



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

INSENERITEADUSKOND

Virumaa kolledž

Compact HV sünkroonse generaatori moderniseerimine

Modernization of Compact HV synchronous generators

MASINAEHITUSTEHNOLÓGIA ÖPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Igor Jurjev

Üliõpilaskood: 187068, EDJR

Juhendaja: Gennadi Arjassov,
dotsent

Kohtla-Järve, 2021

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"...." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

"...." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele

lubatud

"...." 20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Igor Jurjev (sünnikuupäev: 07.07.1986)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Compact HV sünkroonse generaatori moderniseerimine“ mille juhendaja on Gennadi Arjassov,
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Igor Jurjev, 187068

Õppekava, peeriala: Masinaehitus- ja energiatehnoloogia protsesside juhtimine, masinaehitustehnoloogia

Juhendaja(d): Dotsent, Gennadi Arjassov, gennadi.arjassov@taltech.ee

Konsultant: Ivan Moltšanov, Mehaanika disaini insener, ABB AS, +372 55641263, ivan.moltsanov1@gmail.com

Lõputöö teema:

(eesti keeles) „Compact HV sünkroonne generaatori moderniseerimine“

(inglise keeles) “Modernization of Compact HV synchronous generators”

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Sünkroongeneraatori rootorite võrdlemine teiste mudelitega, mis olid varem toodetud ABB AS tehases.
2. Analüüsida, millised muudatused olid tehtud kõrgepinge sünkroongeneraatorite tootmise ajal ja kirjeldada missugustest komponentidest koosneb generaator.
3. Teostada uuringud rootori struktuurist ja teha vajalikke rootori komponentide arvutusi ABB M&G tehases.
4. Leida ja kirjeldada probleemi rootori tootmises. Lahendada probleem läbi analüüside ja arvutuste. Kujundada muudatused 3D joonisel.

SISUKORD

EESSÕNA.....	8
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	9
SISSEJUHATUS.....	10
1. ELEKTRIGENERAATORI TÖÖPÕHIMÕTE	13
1.1. Elektrigeneraatori kasutusala	15
2. COUGAR SÜNKROONGENERAATORI MEHAANILISE DISAINI OMADUSED.....	16
2.1. Staatori valmistamine ja paigaldamine korpusesse.....	18
2.1.1. Cougar staatori paigaldamine korpusesse.....	20
2.2. Rootori valmistamine ja tema disainiga arvestamine.....	22
2.2.1. Laagrite valik ja arvutused	24
2.2.2. Laagri määrdeaine valimine.....	29
2.2.3. Võlli liistu andmete arvutamine.....	31
2.2.4. Inerts arvutus.....	33
3. ROOTORI MODERNISEERIMINE.....	34
3.1. Erinevate meetmete leidmine rootori tasakaalustamiseks.....	36
3.2. Tasakaalustamise rõnga moderniseerimine ja vastukaalu projekteerimine	38
3.2.1. Istu analüüs.....	40
3.3. Tasakaalustamise joonise vormistamine	42
3.4. Majandusliku efektiivsuse arvestamine	44
KOKKUVÕTE.....	45
KASUTATUD KIRJANDUS	49
Lisa 1 Staatori keevituse joonis [13].....	51
Lisa 2 Raami keevituse joonis [11]	52
Lisa 3 Võlli paigaldus [12]	53
Lisa 4 SBC programmi EF14-160/180 laagri tulemus.....	54
Lisa 5 SBC programmi EF11-125 laagri tulemus	55
Lisa 6 ABB Inerts test [16]	56
Lisa 7 NX Teamcenter programmi tulemus.....	57
Lisa 8 Tasakaalustamise rõngas nelja poolusega rootoril [12].....	58
Lisa 9 Tasakaalustamise rõnga mass	59
Lisa 10 Vastukaal S10	60
Lisa 11 Vastukaal S20	61
Lisa 12 Vastukaal S30	62

Lisa 13 Võlli mõõdud [12] 63

EESSÕNA

Autori lõputöö teema on seotud tootmise protsessiga ABB Mootori ja Generaatori tehase. Huvi teema vastu tekkis erialapraktika ajal, kus 3,5 kuu jooksul autor sai vajaliku kogemuse, et saada aru inseneri-konstruktori tööprotsessist ja üles leida tõsiseid takistusi generaatori tootmises.

Lõputöö kirjutamise ajal kasutas autor ABB M&G ettevõtte andmebaasist dokumente ja uuritava generaatori komponentide tootejuhiseid. Autor konsulteeris projekteerimise ajal mehaanika disaini inseneriga, kes andis olulisi nõuandeid ja soovitusi. Lisaks aitas autorit generaatori komponentide kirjeldamise ajal kvaliteedi insener, kes uuris vajaliku informatsiooniga faile ja konsulteeris, kuidas rakendada seda informatsiooni lõputöös. Autor konsulteeris generaatori kokkupaneku osas tsehhi töötajatega, kes seletasid kuidas toimub Cougar generaatori kokkupanek.

Esmalt soovib autor tänada oma töö juhendajat, TalTechi Virumaa kolledžist Gennadi Arjassovit. Lisaks soovib autor tänada TalTechi Virumaa kolledži eesti keele lektorit Ingrid Preesi lõputöö korrigeerimise eest, ABB M&G mehaanika disaini inseneri Ivan Moltšanovi, ABB M&G kvaliteediinseneri Pavel Zibarovi, ABB M&G keevitusekoordinaatorit Nikolai Voltsihhini, ABB M&G kokkupaneku tsehhi töödejuhatajat Vahur Shtsherbakovi.

Lõputöö võtmesõnad: sünkroonne generaator, rootor, staator, laager, tasakaalustamise rõngas, inerts.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

ABB – Asea Brown Boveri

B12 – staatori uurde mõõt

Cougar – compact high voltage synchronous generators

HV – high voltage

ISO – International Organization for Standardization

LV – low voltage

L1 – staatoris plekki pikkus

M&G – motors and generators

SBC – sleeve bearing calculator

VT2 – visual testing level 2

WPS – welding procedure specification

SISSEJUHATUS

Meie maailm on suuresti mehhaniseeritud ja automatiseeritud ning põhiliseks liikumise tekitajaks on sünkroonmasinad. Neid masinaid kasutatakse tööstuses laialdaselt, ent põhiline kasutusala on mehaanilise energia teisendamine elektrienergiaks. Suurem osa elektrienergiast on kasutuses rahvamajanduses ning tarbimises, kus kasutatakse erinevaid elektrimasinaid, näiteks sünkroongeneraatoreid. Inseneril, kes on huvitatud arenemisest, peaks olema vähemalt üldine ettekujutus sellest, millest koosnevad elektrigeneraatorid ja kuidas need töötavad. Oleks hea, kui insener seaks olulisele kohale elektrigeneraatori töö arengu. [22]

Sünkroonse kõrgepinge generaatori tootmine on keeruline ja suuremahuline protsess, kus iga selle kallal töötav inimene mängib olulist rolli. ABB AS on ettevõtte, millel on palju väärtusi, mis aitavad olla ülemaailmseks tehnoloogialiidriks energeetika ja automaatika valdkonnas. Üks oluline väärtus, mis antud ettevõttes on, on turvaline ja motiveeriv töökeskkond igale töötajale. Hoolitsev ettevõtte ei saa lubada oskuslikke töötajate puudumist ja kaotust.

ABB (Asea Brown Boveri) on Rootsi-Šveitsi ettevõtte, mille alged ulatuvad 18. sajandi lõppu, ning ettevõtte on loodud mitmete erinevate ettevõtete ühinemisest. Eestisse asutati ABB AS 29 aastat tagasi ning selle peakontor asub Jüris, Haarjumal. Peakontori territooriumi kõrval asuvad ka komplektalajaamade, mootorite, generaatorite ning ajamite tehased, kus praegu töötab ligi 1600 inimest. [1]

Autori lõputöö teema on seotud tootmise protsessiga ABB Mootori ja Generaatori tehase. Huvi teema vastu tekkis erialapraktika ajal, kus 3,5 kuu jooksul autor sai vajaliku kogemuse, et saada aru inseneri-konstruktori tööprotsessist ja üles leida tõsiseid takistusi generaatori tootmises.

2020. aastal sai ABB M&G tehas tellimuse kahe Compact HV synchronous generators tootmiseks. Selle generaatori erinevus teistest sarnastest generaatoritest seisneb selles, et tema rootor omab kuut poolust. Tavaliselt ABB M&G tehas toodab sarnaseid kõrgepinge generaatoreid, aga nende rootorid on nelja poolusega. Rotorite arvu erinevus tähendab teistsugust mehaanilist disaini kuue poolsusega rootoril.

Pärast pikka inseneritööd cougar valmis uuendatud disainiga rootor, mille põhiline erinevus teistest rootoritest on, et võllil puudub tasakaalustusrõngas, näiteks nagu on nelja poolusega rootoril. Inseneri otsus oli panna keermelati peale raskused, mis olid mõeldud rootori tasakaalustamise jaoks. Rotoris on kuusteist keermelatti ja kõik need lähevad läbi kuuest poolusest. Algselt oli planeeritud jätta rootori disaini selliseks, aga balansseerimise ajal ei olnud võimalik panna raskusi õigele kohale, sest keermelattide

kõrval asuvad kaablid, mis seda takistasid, ning seetõttu ei saanud panna raskusi rootori peale. Selle pärast jäi rootor tasakaalustamata.

Tänapäeval on selline takistus aktuaalne ning autoril tekkis plaan uurida erinevaid lahendusi ja leida õige variant rootori balansseerimise jaoks.

Cougar-i mehaanilise disaini uurimise ajal planeerib autor vastata järgmistele küsimustele:

1. Missugustest komponentidest koosneb generaator Cougar ja kuidas toimub generaatori kokkupanek?
2. Milline on staatori ja rootori tootmiseprotsess ABB M&G tehases ja kuidas tehakse nende arvutusi?
3. Millised on variandid generaatori moderniseerimiseks ja milline variant on kõige parem?
4. Kuidas peab toimuma generaatori moderniseerimise protsess ja kas valitud variant sobib, et ABB M&G tehases lubataks jätkata toodete valmistamist?

Nendele küsimustele vastuste leidmiseks saab autor formuleerida töö eesmärged:

1. Cougar-i komponentide koostis ja generaatori kokkupaneku protsessi kirjeldus;
2. Staatori ja rootori tootmise protsessi kirjeldus ja nende disaini koostamise ajal erinevate arvutuste kirjeldus;
3. Leida õige variant rootori moderniseerimiseks ja võrrelda teiste variantidega;
4. Patentide teoreetilise analüüsi läbiviimine ja generaatori moderniseerimise majandusliku efektiivsuse arvestamine.

Lõputöö kirjutamiseks kasutab autor kvalitatiivse uuringu meetodikat, kuna ABB M&G ettevõtte andmebaasis ning tootmistehhis olid erinevates keeltes allikad, mida autor uuris ning analüüsis. Uuringu lõppedes on võimalik leida õige variant, mis aitab rootori balansseerimise takistuse probleemi lahendada. Rootori disaini muutmiseks on töö koostaja kasutanud CAD programmi - NX ning lisaks programmi - Teamcenter, mille põhiülesanne on talletada kõik vajalikud projekti andmed (protsessid, tooted).

Lõputöö koosneb kolmest peatükist:

Käesoleva töö esimene peatükk on pigem teoreetiline, kus autor kirjeldab elektrigeneraatori tööpõhimõtet ja selle kasutusala.

Teises peatükis on Cougar generaatori sisu kirjeldus. Lisaks on juttu generaatori komponentide kahest põhilisest osast - staator ja rootor ning nendega kaasnevatest vajalikest arvutustest.

Töö kolmandas peatükis kirjeldatakse moderniseerimise protsessi. Selles osas tahab töö koostaja näidata, mis on põhiline probleem Cougar-i rootori balansseerimise ajal ning

pakkuda erinevaid võimalusi selle probleemi lahendamiseks. Seejärel teeb autor vajalikud arvutused ja joonised. Lisaks esitatakse siin osas kõige parem variant moderniseerimiseks ning arvutatakse selle majanduslik efektiivsus ABB M&G ettevõttele.

