merací prístroj MI 3201. In: *Meratest.sk* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: http://meratest.sk/5000-v/1202-mi-3201-teraohm-5kv-plus-merac-izolacneho-odporu.html
[13] Merací prístroj Equotip SVP 40. In: *Proceq.com* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: https://www.proceq.com/fileadmin/_processed_/d/3/csm_Proceq_Equotip_550_Leeb_Hardness_Application_01_fa39eeb936.jpg
[14] Merací prístroj MIDAS 2881G. In: *Haefely-hipotronics.com* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: http://www.haefely-hipotronics.com/wp-content/uploads/2016/06/MIDAS-2881.pdf

Zoznam symbolov, veličín a skratiek

BO	-	bežná oprava
CENELEC	-	Európsky výbor pre normalizáciu v elektrotechnike
EMO	-	Elektráreň Mochovce
GO	-	generálna oprava
HD	-	harmonizačný dokument
HVB	-	hlavný výrobný blok
js.	-	jednosmerný(-é)
N	-	pracovný vodič
nn	-	nízke napätie
PE	-	ochranný vodič
PEN	-	vodič plniaci ochrannú aj pracovnú funkciu
R_{iz}	-	izolačný odpor
STN	-	Slovenská technická norma
TG	-	turbogenerátor
vn	-	vysoké napätie
Z.z.	-	zbierka zákonov

Zoznam príloh

Príloha č. 1 Lehoty pravidelných revízií podľa STN 33 1500
Príloha č. 2 Zoznam hlavných činností pri BO a GO
Príloha č. 3 Zápis z nálezu a merania na generátore a budiči EMO TG12
Príloha č. 4 Revízna správa turboalternátora 1MKZ31

Príloha č. 1 Lehoty pravidelných revízií podľa STN 33 1500

Tabuľka 4.1: Lehoty pravidelných revízií elektrických inštalácií a zariadení na ochranu pred účinkami statickej elektriny podľa vonkajších vplyvov určených na základe STN 33 2000-5-51 [3]

Kate-gória	Povaha	Lehoty pravidelných revízií podľa vonkajších vplyvov v rokoch								
		Trieda								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	AA Teplota okolia	3	3	33	5	5	3	3	3	
	AB Teplota a vlhkosť	3	3	3	5	5	3	3	3	
	AC Nadmorská výška	5	3							
	AD Voda	5	5	1[e)]	1[e)]	1	1	1		
	AE Cudzie pevné telesá	5	3	5	5	3	3			
	AF Korózia	5	4	3	1					
	AG Nárazy, otrasy	5	5	2						
	AH Vibrácie	5	5	2						
	AJ Iné mechanické namáhania	Pripravuje sa								
	AK Rastlinstvo alebo plesne	5	3							
	AL Živočíchy	5	3							
	AM Elmag. Elstat. A ioniz. Účinky	5	5 (pre všetky triedy)							
	AN Slnečné žiarenie	5	5	4						
	AP Seizmicita	5	5	[a)]	[a)]					
	AQ Blesk	5[b)]	5[b)]	5[b)]						
	AR Pohyb vzduchu	5	5	5						
	AS Vietor	5	5	4						
	AT Snehová pokrývka	5	4	4						
	AU Námraza	5	4	4	4	4	4	4	4	4
B	BA Spôsobilosť osôb	5	4	5	5	5				
	BB Odpor tela	5	5	3						
	BC Dotyk so zemou	5	5	4	1					
	BD Únik	5	4	2	2					
	BE Spracúvané/skladované látky	5	2[c)]	2[d)]	5					
C	CA Stavebné materiály	5	2							
	CB Konštrukcia stavby	5	2	2	2					

Legenda:

[a)] V SR sa triedy AP3 a AP4 nevyskytujú

[b)] Týka sa elektrických inštalácií a zariadení na ochranu pred účinkami statickej elektriny. Požiadavky na revízie zariadení na ochranu pred bleskom stanovuje STN EN 62305-3 (341390).

[c)] Platí pre triedy BE2-N1 až BE2-N3

[d)] Platí pre triedy BE2-N1 až BE2-N3

[e)] Ak je výskyt vody len vo forme dažďa, lehota pravidelnej revízie je 4 roky.

Poznámka - Triedy so zvýšeným tmavým pozadím sa považujú za triedy normálnych vonkajších vplyvov podľa STN 33 2000-5-51.

Tabuľka 4.2: Lehoty pravidelných revízií existujúcich elektrických inštalácií a zariadení na ochranu pred účinkami statickej elektriny podľa druhu prostredia určeného na základe STN 33 0300:1988 a STN 33 0300:2001 [3]

Druh objektu a zariadenia	Lehota v rokoch
Elektrické inštalácie:	
murované obytné a kancelárske budovy	5[a),b)]
školy, materské školy, jesle, hotely a iné ubytovacie zariadenia, rekreačné strediská a pod.	3
objekty a priestory určené na zhromažďovanie viac ako 250 osôb (napr. kultúrne a športové zariadenia, hypermarkety, obchodné domy, stanice hromadnej dopravy), výškové budovy	2
objekty zhotovené z horľavých materiálov so stupňom horľavosti C1, C2, C3[c)]	2
pojazdné a prevozné prostriedky [d)]	1
dočasné elektrické inštalácie [e)]	0,5
Zariadenia na ochranu pred účinkami statickej elektriny:	
objekty a priestory s nebezpečenstvom výbuchu alebo požiaru	2
ostatné objekty	5

Legenda
[a)] Nevzťahuje sa na bytové priestory aprísluženstvo bytu.
[b)] Pozri aj STN ES 59009 (331620).
[c)] Stupne horľavosti podľa STN 73 0823.
[d)] Za pojazdný a prevozný prostriedok sapovažujú elektrické zariadenia podľa STN 33 2000-7-754, STN 34 1330 a niektoré ďalšie prostriedky, napr. pojazdné a prevozné miešačky, dopravníkové pásy a pod.
[e)] Napr. podľa STN 33 2000-7-74, STN 33 2000-7-711.

Tabuľka 4.3: Lehoty pravidelných revízií existujúcich elektrických inštalácií a zariadení na ochranu pred účinkami statickej elektriny podľa druhu prostredia určeného na základe STN 33 0300:1988 a STN 33 0300:2001 [3]

Druh prostredia	Lehota v rokoch
základné	5
normálne	5
studené	3
horúce	3
vlhké	3
mokré	1
so zvýšenou koróznou agresivitou	3
s extrémnou koróznou agresivitou	1
prašné s nehorľavým prachom	3
s otrasmi	2
s biologickými škodcami	3
pasívne s nebezpečenstvom požiaru	2
pasívne s nebezpečenstvom výbuchu	2
vonkajšie	4
pod prístreškom	4

Príloha č. 2 Zoznam hlavných činností pri BO a GO

Tabuľka 4.4: Zoznam hlavných činností pri BO a GO TG

	Druh opravy	
	BO	GO
Kostra a plechy statora		
Demontáž štítov a ložísk		x
Demontáž chladičov, kontrola stavu, čistenie, výmena tesnenia, tlaková skúška		x
Kontrola ventilačných ciest v plášti statora		x
Prehliadka všetkých prístupných priestorov		x
Kontrola stavu magnetického obvodu		x
Kontrola ventilačných kanálov magnetického obvodu		x
Kontrola teplomerných sond (vinutie, železo, chladiaci vodík)	x	x
Kontrola vzduchovej medzery medzi statorom a rotorom		x
Odstránenie zistených chýb, čistenie	x	x
Vinutie statora		
Kontrola izolačného stavu		x
Meranie čiastočných výbojov a tg δ		x
Kontrola stavu výstuh v čelných partiách		x
Kontrola tuhosti drážkových klinov, popr. oprava klinovania		x
Kontrola elektrických priechodiek		x
Skúška elektrickej odolnosti priloženým napätím		x
Tlaková skúška vinutia		x
Odstránenie zistených chýb, čistenie		x
Rotor – mechanická časť		
Kontrola súosovosti rotorov turbogenerátora a turbíny v spojke		x
Kontrola ložiskových čapov		x