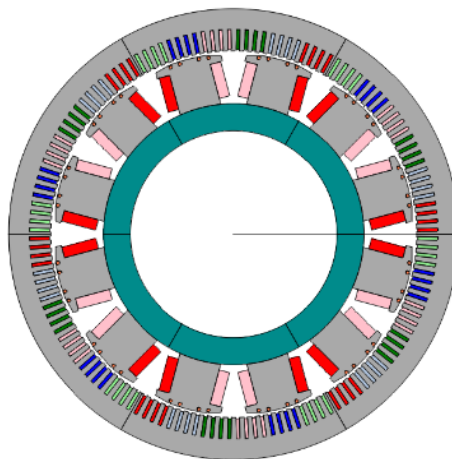
Antud lõputööd saab kasutada ainult ABB ettevõtte, kuna töös on kasutatud konfidentsiaalseid materjale ABB andmebaasist, mida saavad rakendada ainult ABB töötajad ja tellijad. Autor tänab ABB M&G tehase projekteerimise- ja kvaliteediosakonda koostöö eest.

1. ELEKTRIGENERAATORI TÖÖPÕHIMÕTE

Sünkroonmasin, nagu ka tavaline elektrimasin, saab töötada mootori ja generaatori režiimides. Põhiline erinevus on see, et kui generaatorid muundavad mehaanilist energiat elektrienergiaks, siis mootorid teevad vastupidist. Samuti seisneb erinevus selles, et generaatori ja mootori kasutamise ajal seisavad erinevad elektrilised masinad. Generaatorid on rohkem sünkroonsed masinad, kuna nad vastutavad õige pinge eest, mida säilitatakse elektrivõrgus - sünkroongeneraatorid saavad seda teha reaktiivvõimsuse eest. Mootorid on rohkem nagu asünkroonsed masinad, mis saavad töötada samas võimsuse diapasoonis. [18] [27]

Kõige lihtsam variant mõista generaatori tööpõhimõtet on suunata oma mõtted magnetile. Magneteid on olemas kahte tüüpi - alalisi ja elektrilisi. Alaline magnet on muldmetall, millel on alati magnetiväli. Elektrilisi magneteid saab ise luua, näiteks võttes vaskjuhtme ja seda ümber raua kerides ning seejärel juhtmest voolu läbi ajada. Magneti polaarsus sõltub voolu suunast. [10]

Magnetis on alati kaks poolust, milleks on lõuna ja põhi. Samasugused polaarsused tõukavad üksteist, aga erinevad polaarsused tõmbavad üksteist ligi. Sellist külgetõmbejõudu kasutavad sünkroonsed masinad, et muundada mehaanilist energiat elektrienergiaks. Kui me tahame juhtida muundamise protsessi ja vajalikke parameetreid (näiteks: võimsus, pinge, vool, väändemoment, võimsustegur), siis üks magnetitest peab olem elektrit juhtiv. [10]



Joonis 1.1 Sünkroonne generaator 12 poolusega [10]

Elektrimasinad omavad vähemalt kahte poolust, kuna magnetitel on alati kaks poolust. Pooluse arve saab suurendada kahe arvu võrra (2,4,6,8,10,...). Joonisel 1.1 on näha 12 poolusega generaatorit, aga antud töös on vaadeldud generaatorit, millel on 3 paaris

poolust ja see tähendab, et pooluste arv on 6. Kui need paarid teevad 60 pööret sekundis, siis me saame arvutada pöörlemiseageduse läbi valemi:

$$\text{RPM} = \frac{60 \cdot f}{\frac{P}{2}} = \frac{120 \cdot f}{P}, \quad (1.1) [22]$$

kus

f - võrgusagedus, mis on Euroopas 50 Hz ja Ameerikas 60 Hz.

P - pooluste arv.

Kuna generaatorid on planeeritud kasutamiseks nii Euroopas kui ka Ameerikas, siis on vajalik teha kaks arvutust: pöörlemisagedus Euroopas; pöörlemisagedus Ameerikas.

$$\text{Euroopas: RPM} = \frac{120 \cdot f}{P} = \frac{120 \cdot 50}{6} = 1000 \text{ p/min}$$

$$\text{Ameerikas: RPM} = \frac{120 \cdot f}{P} = \frac{120 \cdot 60}{6} = 1200 \text{ p/min}$$

Järelikult Euroopas (50 Hz) sobib selline generaator diiselmootorile, mis töötab 1000 p/min ja Ameerikas (60 Hz) sobib diiselmootorile, mis töötab 1200 p/min.

1.1. Elektrigeneraatori kasutusala

Ettevõtte ABB on maailma juhtiv elektrimootorite ja generaatorite tarnija, kes omab tänaseks päevaks suurt sünkroongeneraatori valikut võimsusastmikuga 15 kVA-st kuni 70 MVA. ABB sünkroongeneraatori valik on üks laiematest valikutest maailmas, kuhu kuuluvad kolm põhilist toodet:

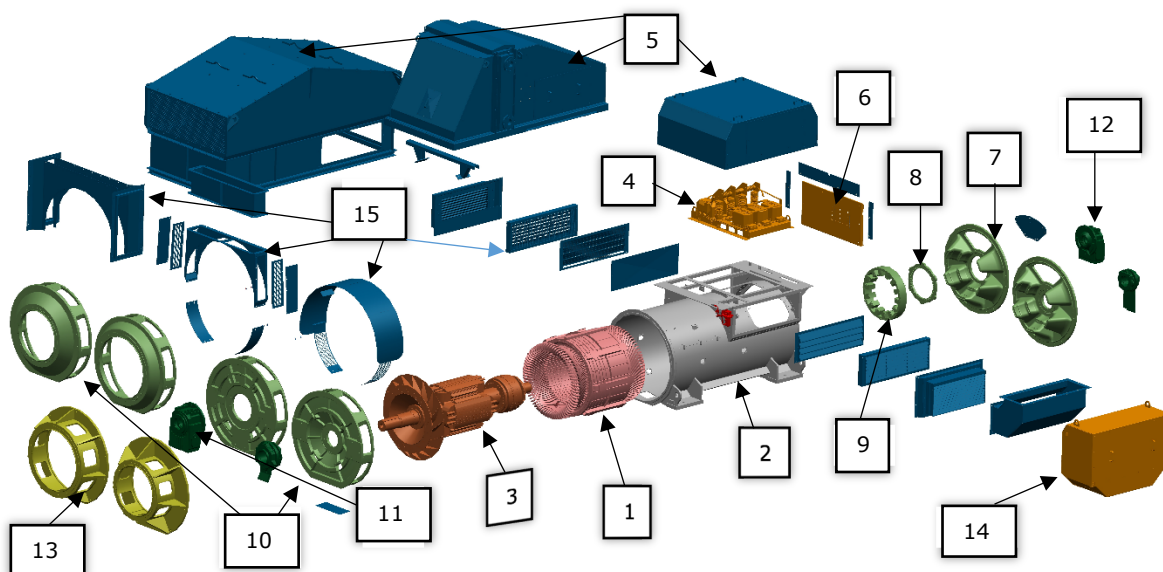
- Madalapinge generaatorid (LV) - need generaatorid omavad standardkujundust koos täieliku suvandivõimalustega. Nende omadusi on võimalik kasutada paljudes olukordades. Enim kasutatakse nende pidev- või reservvõimsust. Kasutamise objektid on koolid, kontorid, kaevandused, telekommunikatsioon, transport. [3] [2]
- Madalapinge laevageneraatorid (LV) - need on generaatorid, mille põhiline ülesanne on põhi-, abi- või avarielektri tootmine. Need tooted asuvad diisलगeneraatori seadmetes või on kasutuses nagu võlli generaatorid. Need generaatorid on kasutused erinevates laeva tüüpides. Sealhulgas on ristlejad, parvlaevad, jäälõhkujad, erinevad tankerid ja varustuslaevad puurimisseadmetega. [5]
- Kõrgepingeline generaatorid (HV) – neid kasutatakse kogu maailmas ning need toodavad elektrit tööstusettevõttes, avameresektoris ja elektrienergeetika ettevõttes. Tavaliselt kasutatakse neid detsentraliseeritud elektrijaamades, kus peamine liikur on keskmise või suure kiirusega neljataktiline kolbmootor. Tänapäeval kasutatakse neid generaatoreid rohkem koos diisel- ja gaasimootoritega. [4]

Kõik need generaatorid töötavad usaldusväärselt ja tõhusalt igasugustes tingimustes kogu maailmas, kuna ettevõtte ABB seab esikohale oma toote kvaliteedi ja nad on huvitatud sellest, et tellija saaks kõrge kvaliteediga generaatorid.

2. COUGAR SÜNKROONGENERAATORI MEHAANILISE DISAINI OMADUSED

Cougar-i disain on modelleeritud nii, et generaator oleks usaldusväärne ning kõrge efektiivsusega. Sellel generaatori tüübil on väga kõrged ja spetsiifilised nõuded. Kuna seade on määratud töötama koos kolbmootoriga, siis on seal töötavatel seadmetel isegi minimaalsed vibratsiooninõuded on väga kõrged. Tema kompaktsuse omadus sobib ka auru- ja gaasiturbiinidele. [15:2]

Kõrge efektiivsuse saavutamiseks on generaatori töös planeeritud kasutada optimeeritud disaini ja moderniseeritud tootmise tehnoloogiat.



Joonis 2.1 Cougar generaatori komponendid [15:4]

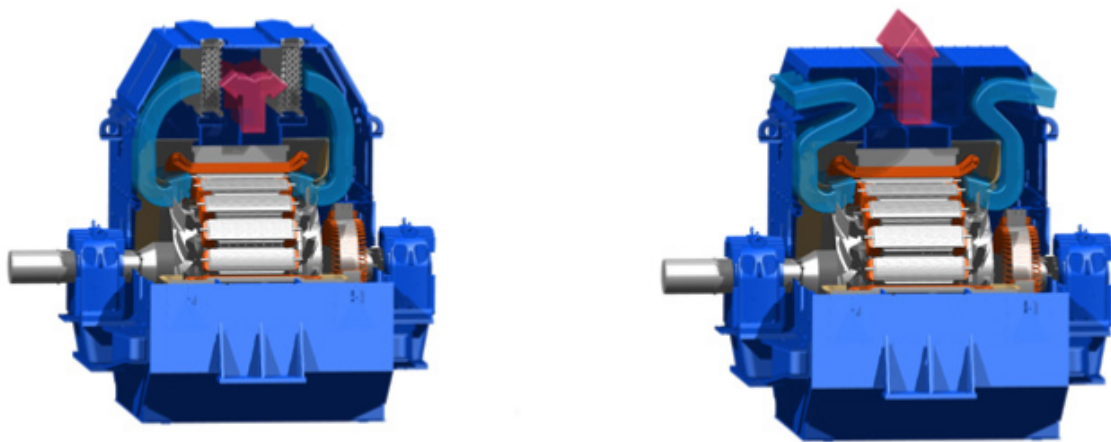
Cougar generaator koosneb (vt Joonis 2.1) järgmistest komponentidest:

- | | |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1. Staator | 9. Ergutus rootor |
| 2. Korpused | 10. D otsa moodulid laagri jaoks |
| 3. Rooror | 11. D otsa laager |
| 4. Transformaatorid | 12. N otsa laager |
| 5. Jahutuse moodul | 13. Äärised |
| 6. Abiplaat | 14. Peamised klemmid |
| 7. N poole kilp laagri jaoks | 15. Katteosad [15:4] |
| 8. PMG staator | |

Oma disaini tõttu omab Cougar generaator järgmiseid omadusi:

- Cougar generaatoril on hea erivõimsus. See tähendab, et olenemata tema kompaktsusest, võib ta toota samu võimsusi, mida teised suurema gabariidiga generaatorid toodavad. Selline omadus säästab ruumi ja logistika kulusid;[4]

- HV platvorm omab mitut IP/IC klasside variante. Näiteks IP44 (vt Joonis 2.2) sobib täiesti kinnisele generaatorile, millel on väga kompaktnel filtrereimissüsteem. IP23 (vt Joonis 2.2) seevastu sobib avatud jahutusega generaatorile; [10]
- Kombineeritud ergutirootor (PMG) generaatori sees garanteerib oma suuruse tõttu hea laagrite hoolduse; [15]
- Intellektuaalne jäik konstruktsioon tagab generaatori töö ilma vibratsioonita. See hõlmab progressiivset 3D projekteerimist ja unikaalse disainitehnika kasutamist. Näiteks, staatori kinnituseks kasutatakse unikaalset keevituse meetodikat koos täiteainetega. [4]



Joonis 2.2 Vasakul täielikult suletud generaator (IP 44), paremal vabaõhuga jahutatud generaator (IP23) [10]

Kõik põhilised spetsifikatsioonid on märgistatud tabelis (vt Tabel 2.1).