Demontáž rotora zo statora		x
Kontrola obručí, tela rotora, ventilačných kanálov, kompres. kolies, zberacích krúžkov		x
Kontrola systému uzemnenia sústavy hriadeľov	x	x
Odstránenie zistených chýb, čistenie	x	x
Rotor - vinutie		
Kontrola izolačného stavu	x	x
Kontrola činného odporu		x
Kontrola stavu zberacích krúžkov	x	x
Odstránenie zistených chýb, čistenie	x	x
Zberacie ústrojenstvo		
Vizuálna kontrola, výmena kief	x	x
Kontrola izolačného odporu		x
Odstránenie zistených chýb, čistenie	x	x
Ložiská		
Kontrola stavu izolácie proti ložiskovým prúdom	x	x
Kontrola ložísk a tesniacich čepelí pri demontovanej hornej polovici panvy		x
Kontrola vertikálnych a horizontálnych vôl		x
Demontáž ložiskových paniev, premeranie geometrického tvaru, kontrola stavu		x
Defektoskopické skúšky priľnutia výstelky		x
Kontrola meracích snímačov umiestnených v ložiskách	x	x
Odstránenie zistených chýb, čistenie	x	x

Príloha č. 3 Zápis z nálezu a merania na generátore a budiči EMO TG12

BRUSH AFTERMARKET

Zápis z nálezu a měření na generátoru a budiči EMO TG12

Místo: Elektrárna Mochovce, TG 12

Ve dnech 1. -4.4.2017 probíhal nález a měření na statoru a rotoru generátoru TG12 a statoru a rotoru budiče v rámci GO EMO 2017.

Budič – typ HE 500630/2

Stator: SN:051680

Na statoru proběhli následující měření a kontroly:

Kontrola tuhosti klínování	- bez závad
El_CID magnetického obvodu	- bez závad
Kontrola teploměrů	- bez závad
Vizuální kontrola čel vinutí	- bez závad
Vizuální kontrola mag. obvodu	- bez závad
Měření izolačního odporu vinutí	- bez závad
Měření činného odporu	- bez závad

Rotor: SN:051698

Na rotoru proběhli následující měření a kontroly:

Vizuální kontrola rotoru	- bez závad
Měření izolačního odporu vinutí	- bez závad
Měření činného odporu	- bez závad
Na pólech rotoru jsou vyhřáté oblasti.	

Nový rotor: SN:051630

Měření izolačního odporu vinutí	- bez závad
Měření činného odporu	- bez závad

Sběrací zařízení

Měření izolačního odporu	- bez závad

BRUSH SEM s.r.o.
Edvarda Beneše 564/39
Doudlevce
301 00 Plzeň
Czech Republic
T +420 378 210 555
E servicecz@brush.eu
www.brush.eu

SERVICE 24

Registered in Czech Republic at the Regional Court in Plzen, Section C, Inset 14104, VAT No. CZ25745735

BRUSH AFTERMARKET

Generátor 2H6688/2-VH

Stator: SN:051917

Na statoru proběhli následující měření a kontroly:

Kontrola tuhosti klínování	- bez závad
Kontrola teploměrů	- bez závad
Vizuální kontrola čel vinutí	- bez závad
Vizuální kontrola mag. obvodu	- bez závad
Měření izolačního odporu vinutí	- bez závad
Měření činného odporu	- bez závad

Vnitřek statoru byl pokryt jemnou vrstvou oleje.

Rotor: SN:051698

Na rotoru proběhli následující měření a kontroly:

Vizuální kontrola rotoru	- bez závad
Měření izolačního odporu vinutí	- bez závad
Měření činného odporu	- bez závad

Rotor generátoru měl nižší izolační odpor (50MΩ/1000V/1min), pravděpodobně znečištěné kroužky uhlíkovým prachem. Povrch sběracích kroužků je rýhovaný.

Nový rotor: SN:051696:

Měření izolačního odporu vinutí	- bez závad
Měření činného odporu	- bez závad

Sběrací zařízení

Měření izolačního odporu	- bez závad

Byla rovněž provedena vizuální kontrola ložisek, sběracích ústrojí budiče a generátoru, štítů generátoru atd.