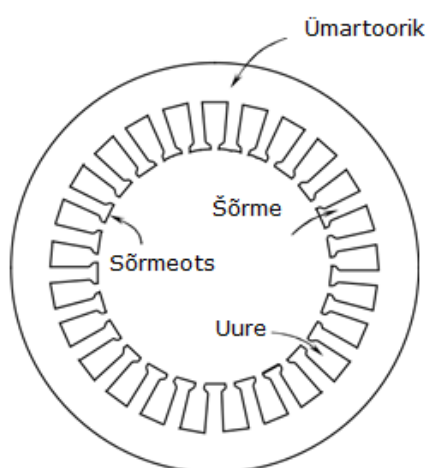
Tabel 2.1 Cougar generaatori põhilised spetsifikatsioonid [15:5]

Põhistandardid	IEC 60034, ISO 8528	
Pinge [V]	3.0 ... 13,8 kV	
Segadus [Hz]	50 või 60 Hz	
Raami suurused ja poolused	Raam 500 560 630	Poolused 4 4,6,8 4,6,8,10
Vibratsiooni tase	IEC 60034-14 2,3 mm/s	
Sageduste ja pingete kombinatsioonid	50 Hz 3,3-11 kV	60 Hz 3,3-13,8 kV

2.1. Staatori valmistamine ja paigaldamine korpusesse

Sünkroongeneraator koosneb kinnisest osast – staatorist - ja pöörlevast osast - rootorist. Sünkroongeneraatori staator on sarnane asünkroonse generaatori staatori disainiga ja koosneb korpusest, südamikust ja mähisest. [26]

Staatori südamiku valmistamiseks kasutatakse elektrotehnilist plekki paksusega 0,5 mm. Need ümartoorikute mõlemad pooled on kaetud pool orgaanilise vaiguga, mille kihi paksus on kuni 3 μm . [17]



Joonis 2.3 Ümartoorik 360° [24]

Ümartoorikud on 360° ja nende tootmiseks kasutab operaator toorikupressi Kaiser (350T). (vt Joonis 2.3) on illustreeritud ümartooriku pleki konstruktsioon, kus tooriku sõrmeotsi omavad pääsukese saba kuju.[17] [20]

Staatorite paketi valmistamise etapid:

1. **Ümartoorikud laotakse torni.** Selles protsessis on väga oluline ümartoorikute kontrollimine ja puhastamine enne torni ladumist. Kui torn on kontrollitud keevituspritsmetest, siis saab torni reguleerida ja kinnitada.

Järgmine etapp on alumise pressiplaadi asetamine tsentreeritult, tornile, kõrgendusrõnga ümber. Pressipaadi peale paigutatakse sõrmplaat ja ainult üks staatoriplekk, mis tsentreeritakse sõrmplaadi suhtes nii, et nende sõrmede keskjoon ei erine üle 2 mm.

Ladumise alguses kasutatakse ühe ringi kohta minimaalselt kolme uurdevarrast suurusega B12. Staatori kõrguse kasvades on vaja lisada vardaid juurde ning töötaja peab jälgima, et

et staatori pikkused vastavad tööjoonisele. Plekkide vahedesse paigaldatakse

tuulutusplekk. Kui ladumine on lõpetatud, siis asetatakse staatoriplekkide peale sõrmplaat. Töötaja kontrollib, et L1 mõõt vastaks dokumentatsioonile ja staatori pakett on seejärel valmis pressimiseks.

- 2. Staatori paketi pressimine.** Selleks tõstetakse kraanaga torn pressile nii, et torn oleks täpselt pressi keskel. Järgnevalt valitakse pressirõngas ja paigaldatakse see paketi peale. Töötaja paneb kraanaga pressiääriku pressile ja kinnitab kõik komponendid. Kuna sõrmplaat võib nihkuda, siis enne pressimist keevitatakse sõrmplaat kolmest kohast paketi külge. Press lülitakse sisse ja töötaja kontrollib mõõdulindiga õige paketi pikkust, mis peab olema $L1^+ - 1 \text{ mm}$.
- 3. Staatori paketi keevitamine.** Paketi osad keevitatakse, nii keevitusrobotiga kui ka käsikaarkeevitusega, surve all üheks monoliitseks staatori paketiks. Näiteks, sidetalad keevitatakse osapakettide külge robotiga (IRB 2600-ABB), aga sidetalade ülemine osa keevitatakse MAG käsikaarkeevitusega (Kemppi Fasting 420). Kõik tehtud keevitus peab vastama tööjoonistele (vt lisa 1).
- 4. Staatori paketi treimine.** Selleks kasutatakse karuselltreipink (Danobat), kus maksimaalne treimiskõrgus 2 m ja maksimaalne diameeter 1,5 m. Pakett tõstetakse treipingi töölauale ja tsentreeritakse indikaatori anduri abil. Operaator valib õiged töötlemisparameetrid, näiteks: pöörlemiskiirus 40-80 p/min ja ettenihe 0,31-0,40 mm/p. Järgnevalt toimub treimine ja kui mõõdud on korras, siis tõstetakse pakett treimislaualt maha.
- 5. Staatori paketi viimistlemine.** See on viimane etapp, kus keevitatakse anduritraati ning eemaldatakse uurdevardad. Paketi peale lüüakse töö number ja kui kõik on korras, siis viiakse pakett mähkimise tsehhi, kus toimub üksikute mähiste ühendamine gruppideks ja selle gruppi ühendamine mähiseskeemiks. [13]



Joonis 2.4 Valmis staator.

Pärast paketi valmistamist peab tulemus olema selline joonisel (vt Joonis 2.4).

2.1.1. Cougar staatori paigaldamine korpusesse

Staatori paigaldamine koosneb kolmest osast:

Esimene osa on **staatori asetamine kummimatile**. Esmalt on vaja tõsta staator ettenähtud tööalasse ja see ümber pöörata. Seejärel paigaldatakse staator raami sisse kummiplaadile ja fikseeritakse nelja lattfiksaatori abil. Lõpuks tõstetakse staator surverõngaga pinnale.

Teine osa on **staatori asetamine korpusesse**. Staatori ülemise poole külge riputatakse horisontaalselt raam ja lastakse aeglaselt lõpuni. Staator asetatakse korpusesse.

Viimane ehk kolmas osa on **korpuse ja staatori keevitamine**. Keevituse koht on neerukujuline pesa (vt Joonis 2.5) ja see vastutab raami ning staatori koos püsimise eest. Keevitus peab olema sümmeetriline ning keevisliides peab olema kindel ja ühtlane ning tema kuju ja asukoht peab vastama tehnilisele joonisele (vt lisa 2). Pärast keevitamist ei tohi pinnal olla pritsmeid ega teisi keevitusvigu. Kui keevitus on valmis, siis viimane etapp on keevitusekontroll. Selleks kutsutakse spetsialist, kellel on VT2 ja kui ta leiab mõne vea, siis keevitaja teeb kohe parandused. See on vajalik selliseks, et keevitus vastaks joonisel näidatud nõuetele. [11]



Joonis 2.5 Staatori korpus

Keevisliite arvutamine

Kuna generaatori töö tekitab neerukujulise keevitusele koormust, siis autor sooviks arvutada milline on keevisõmbluse tugevuse tingimus ja kontrollida plaatide tugevust. Selliseks on vaja teada:

1. millisest materjalidest on plaadid;

2. tekitatav koormus;
3. plaatide paksus.

Antud olukorras on meil kaks plaati, kus esimese plaadi asukoht on staatori talade peal paksusega 15 mm ja teise plaadi asukoht on raami sisemisel küljel paksusega 20 mm. Plaatide materjal on teras (S235J2). Autor arvutab tekkiva koormuse valemiga 2.1 :

$$F = \frac{m \times 9,8}{12}, \quad (2.1) [23]$$

kus m - on staatori mass koos mähkimisega;

12 - keevituste arv;

9,81 - vaba langemise kiirendus.

Koormuse arvutamine:

$$F = \frac{m \times 9,8}{12} = \frac{2566,89 \times 9,8}{12} = 2096,29 \text{ N}$$

Plaatidele lubatav tõmbepinge :

$$[\sigma] = \frac{R_{eH}}{S} = \frac{235}{1,5} \approx 156,6 \text{ MPa, kus} \quad (2.2) [23]$$

S- on varutegur

Lubatav pingeline keevitusõmblusele käsikeevitusega:

$$[\tau'] \approx 0,6[\sigma] = 0,6 \times 156,6 \approx 93,96 \text{ MPa} \quad (2.3) [23]$$

Keevisliite tugevustingimus:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{k \cdot b \cdot 2 \cdot 0,7} = \frac{2096,29}{226 \cdot 7,1 \cdot 2 \cdot 0,7} = 0,93 \leq [\tau'] = 92,96 \text{ MPa,} \quad (2.4) [23]$$

kus

k – keevitusliite pikkus

b – keevituse kaatet (vt lisa 2)

Plaadite tugevuse kontroll:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{b \cdot \delta} = \frac{2096,29}{226 \cdot 20} = 0,46 \text{ MPa} \leq [\sigma] = 156,6 \text{ MPa} \quad (2.5) [23]$$

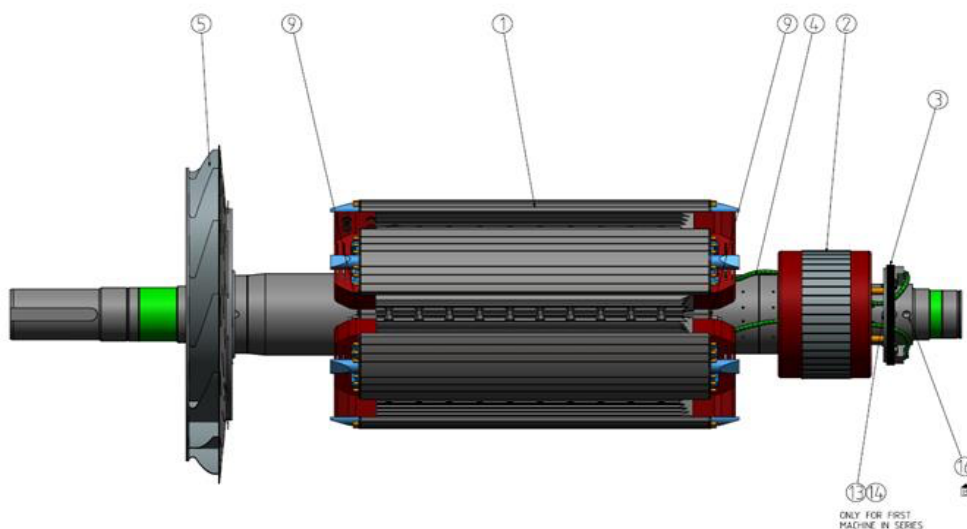
kus δ – plaadi paksus

Pärast arvutusi saab autor öelda, et keevituse vastava tugevuse tingimus ja keevitusliite on koormuse ajal kindlad. Plaadi tugevus on väike, kuna see arvutatakse varuga ja dünaamilise generaatori töös plaatide tugevus kasvab.

2.2. Rootori valmistamine ja tema disainiga arvestamine

Joonisel (vt Joonis 2.5) on näidatud üks kolme pooluspaariga (ehk kuue poolusega) sünkroonrootori konstruktsioon kus

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. Immutatud rootor | 5. Ventilaator |
| 2. Erguti rootori kokkupanek | 9. Tasakaalustus komplekt |
| 3. PMG rootor | 13. Alalisvooluandur |
| 4. Rootori kaabel | 14. Vooluanduri kaabel [10] |



Joonis 2.6 Cougar sünkroonrootor [10]

Rootori konstruktsioonis on 2 mm paksuga lamineeritud plaat, mis on valmistatud külmmvaltsitud terasest. Rootori paketi valmistamiseks kasutatakse, nagu staaroti südamiku valmistamiselgi, elektrotehnilist plekki paksusega 0,5 mm ja 0,6 mm, mis on mõlemalt poolt kaetud pool orgaanilise vaiguga. [15:8]

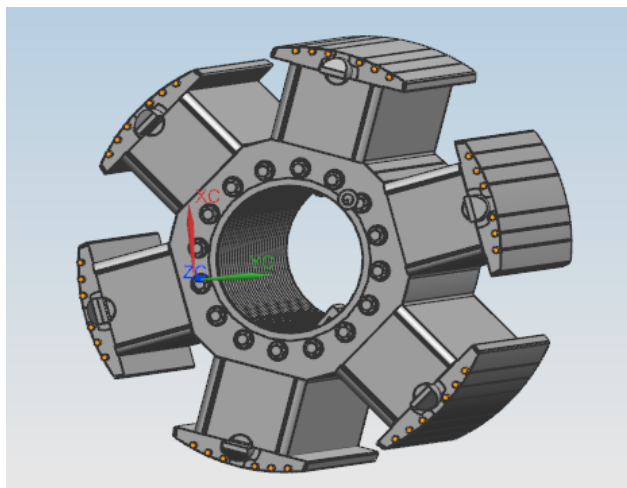
Kui kirjeldada rootori paketi valmistamist, siis tuleb märkida, et see on väga raske protsess ja koosneb mitmest etapist:

1. Esimene etapp on **ladumine**. Siin tuleb jälgida ladumisjärjekorda, kus esimesena tuleb laduda vask ja pressplaat ning tuleb kontrollida, et avad ühtiksid. Seejärel tuleb sisestada juhik, mis tsentreerib terve paketti ja peale panna esimene osamoodul. Esimene osamoodul on 42 mm ja koosneb 0,6 mm plekkidest. Protsess jätkub osamooduliga, mille kõrgus on 25 mm ja, mis koosneb 0,5 mm plekkidest, ning moodulite peale tuleb panna pressplaat.

Ladumise protsess jätkub sama kombinatsiooniga, aga mooduli kõrgus peab olema 40 mm, 0,5 mm plekist. Viimane moodul on sama nagu esimene moodul – 42 mm, 0,6 mm plekist. Lõpuks tuleb kontrollida üldmöötu (SWD), kuna ta peab vastama tehnilise joonisele (vt lisa 1). [12]

2. **Paketi pressimine.** Pakett tõstetakse pressi alla ja tehakse esimene pressimine 60 tonniga ja seejärel pressitakse 30 tonniga. Lõpuks on vaja kontrollida, kas üldmöötu ületab lubatud ± 1 mm.
3. **Keermevarraste paigaldamine.** Rootori pakett tõstetakse kanalile ja paketi sisse viiakse keermevardad. Seejärel keeratakse momentvõtmega kinni keermevarda mutrid, kus paigutusmoment on 330 Nm. Viimaks keevitatakse mõlemalt poolt tugivardad kinni vastavalt WPS-ile.
4. **Paketi kuumutamine.** Pakett pannakse ahju, kus see on 6 tundi 300 kraadi juures.
5. Viimane etapp on **võlli paigaldus.** Võll peab olema paigaldatud vastavalt joonisele (vt lisa 3), kus vaskplaadi ja võlli sälgud ühtiksid. Seejärel tõstetakse terve pakett koos võlliga pressi, kus see hüdrosilindriga fikseeritakse võlli jahtumise ajaks. Lõpuks tuleb paketi soontesse sisestada vaskvardad. [12]

Cougar rootori konstruktsioon on tähekujuline, kus valuvormi osa läheb läbi lamineeritud pooluse, mis tagab konstruktsioonile hea jäikuse ja otsamähiste toe. Rootor omab kuut konstruktiivset poolust (vt Joonis 2.7). Need rootori poolused on lamineeritud ja omavad summutimähist, et summutada mehaanilised ja elektrilised võnked. [21]



Joonis 2.7 Rootori poolused.

Rootori paketi peale paigaldatakse viimased komponendid: ergutus rootor, ventilaator, kaablid ja andurid. Lisaks paigaldatakse generaatori kokkupaneku ajal rootori võlli peale laagrid.

2.2.1. Laagrite valik ja arvutused

Generaatori laagrite eesmärk on paigutada ja toetada pöörlevat rootorit nii aksiaal- kui ka radiaalsuunas ning staatori ja rootori vahel säilitada ühtlane õhuvahe. Teiseks laagrid aitavad vähendada hõõrdumist ja kulumist rootori ja statsionaarsete komponentide vahel ja annavad koormuse edasi generaatori alusele. Statistilised andmed teadustavad, et kõige sagedasem probleem generaatoris on seotud laagririkkumisega. Insenerile on väga oluline teatada laagrite omadusi, et õigesti parandada tema mehhaanilisi vigastusi.

Kõige olulisemad laagri kandevõime tegurid on koormus ja kiirus, kuna laagri tööaeg sõltub nende mõjudest. Generaatori hea töö tagamiseks peavad laagrid olema heade dünaamiliste omadustega, madalama vibratsiooni ja müraga, kõrge väsimustugevusega ja minimaalse hõõrdumisega. Firmad, mis omavad neid generaatoreid, soovivad pikka tööaega ning vähest hooldust, kuna see säästab raha. Selleks on insenerile väga oluline valida õige laagritüüp ja selle määrdeained. [24]

Cougar generaator võib olla varastatud nii veerelaagriga kui ka liugelaagriga. Mõlemal laagritüübil on oma eelised ja puudused. Näiteks veerelaagrid on väga kompaktsed ja saavad tagada hea tööefektiivsuse, aga neid on väga raske parandada. Kui rääkida liugelaagritest, siis need on väga kulumiskindlaid ja tagavad pika tööaja. Need laagrid on väga kompaktsed, järelikult neid on väga lihtne vahetada ja parandada. Nende põhupuudus on keeruline konstruktsioon, seetõttu on väga keeruline juhtida laagrite okasjõude. Teiseks liugelaagrid võtavad rohkem ruumi kui veerelaagrid. Nende kahe laagri võrdlus on tabelis (vt Tabel 2.2), kus mustaga on märgitud plussid ja punastega miinused. [10]

Table 1.2. Veerelaagri ja liugelaagri võrdlustabel [10]

Veerelaager	Liugelaager
Tööaeg: $\geq 40\,000$ tundi	Pikk tööaeg. Põhimõtteliselt kuluvad ainult käivitamise ja seiskamise ajal.
Laagri disain tagab, et tema temperatuur ei ületaks 90°C , kui ümbritsev temperatuur on 50°C .	Laager saab summutada vibratsiooni ja madal müra voo.
Generaatori disain on kompaktsem.	Vibratsioonikindel
Kõvakonstruktsioon	Disaini tõttu on lihtne vahetus ja remont
Maksimaalne kiirusepiirang	Hind on suurem
Vastuvõtlik vibratsioonile ja pingele võllil	Keeruline määrimissüsteem
Keeruline parandada	

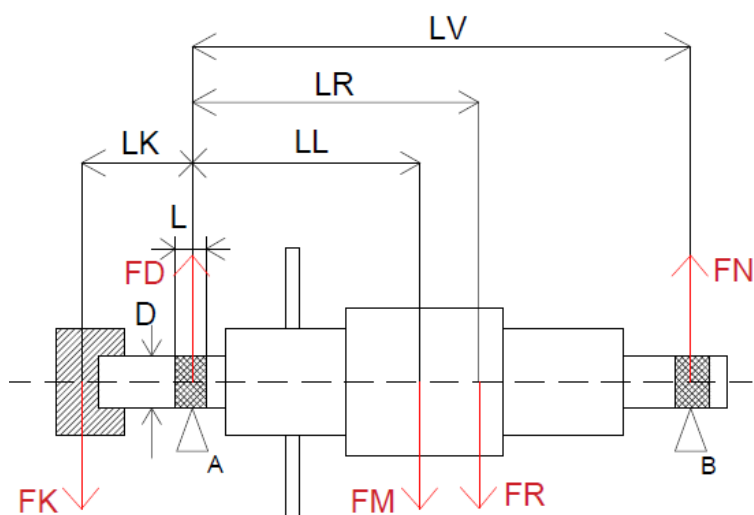


Joonis 2.8 Liugelaager [8]

Tabeli järgi on kõige sobilikum laager- liugelaager (vt Joonis 2.8) kuna temal on rohkem omadusi ja autor valib selle laagri, et arvutada liugelaagri tüüpi, mis sobib Cougar generaatorile.

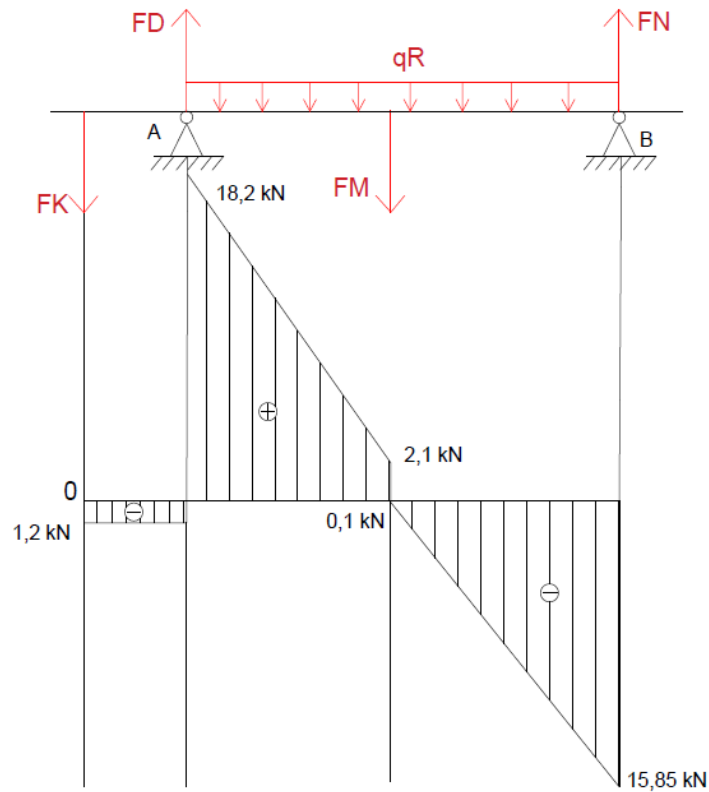
Arvutused

Rootori projekteerimise ajal arvutatakse temale sobilikud laagrite tüübid. Selleks et valida õige laage, peame me teadma, millised laagrite radikaalsed jõud mõjuvad rootori võllile (vt Joonis 2.9).