Závěr:

Podle výsledků měření a kontrol lze konstatovat, že stav rotoru a statoru generátoru a stav rotoru a statoru budiče jsou bez závad a nic nebrání uvedení turbogenerátoru do provozu.

V Mochovcích dne 5.4. 2017.

BRUSH SEM s.r.o.
Edvarda Beneše 564/39
Doudlevce
301 00 Plzeň
Czech Republic
T +420 378 210 555
E servicecz@brush.eu
www.brush.eu

SERVICE · 24

Registered in Czech Republic at the Regional Court in Plzen, Section C, Inset 14104, VAT No. CZ25745735

Príloha č. 4 Revízna správa turboalternátora 1MKZ31

1. **SPRÁVA** **o pravidelnej odbornej prehliadke** **a odbornej skúške elektrického zariadenia**	2. Evidenčné č. správy: 15/2017 Počet listov : 5 List č.: 1

3. Revízia elektrického zariadenia vykonaná podľa normy STN 33 1500, STN 33 2000-6

4. Umiestnenie (Objekt, PS): **DPS 1.04.01 – 1MKZ31** Turboalternátor synchrónny 3fázový 15,75kV, 220MW v.č. 051917, typ 2HY6688/2-VH, umiestnený v Strojovňa I.HVB.

5. Revízia vykonaná dňa : **25.4.-10.5.2017** 6. Prevádzkovateľ: **EMO**

7. Revízny technik EZ: Evidenčné číslo osvedčenia :
Ondrej Ščepka
Číslo oprávnenia: číslo/EZ--E1-A,B

8. Zdroje elektrického prúdu :
a) vlastné: Generátor o celkovom výkone 300 MVA
b) cudzie: ---
c) iné zariadenia: ---

sústava kap.3.2 Ochrana pred úrazom el. prúdom kap. 3.3

9. Inštalované (pripojené) ---

motorov, zváračiek a pod.	Celkom	0	kW (kVA)
tepelných spotrebičov (i prenosných)	Celkom	0	kW
žiarovkových, žiarivkových, výbojkových svietidiel	Celkom	0	kW
iných spotrebičov alebo zariadení	Celkom	0	kW (kVA)
Celkom inštalované:		**0**	**kW (kVA)**

10. Stav zariadenia sa od pravidelnej revízie EZ ev.č.210 zo dňa 24.4.2015 **nezmenil.**
11. Pri revízii chybné zariadenie odpojené: nebolo.
12. Meranie izolačných odporov vykonané prístrojmi: protokoly o meraní.
13. Meranie zemných odporov vykonané prístrojmi: ---
14. Ďalšie použité prístroje: Eurotest EASI MI 3100 SE

15. Celkový posudok: Elektrické zariadenie je z hľadiska bezpečnosti
schopné prevádzky v zmysle STN 33 1500 čl. 6.1.2.

16. Rozdeľovník: 1x EMO B31212 – majiteľ Prílohy: Protokol o meraní:- 2 ks
1x EMO 23420 – archív STaPD
1x RT EZ

_____ _____
podpis prevádzkovateľa pečiatka a podpis revízneho technika EZ

17. Správu prevzal: Dňa:

1. ÚVOD.

1.1. Rozsah revidovaného zariadenia.

Predmetom tejto pravidelnej revízie el. zariadenia je DPS 1.04.01 1MKZ31 - synchrónny trojfázový turboalternátor s menovitým činným výkonom 270MW umiestnený v objekte Strojovňa I.HVB 1.blok.

Pravidelná odborná prehliadka a odborná skúška EZ bola vykonaná v zmysle vyhlášky MPSVR SR č.508/2009 Z. z. na základe plánu GO1/15 2017, zákazka č.60379467.

1.2. Predmetom revízie nie je.

- Elektroinštalácia proti hlukový kryt TG.
- Elektroinštalácia technológie DPS 1.04.08 – rozvádzače budenia, rozvádzače 0,4kV.
- Zapuzdrené vodiče10kA/15,75kV na vývodoch turbosústrojenstva.
- Vnútorná uzemňovacia sústava objektu.