Joonis 2.9 Radikaalsed jõud

Rootori koormuse skeem on näidatud joonisel 2.9



Joonis 2.10 Rootori koormuse skeem

FD ja FN poolt laagrite jõu arvutame läbi valemi 2.6 ja 2.7:

$$\sum F = 0$$

$$-FK + FD - FM - FR + FN = 0$$

$$FD = FK + FM + FR - FN \quad (2.6)$$

$$-FK \cdot LK + FM \cdot LL + FR \cdot LR - FN \cdot LV = 0 \Rightarrow$$

$$FN = \frac{(-FK \cdot LK + FM \cdot LL + FR \cdot LR)}{LV}, \quad (2.7)$$

kus:

- . FK - jõud tingitud muhvi massist kN;
- . FD - laagrite jõud D poolelt kN;
- . FM - radiaalne magnetiline tõmme kN;
- . FR - jõud tingitud rootori massist kN;
- . FN - laagrite jõud N poolelt kN;
- . LK, LT, LL, LR, LMK ja LV - jõudude vahelised mõõdud (vt joonis 2.9)

Selleks, et leida FD ja FN jõud, me peame teadma FK , FM ja FR jõudusid.

$$1. \text{ Leiame } FK \text{ jõu läbi valemi 2.8: } FK = MK \cdot g + 18 \cdot \sqrt{\frac{OUTPUT \cdot 1000 \cdot COS}{V}} \quad (2.8)$$

[6]

kus

- . MK - muhvi mass = 43 kg;
- . g - vaba langemise kiirendus = 9,81 m/s²;
- . $OUTPUT$ - nimivõimsus = 2375 kW;
- . COS - võimsuse tegur = 0,8;
- . V - nominaalne kiirus = 1000 rpm.

$$FK = 43 \cdot 9,8 + 18 \cdot \sqrt{\frac{2375 \cdot 1000 \cdot 0,8}{1000}} \approx 1206 \text{ N}$$

$$2. \text{ Leiame } FM \text{ jõu läbi valemi 2.9: } FM = KDM \cdot DELTA \cdot 0,05, \quad (2.9) [6]$$

kus

- . KDM - radikaal magnetiline jõud = 8,11 N/mm;
- . $DELTA$ - nominaalne õhuvähe = 5,5 mm.
- . $FM = 8,11 \cdot 5,5 \cdot 0,05 = 2,23 \text{ kN}$

$$3. \text{ Leiame } FR \text{ jõu: } FR = MR \cdot g, \quad (2.10) [6]$$

kus:

- . MR - rootori mass = 3474 kg.
- . $FR = MR \cdot g = 3474 \cdot 9,8 \approx 34045 \text{ N}$

4. Kui me teame FK , FM ja FR jõudusid, siis saame leida FN ja FD jõud.

$$FN = \frac{(-FK \cdot LK + FM \cdot LL + FR \cdot LR)}{LV} =$$

$$\frac{[-(MK \cdot g + 18 \cdot \sqrt{(OUTPUT \cdot 1000 \cdot COS/N)}) \cdot LK + (KDM \cdot DELTA \cdot 0,05) \cdot LL + (MR \cdot g) \cdot LR]}{LV \cdot 1000} =$$

$$\frac{[-(43 \cdot 9,8 + \sqrt{(2375 \cdot 1000 \cdot 0,8/1000)}) \cdot 570 + (8,11 \cdot 5,5 \cdot 0,05) \cdot 1133 + (3474 \cdot 9,8) \cdot 1099]}{2399 \cdot 1000} =$$

$$\frac{1206 \cdot 507 + 2,23 \cdot 1133 + 34045 \cdot 1099}{2399 \cdot 1000} \approx 15,85 \text{ kN}$$

$$FD = FK + FM + FR - FN =$$

$$\frac{[MK \cdot g + 18 \cdot \sqrt{(\text{OUTPUT} \cdot 1000 \cdot \text{COS}/N)} + KDM \cdot \text{DELTA} \cdot 0,05 + MR \cdot g]}{1000} - FN =$$

$$\frac{[43 \cdot 9,8 + 18 \cdot \sqrt{(2375 \cdot 1000 \cdot 0,8/1000)} + 8,11 \cdot 5,5 \cdot 0,05 + 3474 \cdot 9,8]}{1000} - 15,85 =$$

$$\frac{1206 + 2,23 + 34045}{1000} - 15,85 = 19,4 \text{ kN}$$

Õige laagri valimiseks on vaja veel teada selle pinnarõhku. Pinnarõhku saab arvutada

läbi valemi 2.11: $p = \frac{F}{D \cdot L} \cdot 1000$, (2.11) [23]

kus:

- . F - laagrite koormus: $FD=19,4 \text{ N}$ ja $FN=15,85 \text{ N}$;
- . D - nominaalse ava diameeter
- . L - laagri laius, mille me valime ise laagrite tüübi. [9]

Tulemus ei tohi olla rohkem kui 1,5 MPa, kuna suur pinnarpaine võib teha laagri katki.

Näiteks võtame tabelist kaks laagrite tüüpi: D poolt EF11-125 laager laiussega 85 mm ja N poolt EF9-100 laager laiussega 65 mm.

D poolt laagri pinnarõhk: $p_1 = \frac{19,4}{125 \cdot 85} \cdot 1000 \approx 1,83 \text{ MPa} > 1,5 \text{ MPa}$ - Laager ei sobi.

N poolt laagri pinnarõhk: $p_2 = \frac{15,85}{100 \cdot 65} \cdot 1000 \approx 2,44 \text{ MPa} > 1,5 \text{ MPa}$ - Laager ei sobi.

Valime teist tüüpi laagrid suurem ava diameetriga ja laiussega: D poolt EF18-160/180 laiussega 135,7 mm ja N poolt EF14-160/180 laiussega 106,4 mm. [9]

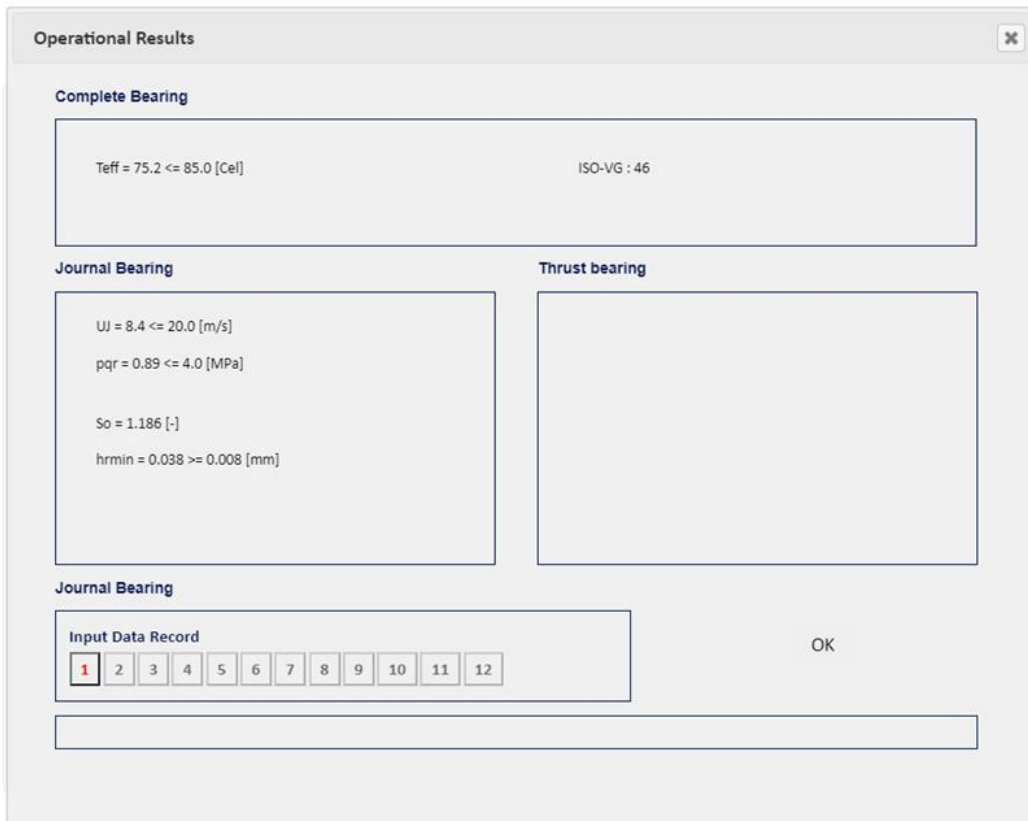
D poolt laagri pinnarõhk: $p_1 = \frac{19,4}{160 \cdot 135,7} \cdot 1000 \approx 0,89 \text{ MPa} < 1,5 \text{ MPa}$ - Laager sobib.

N poolt laagri pinnarõhk: $p_2 = \frac{15,85}{160 \cdot 106,4} \cdot 1000 \approx 0,93 \text{ MPa} < 1,5 \text{ MPa}$ - Laager sobib.

Tulemuse järgi Cougar generaatorile sobivad D poolele EF18-160/180 ja N poolele EF14-160/180 laagrite tüübid, kuna laagrite pinnarõhk (pinnapaine) on vähem kui 1,5 MPa ja ei saa mõjuda laagrite purunemiseks.

2.2.2. Laagri määrdeaine valimine

Laagrite määrdeaine valimiseks kasutatakse „sleeve bearing calculator“ programmi. See on programm, mis simuleerib läbi meie andmete vajaliku liugelaagritele määrdeaineid. Kõigepealt pannakse programmi sisse D poolt EF18-160/180 laagri järgmised andmed: kiirus, võimsus, temperatuur ja laagri suurus. Seejärel programm kalkuleerib ja annab tulemuse (vt Joonis 2.11), kus on järgmised andmed:



Joonis 2.11 SBC programmi tulemus

1. **Teff** on määrdeine temperatuur laagri tööajal. Tema maksimaalne piirang on 85°C, kui tulemus on rohkem 85°C, siis see tähendab, et määrdeaine hakkab auruma ja laager jätkab töötamist ilma määrdeaineta, mis viib laagrite vigastamiseni. D poolt EF18-160/180 laagri temperatuur on 75,2°C (vt. Joonis 2.10), mis rahuldab valikut.
2. **Pqr** on paine laagritele. SBC programm näitab, et maksimaalne paine on 4 MPa. Kui tulemus on 4 MPa lähedal, tähendab see, et laagrite tööajal kasutatakse kahte pumpa. Esimene pump tõstab võlli üles ja teine pump jahutab ja tsirkuleerib õli. Kui pumbad puuduvad, siis maksimaalne paine on 1,5 MPa. Kuna EF18-160/180 laager on ilma pumbata, siis tulemus (vt. Joonis 2.11) $0,89 < 1,5$ MPa rahuldab valikut.

3. **Hrmin** on laagrite töö ajal õli paksus. Minimaalne õli paksus peab olema 0,008mm. EF18-160/180 laagri õli paksus on 0,038mm, mis 0,020 mm on rohkem ja see on määratud varude jaoks.
4. Põhilisemad andmed tabelis on ISO-VG:46. See tähendab, et programm SBC soovib kasutada õli viskoossus tüübiga ISO-VG 46.

Arvutame N poolt EF14-160/180 laagri määrdeaine (vt lisa 4):

Saime andmed, kus treff on 75,4°C; $pqr=0,93 < 1,5\text{MPa}$; $hrmin = 0,030 \text{ mm}$. Tulemused rahuldavad valikut ja SBC programm soovib kasutada sama viskoossus tüübiga ISO-VG 46 õli.

Kui võrrelda EF11-125 laagri tüübiga (vt lisa 5), siis pqr tulemus $1,83 > 1,5\text{MPa}$ on laagri liigne ja viib laagri vigastuseni. Tulemus $hrmin = 0,015 > 0,008 \text{ mm}$ ka ei sobi, kuna minimaalne varu peab olema +0,020 mm.

2.2.3. Võlli liistu andmete arvutamine

Võlli liistu arvutamiseks on vaja järgmiseid andmeid:

1. Y - voolavuspiir= 285 MPa
2. P - mehaaniline võimsus= 2375 kW
3. V - kiirus= 1000 rpm
4. M - väändmoment= $\frac{9,5488 \cdot P}{V} = \frac{9,5488 \cdot 2375}{1000} \cdot 1000 = 22678,4 \text{ Nm}$ (2.12) [10]
5. konstandid SI süsteemist: $K = 5,25$; $n = 191,7$; $C_1 = 1186$; $C_2 = 413,7$ [6]

Kõigepealt leiame minimaalse võlli diameetri läbi valemite 2.12 ja 2.13:

$$b = 0,073 + \frac{n}{Y} = 0,073 + \frac{191,7}{285} \approx 0,746 \quad (2.12) [6]$$

$$m = \frac{C_1}{C_2 + Y} = \frac{1186}{413,7 + 285} \approx 1,69 \quad (2.13) [6]$$

Paneme kõik andmed valemisse 2.14

$$d = K \cdot ((b \cdot T)^2 + (m \cdot M)^2)^{\frac{1}{6}} \quad (2.14) [6]$$

$$d = 5,25 \cdot ((0,746 \cdot 95493)^2 + (1,697 \cdot 5121)^2)^{\frac{1}{6}} \approx 218 \text{ mm}$$

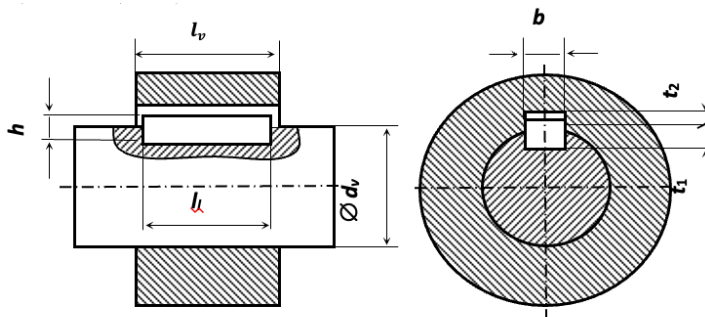
Minimaalne võlli läbimõõt

$$D = 1,1 \cdot d = 1,1 \cdot 218 \approx 240 \text{ mm} \quad (2.15) [6]$$

Kuna võlli läbimõõt on 240 mm, siis tabelist valime järgmised liistu andmed (vt Joonis 2.11): $b=56$; $h=32$; $t_1 = 20 \text{ mm}$; $t_2 = 12,4 \text{ mm}$ [7]

Valime standardse liistu pikkuse $l_v = 280 \text{ mm}$

Liistu pikkus: $l_l = l_v - (5 \dots 10) = 280 - (5 \dots 10) = 275 \dots 270 = \text{kesmine } 273 \text{ mm}$.