2. PREDLOŽENÉ PODKLADY

2.1 SV/2628-33, TG s príslušenstvom skutočné vyhotovenie DPS 1.04.01- 1. blok, AP. Škoda Praha.

2.2 STD/046, AP, DPS 1.04.01 –Strojovňa TG11 s príslušenstvom balík č.2:

- Výkresová časť TG12 270MW v.č.051917.
- Protokoly a revízne správy EZ príslušenstva TG12
- Revízna kniha turboalternátora TG12 270MW v.č.051917.
- Správa o pravidelnej odbornej prehliadke a odbornej skúške EZ č. 210/2015, DPS 1.04.01 – 1MKZ31 Turboalternátor v.č.051917, 270MW vydaná p. Gunárom P.
- Osvedčenie č. 6608/4/2008-1-EZ k opakovanej úradnej skúške generátora 1MKZ31 300MVA typu 2HY6682/2, v.č. 051917, DPS 1.04.01 zo dňa 11.6.2008 vydané TISR Nitra s platnosťou do 11.6.2018.

3. TECHNICKÝ POPIS.

Turboalternátor 1MKZ31. Menovitý zdanlivý výkon 300 MVA, menovitý činný výkon 270 MW, združené menovité napätie statora 15750 ±5% V, menovitý prúd statora 10997A, menovité otáčky 3000 min^{-1}.

Turboalternátor je štítového vyhotovenia (s vlastnými ložiskami), s rotorom parnej turbíny je spojený pevnou spojkou, chladenie je kombinované -vodíkové a vodné. Statorové vinutie je chladené vodou, pretlakovým vodíkovým chladením sú chladené ostatné časti alternátora (rotor, duté rotorové vodiče a statorové železo).

Budiace vinutie je pripojené cez zberacie krúžky v samostatnej skrini s prívodom studeného vzduchu. Cirkuláciu vzduchu zabezpečujú dva radiálne ventilátory. Šesť koncov statorového vinutia je vyvedených cez plynotesné kondenzátorové priechodky a cez pružné spojky v priestore pod turboalternátorom na zapuzdrené vodiče.

Hriadeľ rotoru je chránená proti škodlivým účinkom hriadeľových prúdov uzemnením na kostru stroja vodičom SY 10 mm^2.

Kontrola prevádzky turboalternátora je zabezpečená cez zabudované tepelné sondy, termočlánky a ostatné snímače. Všetky vývody zo sond sú vyvedené na svorkovnice, umiestnené na vonkajšej časti stroja.

3.1 Prostredie

Protokol č.13-5/03 o určení vonkajších vplyvov pre objekt Strojovňa. Protokolom je zohľadnená i STN EN 60079-10 – určenie zón.

podlažie +3,8m plošina vodíkového hospodárstva - priestor pod TA

zóna 1 a 2 – AA6, AB6, AC1, AD1, AE1, AF1, AG2, AH2, AK1, AL1, AM1, AN1, BA4, BC2, BD1, BE3+, CA1, CB1.

podlažie +7,5m priestor alternátora a nad až po strechu strojovne

zóna 2 – AA6, AB6, AC1, AD1, AE1, AF1, AG2, AH2, AK1, AL1, AM1, AN1, BA4, BC2, BD1, BE3+, CA1, CB1.

Plošina vodíkového hospodárstva:

- 342- prostredie s nebezpečím výbuchu horľavých plynov a pár SNV1+ OP s prirodzenou výmenou vzduchu 4-7x /hod.

Priestor turboalternátoru až po strop: (+ 7,5 m)

- 342/OP- prostredie s nebezpečím výbuchu horľavých plynov a pár + OP s prirodzenou výmenou vzduchu 4-7x /hod.
- 322 - prostredie horúce nad 35°C.

3.2 Napäťová sústava

Pre revidované zariadenia sú použité nasledovné napäťové sústavy:

- 3~ 50 Hz, 15,75 kV/IT - hlavná silová sústava - výstupné napätie turboalternátorov,
- 2= 365÷630V /IT- budiaci obvod alternátora.