Joonis 2.12 Liistu mõõdud

Liistu valmistatakse terase C45E materjalist, kus $R_{p0,2} = 370 \text{ MPa}$ ja $R_{p0,2} = 370 \text{ MPa}$.
 Muljumispinge on lubatud $[\sigma]_C = 100 \text{ MPa}$ piires. [23]

Kontrollime muljumispinget:

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot M}{d \cdot (h - t_1) \cdot (l_1 - b)} = \frac{2 \cdot 22678,4}{0,24 \cdot (0,032 - 0,02) \cdot (0,273 - 0,056)} \approx 72,6 \text{ MPa} < [\sigma]_C \approx 100 \text{ MPa} \quad (2.16) \quad [23]$$

Valitud liist rahuldab tugevustingimust ja järgmine etapp on viia läbi liistu kontroll lõikele. Lubatud lõikepinge arvutatakse läbi valemi $[\tau] = 0,6 \cdot \frac{R_{eH}}{S} \text{ MPa}$, kus S- varutegur, mille valime 1,5 ja R_{eH} on liistu voolavuspiir.

$$[\tau] = 0,6 \cdot \frac{R_{eH}}{S} \text{ MPa} = 0,6 \cdot \frac{370}{1,5} = 148 \text{ MPa} \quad (2.17) \quad [23]$$

Lõikepinge

$$\tau = \frac{2 \cdot M}{d \cdot b \cdot (l_1 - b)} = \frac{2 \cdot 22678,4}{0,24 \cdot 0,056 \cdot (0,273 - 0,056)} \approx 15,6 \text{ MPa} < [\tau] \approx 148 \text{ MPa} \quad (2.18) \quad [23]$$

Lõikepinge tulemus vastab tingimusele ja see tähendab, et liist pikkusega 280 mm ja laiusega 56 mm sobib völli läbimõõduga 240 mm.

2.2.4. Inertsia arvutus

Inertsia väärtust kasutatakse, kui tahetakse teada, milline on generaatori väändemoment. Generaatoril on maksimaalne inertsioue ja seda nõuet on oluline teada, kuna see võib mõjutada rootori suurust ja hooarata lisasid generaatori konstruktsioonis. Inertsia saab teada läbi testi ABB tehases (vt lisa 6). Inertsia on vaja arvutada täpsustega $\pm 10\%$, mis vastab IEC standarditele. [10]

Cougar generaatori rootor võib olla suure inertsiga, kuna rootor koosneb paljudest komponentidest: völli, ergutusest, ventilaatorist, poolustest ja PMG süsteemist. Selleks et arvutada rootori inertsia on vaja teada kõikide komponentide inertsia ja summerida need andmed: $J_r = J_{völl} + J_{erg} + J_{vent} + J_{poolused} + J_{PMG}$ (2.19) [25]

Kõigepealt arvutame völli inertsia läbi valemi 2.20:

$$J = \frac{r^2}{2} \cdot m, \quad (2.20) [25]$$

kus

r - raadius

m - mass. (vt lisa 13)

Völli inerts moment: $J_{völl} = \frac{0,140^2}{2} \cdot 1070 \approx 10,5 \text{ kgm}^2$, kus völli raadius on keskmine väärtus.

Ergutuse inerts: $J_{erg} = \frac{0,2275^2}{2} \cdot 151 \approx 3,9 \text{ kgm}^2$

Ventilaatori inerts: $J_{vent} = \frac{0,6^2}{2} \cdot 111,8 \approx 20,1 \text{ kgm}^2$

Pooluste inerts: $J_{poolus} = \frac{0,4055^2}{2} \cdot 2231,7 \approx 183,5 \text{ kgm}^2$

PMG süsteemi inerts: $J_{PMG} = \frac{0,178^2}{2} \cdot 16,7 \approx 0,3 \text{ kgm}^2$

Kogu rootori inerts on:

$$J_r = 10,5 + 3,9 + 20,1 + 183,5 + 0,3 = 220,3 \text{ kgm}^2$$

Autori arvutustega rootori inertsia saab võrrelda NX Teamcenter programmi tulemustega (vt lisa 7). NX Teamcenter programm näitab, et kogu rootori inerts on $235,1 \text{ kgm}^2$.

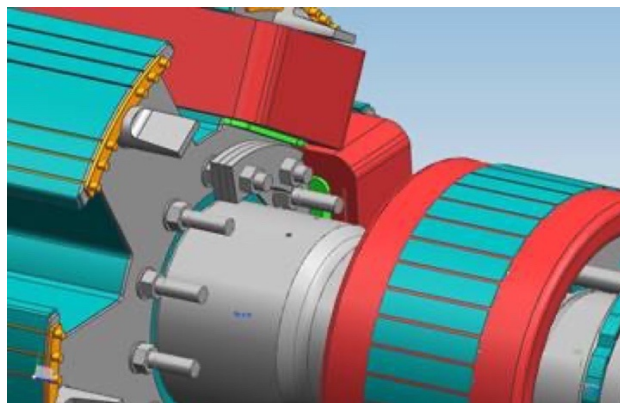
Erinevus NX programmiga on $100\% - \frac{220,3 \cdot 100\%}{235,1} = 100\% - 93,7\% = 6,3\% < 10\%$ ja see tähendab, et inerts on arvestatud õigesti.

3. ROOTORI MODERNISEERIMINE

Cougar generaatori tootmise ajal kasutatakse palju erinevad mehaanilisi töötlusteid, nagu keevitamine, stantsimine, freesimine jne. Pärast rootori kokkupanekut on kõige tõenäolisem defekt – rootori tasakaalustamatus, mis on tingitud paljudest teguritest. Sealhulgas võivad materjalide defektid tekkida pärast keevitamist või stantsimist või olla ebasümmeetrilise struktuuriga pärast freesimist ja sama tasakaalustusele võib mõjuda ebakvaliteetne rootori kokkupanek. Rootori tasakaalustamatus tekitab rootoris vibratsioon ja see on seotud rootori konstruktsiooniga. Liigne vibratsioon põhjustab generaatorikahjustust ja tema komponentide enneaegset vananemist. Selleks et vältida rootori pöörlevate komponentide liigset vibreerimist töö käigus toimub rootori tasakaalustamine. Rootori tasakaalustamine tagab kvaliteetse ja ohutu generaatori töö. Cougar rootori tasakaalustamine hõlmab kõiki komponente (erguti, ventilaator, PMG süsteem, pooluse ja võlli) tasakaalustamist. [17] [25]

Enne Cougar generaatori kokkupanekut toimub sünkroonrootorite tasakaalustamine ja selleks kasutab ABB M&G tehas tasakaalupinki Schenk, mille maksimaalne pöörlemiskiirus on 1750 p/min ja maksimaalne detaili kaal on 18 T. Schenk-i tasakaalupingi tööprintsip on tasakaalustada kõik jõud ja momendid, mis mõjuvad rootorile nii staatilistes kui ka dünaamilistes tingimustes. See tähendab, et kõik momendid ja jõud peavad võrduma nulliga. Selline printsip on väga sarnane auto rataste tasakaalustamisega, kus protsessi käigus kompenseeritakse erineva vastukaaluga tasakaalustava detaili jääktasakaalustamatus. Vastukaalud peavad olema hästi kinnitatud, kuna tasakaalustamise ajal rootor liigub väga kiiresti. [14]

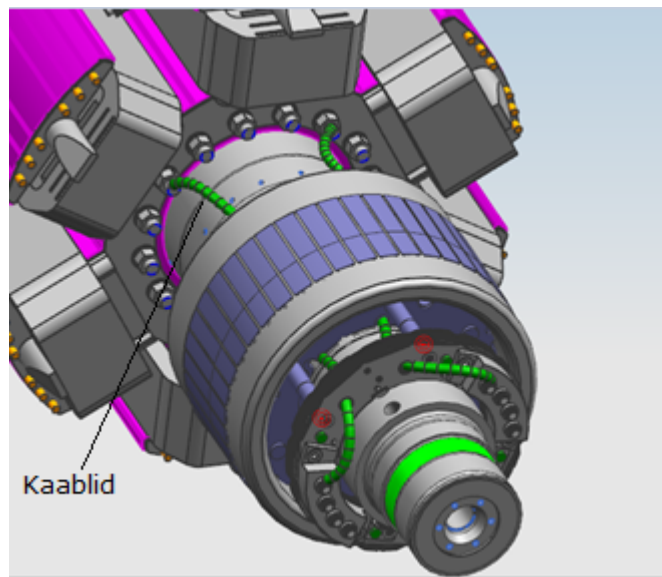
Kuue poolusega rootori projekteerimise ajal planeeriti panna vastukaalud keermelati peale, nagu joonisel (vt 3.1 Joonis).



Joonis 3.1 Kuue poolusega rootor

ABB insenerid ei võtnud arvesse, et ergutusest võlli mööda lähevad kaablid poolusse (vt Joonis 3.2). See on projekteeritud selliseks, et generaatori stardi ajal vool läheks

ergutusest poolustesse. Need kaablid takistavad vastukaalude panemist tasakaalustamise ajaks õigele kohale ja see tähendab, et rootor jääb tasakaalustamata. Teiseks, need pikad keermelatid, kuhu kinnitatakse vastukaalud takistavad pooluste mähkimist. See välja näeb niimoodi, et mähkimise protsessi ajal rootor pöörleb ja pooluste peale keeratakse vasktraadiga emailisolatsioon. Rootori pöörlemise ajal puudutavad pikad keermelatid isolatsiooni ja mähkimise protsess peatub. Emailisolatsioon vasktraadiga ei saa vigastada, kuna saab juhtida läbilööki. Selleks, et lahendada kõik need takistused on vaja leida õige koht vastukaaludele ja vabaneda keermelati komponentidest või teha see lühemaks.



Joonis 3.2 Kuuepooluseline rootor koos kaabliga

3.1. Erinevate meetmete leidmine rootori tasakaalustamiseks

Selleks, et tasakaalustada kuuepooluseline rootor, proovib autor leida paar alternatiivset varianti:

Esimene variant on teise rootori tasakaalustamisasendina kasutamine. See tähendab, et D poolt rootori ventilaatori ja N poolt rootori PMG süsteemi saab kasutada nagu tasakaalustamisasendina, kuhu on võimalik panna juurde vajalikke vastukaalud. D poolt ventilaatori sisemisele küljele saab kinnitada vastukaalud (vt Joonis 3.3), et vältida hilisemaid võimalikke kokkupuuteid teiste detailidega. Kui on vaja vähendada vastukaalu massi, siis saab lihvida vastukaalud nurklihvijaga. N poolt saab kinnitada vastukaalud PMG süsteemi juurde, kus on sobilikud kohad aukudega.