3.3 Ochrana pred úrazom elektrickým prúdom

Ochrana pred dotykom živých častí v sieti IT 15,75kV a budenia

- ochrana živých častí podľa vykonávacieho projektu a STN 34 1010 čl.16, 18, 28 je daná konštrukčným vyhotovením,
- ochrana živých častí podľa PNE 33 2000-1 čl. 4.1 - krytom.

Ochrana pred dotykom neživých častí v sieti IT 15,75kV a budenia

- ochrana neživých častí podľa vykonávacieho projektu a STN 34 1010 je zemnením s nepriamo uzemneným nulovým bodom v sieti IT,
- ochrana neživých častí podľa PNE 33 2000-1 čl. 4.2 - ochrana samočinným odpojením napájania v sieťach s izolovaným neutrálnym bodom (sieť IT).

3.4 Krytie elektrických zariadení

- vyhotovenie N32/IP55/II2c – turboalternátor.

(3)

4. VYKONANÉ ÚKONY PRI REVÍZII.

4.1 Prehliadka.

Bola vykonaná vizuálna prehliadka namontovaných elektrických zariadení podľa upraveného projektu, STD zariadenia, súborov rady STN 33 2000, STN 33 2000-6, PNE 33 2000-1, STN rady 35 0000, STN EN 60034-1 a technických údajov v zmysle kap. 3 a na základe predložených podkladov uvedených v kap. 2 tejto revíznej správy.

4.2 Kontrola a meranie.

Pri posudzovaní celkového stavu z hľadiska bezpečnosti boli použité dokumenty:

- Protokoly priložené k jednotlivým zákazkám.
- Namerané hodnoty jednotlivých meraní, vyhodnotené v zákazkách.

Meranie prechodového odporu uzemnenia

Zberné ústrojenstvo chladič: 0,012 Ω – vyhovuje.
Generátor ľavá strana zadok: 0,011 Ω - vyhovuje.
Generátor pravá strana predok: 0,005 Ω - vyhovuje.

4.3 Funkčná skúška elektrického zariadenia

Výsledky všetkých meraní a vykonaných skúšok na základe zákaziek, ktoré boli vykonané na zariadení v rámci GO1/17 hodnotené ako vyhovujúce.

5. ZHODNOTENIE ZARIADENIA.

5.1 Ochrana pred dotykom živých častí :

viď kap.3.3 – vyhovuje.

5.2 Ochrana pred dotykom neživých častí :

viď kap. 3.3 - vyhovuje.

5.3 Krytie elektrických zariadení do daného prostredia:

viď kap. 3.4 - vyhovuje.

6. ZISTENÉ ZÁVADY.

Neboli zistené

DOPORUČENIE !

Elektrické zariadenia na verejne prístupných miestach musia byť vybavené výstražnou značkou podľa STN EN 61310-1 upozorňujúcou na nebezpečenstvo úrazu el. prúdom alebo označené na kryte bleskom červenej farby podľa STN IEC 60417, značka č.5036.

7. CELKOVÝ POSUDOK.

Revidované elektrické zariadenie je v zmysle STN 33 1500 čl.6.1.2 z hľadiska bezpečnosti

s c h o p n é p r e v á d z k y .

8. ZÁVER.

Na zaistenie bezpečnej prevádzky technického zariadenia sa musia dodržiavať osobitné predpisy vyhlášky MPSVR SR č. 508/2009 Z.z. a zákona NR SR č. 124/2006 Z.z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci.

Opravu a údržbu na el. zariadeniach a rozvodoch môžu vykonávať pracovníci znalí, v zmysle STN 34 3100, ktorí zložili skúšku z odbornej spôsobilosti v zmysle vyhlášky MPSVR SR č.508/2009 Z.z.

Ďalšia revízia elektrického zariadenia - pravidelná revízia elektrického zariadenia uvedeného v tejto revíznej správe musí byť vykonaná v zmysle STN 33 1500 tab. 1-3, a podľa pokynov výrobcu zariadenia.

V Mochovciach dňa 14.5.2017

(5)