Joonis 3.3 Keevitatud vastukaal ventilaatoril [14]

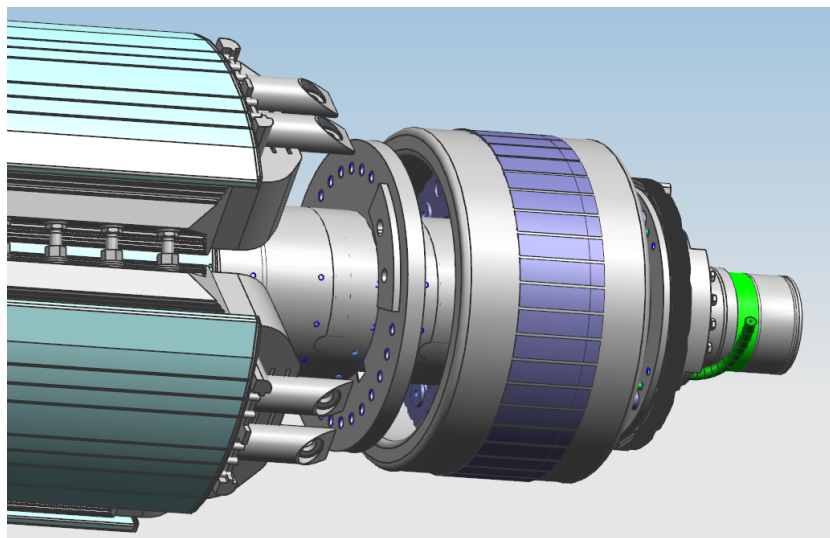
Autor arvab, et see on kõige raskem variant, kuna tasakaalustamiseks on vaja kasutada palju lisatöid - keevitamine ja lihvimine. Vastukaalud tuleb alati keevitada vastavalt WPS-le, sellepärast on vaja teha keevituskontrolli. Keevituskontrolli saavad teha ainult inimesed, kellel on VT2 sertifikaat. Lisaks on selle variandi puudus keevituspritsmed, mis võivad vigastada rootori komponenti. N poolt PMG süsteemi disain igal generaatoritüüpidel on alati erinev ja kablete jaoks auke, mis sobivad vastukaalude paigaldamiseks on võimalik muuta. See tähendab, et vastukaalude paigaldamiseks kohad PMG süsteemil on piiratud.

Teine variant on paigaldada vastukaalud võlli peale. Selleks on vaja teha uus vastukaalude disain, mis on sarnane võlli raadiusega ja paar auku võllile, kuhu poldi abiga kinnitatakse uue disainiga vastukaalud.

Sellist varianti on võimalik rakendada rootori moderniseerimiseks, aga autor arvab, et vastukaalude asend on liiga lähedal rootori keskmele ja see väheneb kesktõukejõudu ja tasakaalustamiseks on vaja kasutada rohkem massi.

Kolmas variant on moderniseerida tasakaalustamise rõngas. Sarnast rõngast (vt lisa 8) kasutatakse neljapooluselisel rootoril nägu joonisel 3.4, aga selline variant ei sobi

kuuepooluselise rootorile, kuna rohkem pooluseid tähendab, et paigaldatakse rohkem kaableid, mille asendid takistavad panna vastukaalud rõnga kõrvalt.

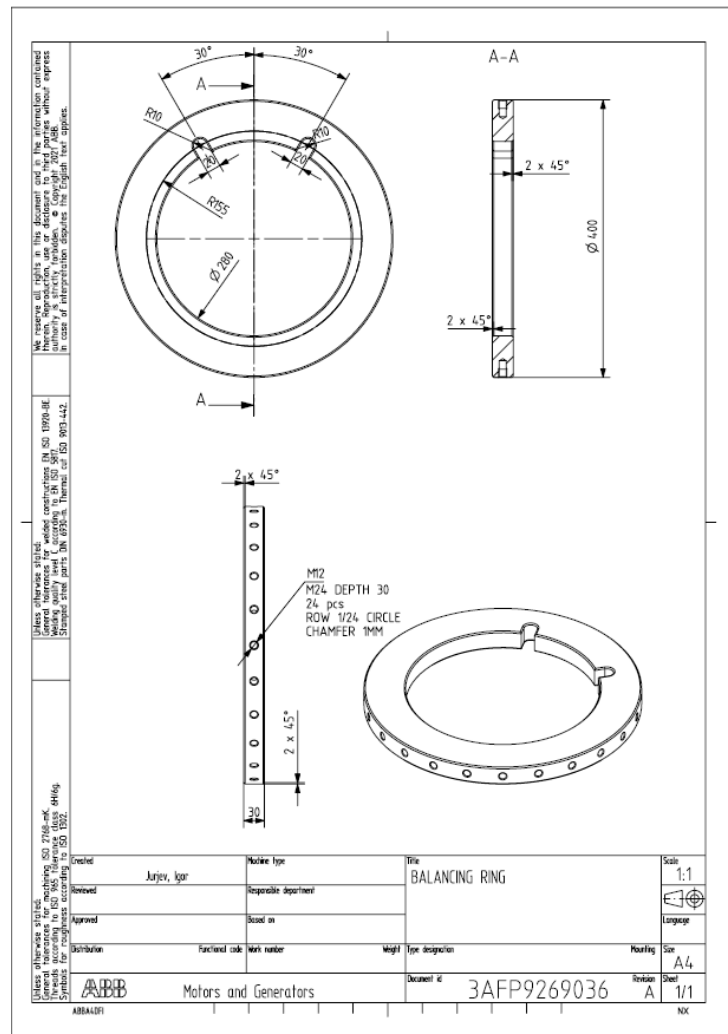


Joonis 3.4 Tasakaalustamise rõngas nelja poolusega rootoril

Kolmas variant on väga sobilik kuuepooluseline rootorile, aga selleks on vaja moderniseerida tasakaalustamise rõngast ja projekteerida temale uued vastukaalud.

3.2. Tasakaalustamise rõnga moderniseerimine ja vastukaalu projekteerimine

Kõigepealt on vaja leida õige koht rõngal, et kinnitamise ajal vastukaalud ei segaks kaableid ja teisi komponente. Selleks võiks projekteerida rõngast niimoodi, et vastukaalude kinnitamise koht oleks rõnga üleval (vt Joonis 3.5). Teiseks pakutakse teha lisaauke rõngal nägu joonisel 3.5, mis fikseerivad kaablid niimoodi, et generaatori tööajal need kaablid ei liigu.

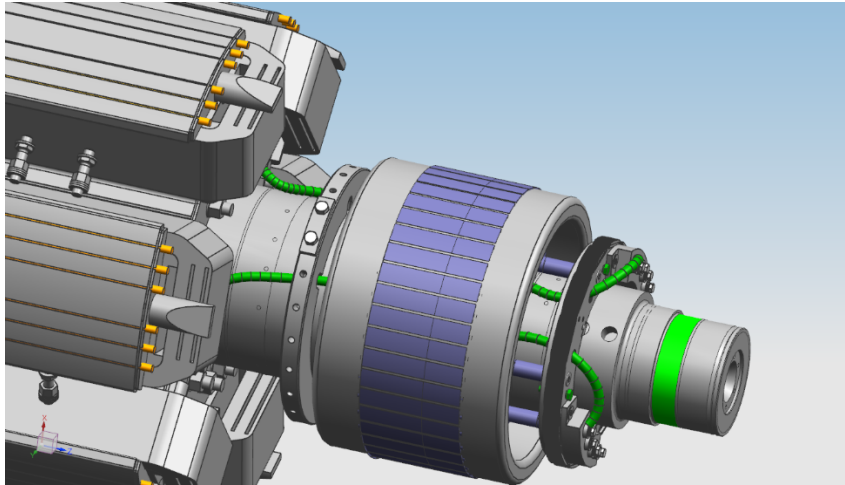


Joonis 3.5 Moderniseeritud tasakaalustamise rõngas

Uue tasakaalustamise rõnga disain omab palju omadusi:

1. Tasakaalustamise rõnga paksus 30 mm ja ta sobib väikese raamiga generaatorile, kus pooluste ja ergutuste vahel on liialt vähe ruumi tavalise rõnga paigaldamiseks (vt Joonis 3.6);
2. Tasakaalustamise rõnga kaal on 14,38 kg (vt lisa 9). See tähendab, et rõngaga rootori inerts suureneb, mis parandab generaatori efektiivsust;

3. Võimalik kasutada lühemaid keermelatte. See tähendab, et pooluste mähkimise ajal keermelatt ei vigasta vasktraadiga emailisolatsiooni;
4. Vastukaalude paigaldamiseks koht on väga mugav operaatorile, kes tasakaalustab rootorit;
5. Võimalik paigaldada nii palju vastukaale, kui on vaja;
6. Materjali tüüp on teras S355JR, mille hind on odavam kui teised materjalid;
7. Väga lihtne moderniseerida.



Joonis 3.6 Moderniseeritud tasakaalustamise rõngas rootoril

Vastukaalu disain on samasuguse raadiusega nagu tasakaalustamise rõngas (vt lisa 10) See on projekteeritud selliseks, et tema paigaldus oleks lihtne ja mugav. Kuna vastukaalud peavad olema erineva massiga, siis pakutakse välja projekteerida vastukaalud erineva paksusega:

- h5 mm – 100 g;
- h10 mm – 200 g (vt lisa 11);
- h15 mm – 300 g (vt lisa 12).

Vastukaalud kinnitatakse poldiga M12. Tasakaalustamise rõngast on võimalik kinnitada võllile liistu abiga, aga autor avab, et kuna liistu ja liistutsoonil on pilu, siis tasakaalustamist ei saa läbi viia õigesti. Autor pakub välja idee kinnitada tasakaalustamise rõngas võllile pingiistu abiga. See tähendab, et tasakaalustamise rõngas kuumutatakse kuni 120 °C ja jahutatakse võlli. Seejärel tasakaalustamise rõngas kinnitatakse võllile ja oodatakse kuni tasakaalustamise rõngas jaheneb. Selleks, et olla kindel, et tasakaalustamise rõngas hästi kinnitatakse võllile, teeb autor pingistu $\varnothing 280$ H7/p6 analüüsi.

3.2.1. Istu analüüs

Selleks, et teada mis tasakaalustamise rõnga ja võlli vahel on ist, pakutakse viia läbi istu $\emptyset 280 H7/p6$ analüüs, mis vastab ISO 286-2 standardile.

Nominaalne tasakaalustamise rõnga sise läbimõõt on D ja võlli läbimõõt on d:

$$D = d = 280 \text{ mm (vt lisa 13)}$$

saame piirhälbed:

$$ES = +52 \mu\text{m}, EI = 0, es = +88 \mu\text{m}, ei = +56 \mu\text{m}. [28]$$

Leiame tolerantsvälja:

$$T_D = ES - EI = 52 - 0 = 52 \mu\text{m}, \quad (3.1) [19]$$

$$T_d = es - ei = 88 - 56 = 32 \mu\text{m}.$$

Istu tolerants:

$$T_O = T_D + T_d = 52 + 32 = 84 \mu\text{m}.$$

Piirmõõtmed on järgmised:

$$D_{max} = D_{nom} + ES = 280 + 0,052 = 280,052 \text{ mm} \quad (3.2) [19]$$

$$D_{min} = D_{nom} + EI = 280 + 0 = 280 \text{ mm}$$

$$d_{max} = d_{nom} + es = 280 + 0,088 = 280,088 \text{ mm}$$

$$d_{min} = d_{nom} + ei = 280 + 0,027 = 280,027 \text{ mm}$$

Järgmine etapp on piirlõtku (-pingud) arvestus:

$$S_{max} = D_{max} - d_{min} = ES - ei = 52 - 56 = -4 \mu\text{m} \quad (3.3) [19]$$

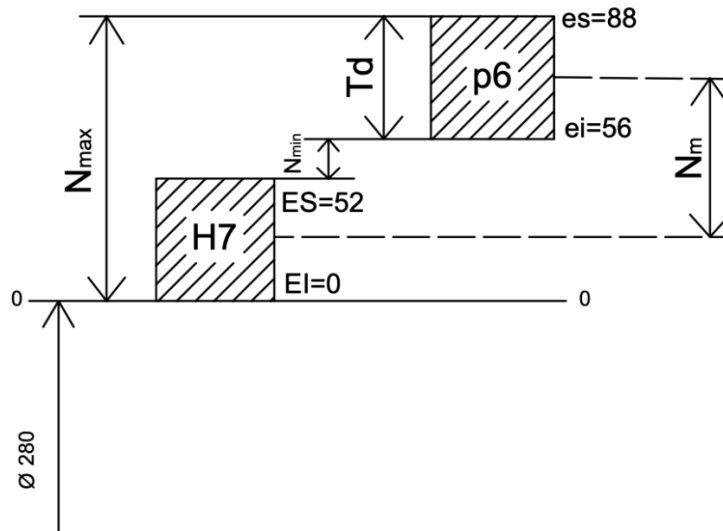
$$S_{min} = D_{min} - d_{max} = EI - es = 0 - 88 = -88 \mu\text{m}$$

$$N_{max} = -S_{min} = 88 \mu\text{m}$$

$$N_{min} = -S_{max} = 4 \mu\text{m}$$

Keskmine istu tolerantsi väärtus:

$$N_m = \frac{N_{max} + N_{min}}{2} = \frac{88 + 4}{2} = 46 \mu\text{m}. \quad (3.4) [19]$$

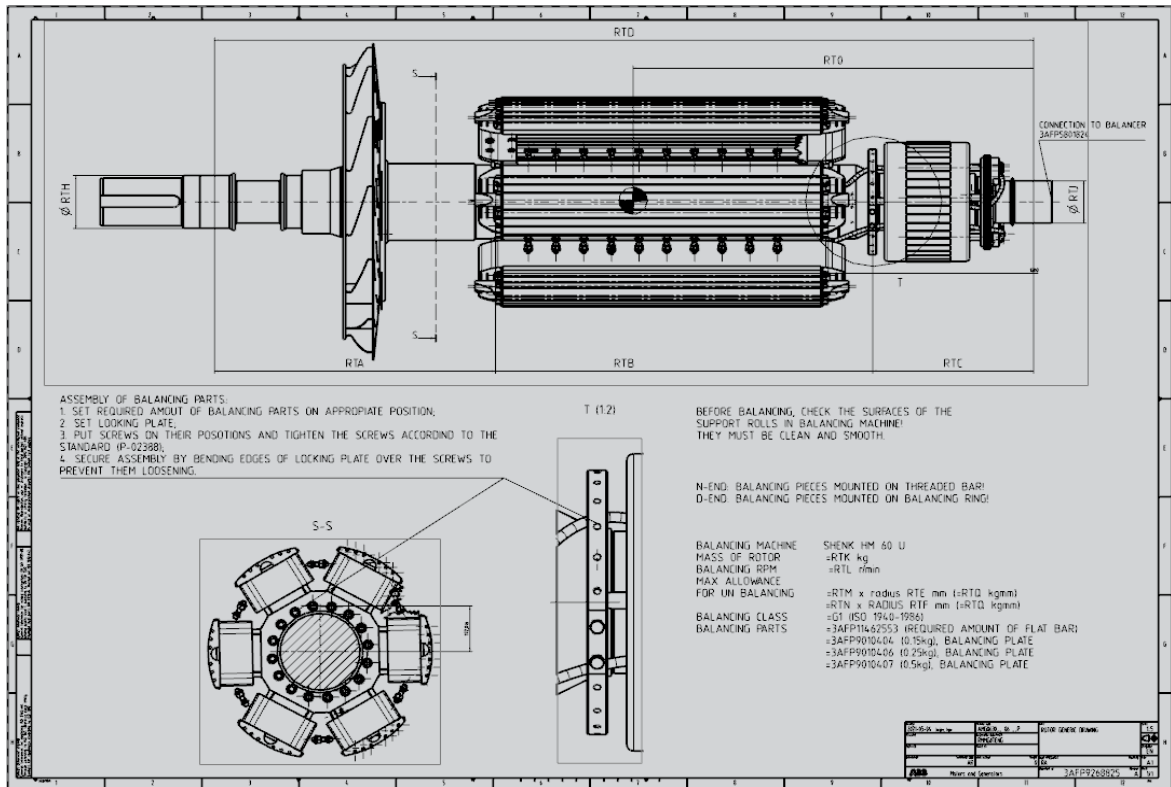


Istu $\varnothing 280 H7/p6$ on skemaatiline kujutamine

Järeldus: Skeem näitab, et istu $\varnothing 140 H7/p6$ on pingist ja sobib tasakaalustamise rõnga kinnitamiseks völli.

3.3. Tasakaalustamise joonise vormistamine

Tasakaalustamise joonist (vt Joonis 3.7) kasutab ABB M&G operaator, kes tasakaalustab rootorit. Joonisel on kirjutatud kõik vajalikud andmed, mida peavad teadma insenerid ja operaatorid. Kõik mõõdud on märgitud tähtedega, kuna joonis on standardne ja määratud erinevate mõõtudega rootoritele.



Joonis 3.7 Rootori tasakaalustamise joonis

Tasakaalustamise ajal operaator pöörab tähelepanu järgmisele andmetele:

1. Meeldetuletusele, et enne rootori tasakaalustamise tuleb kontrollida pingi toetusrollid, kuna nad peavad olema puhtad;
2. Kohtadele, kuhu on vaja paigaldada vastukaalud;
3. Tasakaalustamise komponentide kokkupanekule. Kõik vastukaalud peavad olema puhtad ja nende paigaldamise ajal rõngale, peavad kõik poldid olema tõmmatud kinni õige pingega, mis vastab (P-02388) standardile;
4. Tabelile, kus on kirjutatud milliseid vastukaale saab kasutada tasakaalustamiseks ja nende massid;
5. Rootori massile ja tasakaalustamise pöörlemiskiirusele;
6. Tasakaalustamise klassile ja tolerantsidele;
7. Mõõtudele, mis on märgitud tähtedega: RTD – mõõt toetusrollide vahel; RTA ja RTC on vastukaalude ja toetusrollide vahelised mõõdud; RTB on N ja D poolt

vastukaalude vaheline mõõt; RHT ja RTJ on N ja D poolt võlli läbimõõdud; RT0 on N poolt toetusrolli ja jõukeseme vaheline mõõt.

Kui kõik rootori tasakaalustamise komponendid on projekteeritud õigesti ja operaator tähelepanelikult juhindub joonisest, siis rootor saab tasakaalustatud.

3.4. Majandusliku efektiivsuse arvestamine

Cougar generaatori moderniseerimise ajal soovitatakse valida mitte kõige odavam või kallim variant, aga kõige efektiivsem, kuna ABB M&G tehas pakub ainult kvaliteetsed tooteid, millele on määratud garantii kuni 5 aastat.

Kuuepooluseline Cougar generaator koosneb paljudest komponentidest ja moderniseerimiseks tuleb muuta komponentide disaini, mis on kõige kallim variant. Autori töös on (kolmandas peatükis) generaatori moderniseerimise teine variant seotud võlli disaini muutmisega, kuna vastukaalude paigaldamise jaoks pakutakse teha võllile lisaauke. Kuna võll on kõige kallim komponent rootoris ja tema hind varieerub alates 16 000 eurost ja rohkem, siis tema disaini muutus on väga hinnaline variant.

Peatükis 3.1 pakutatakse välja ka esimene variant, mis on suunatud teise rootori tasakaalustamisasendina kasutamiseks. Selline variant sisaldab endas vastukaalude paigaldust ventilaatorile keevituse abil. Autor arvab, et see on ebasoodne variant, kuna keevitamiseks on vaja maksta lisaraha keevitajale, kelle tunnihind varieerub alates 12 eurot tunnis ja rohkem. Teiseks keevitamise ajal on suur tõenäosus vigastada teisi rootori komponente ja nende parandus või vahetus võib minna kalliks maksma ABB M&G tehasele.

Moderniseerida tasakaalustamise rõngas ja projekteerida uued vastukaalud on kõige kasulikum variant majanduslikust seisukohast. Tasakaalustamise rõnga materjalideks kasutatakse terast S355JR ja tema omahind on keskmiselt 1 euro kilogrammi kohta. Uue tasakaalustamise rõnga kaal on umbes 15 kilogrammi, see tähendab, et ainult metallihind on 15 või 17 eurot. Kõige kallim osa on metallitöötlus ja hind töötamise eest võib varieeruda 60 eurost kuni 100 euroni. Kuna rõngal on üleval auke, siis tema töötamine saab olema kõige raskem, sellepärast autor pakub maksimaalset hinda töötamise eest. Kogu tasakaalustamise rõnga hind võib varieeruda 115 eurost kuni 120 euroni. See hind sisaldab ka vastukaalude hinda, kuna rõngas ja vastukaalud on toodetud ühes komplektis. Autor arvab, et see on majanduslikult väga kasulik variant ja sellisel viisil saab säästa ABB M&G tehase raha, kuna rõnga hind ei ole nii suur võrdluses generaatori komponentide muutmisega või vastukaalude keevitamisega.

KOKKUVÕTE

Compact HV sünkroonse generaatori moderniseerimine on väga põnev protsess, kus autor rakendas oma teadmisi mehaanilises disainis. Selleks on väga hea teada, millest generaator koosneb ja millised protsessid toimuvad konstruktiivsete detailide vahel. Antud töö saab aidata algajaid insenere, kes on huvitatud süsteemsest arusaamisest ja üldisest tehnilise taiplikkuse arenemisest. Moderniseerimise ajal tekib üldine pilt, kuidas generaatori komponendid omavahel liiguvad ja mingi probleemi lahendamisel on väga tähtis taiplikkus, mis aitab kiiresti ja õigesti lahendada riket.

Cougar generaatori kokkupaneku ajal tekkis defekt rootori tasakaalustamises. Tänapäevaks selline defekti lahendus on aktuaalne ja ABB M&G tehas on valmis arutama erinevaid pakkumisi. Lõputöös pakutakse kolm erinevat varianti, et tasakaalustada rootorit. Kõige sobilikum variant nii majanduse kui ka mehaanilise poole pealt vaadatuna on rakendada tasakaalustamise rõngast ja anda temale uus disain, et vastukaalude paigaldus oleks lihtsam ja mugavam.

Selleks et alustada Cougar generaatori moderniseerimist, on vaja uurida palju vajalikku informatsiooni:

1. Kõigepealt on vaja uurida generaatori komponente ja nende funktsiooni generaatori töös. Selleks külastas autor tootmistsehhi, kus jälgis generaatori kokkupanekut ja tegi endale vajalikke märkmeid. Eraldi oli uuritud staatori ja rootori kokkupanekut;
2. Kuna moderniseerimise objekt on rootor, siis tuli otsida rohkem värsket informatsiooni erinevatest allikatest, mis on seotud rootori komponentide arvestusega. AMM M&G tehase informatsiooni baas on suur ja seetõttu võttis autor olulise informatsiooni ja rakendas lõputöös;
3. Põhiline probleem on seotud rootori tasakaalustamisega. Probleemi lahendamiseks uuris autor tootmises tasakaalustamise protsessi ja otsis andmebaasist värsket informatsiooni.

Kogu informatsioon oli analüüsitud, misjärel pakutakse erinevaid variante generaatori moderniseerimiseks, kus uue disainiga tasakaalustamise rõngas saab lahendada rootori tasakaalustamise probleemi.

ABB M&G tehasel on võimalus esitada ettepanek, kus töötajad pakuvad oma ideid tootmise arendamiseks. Kuna kõik vajalik informatsioon (joonised, arvestused, skeemid) on kogutud, siis autoril on plaanis täita kõik vajalikud blanketid, et pakkuda ettevõttele moderniseerida Cougar generaator ja lahendada rootori tasakaalustamise probleemi. Tõenäosus realiseerida seda projekti on suur, kuna moderniseerimine omab palju edemusi. Kõigepealt kui kasutada NX programmi, siis on väga lihtne lisada muutusi

tasakaalustamise rõngale. Teiseks, selline moderniseerimine on ettevõttele majanduslikult kasulik, kuna rõnga hind ei pea olema suurem kui 120 eurot. Kui ABB M&G tehas hilineb tootmisega ja ei jõua tarnida tellijale generaatorit, siis tal on suuremad kulud kui 120 eurot. Kolmandaks, sarnast tasakaalustamise rõngast autor ei leidnud. See tähendab, selline moderniseerimine saab pakkuda huvi ka teistele ettevõtetele.

Kui ABB M&G tehas hakkab realiseerima Cougar generaatori moderniseerimise projekti, siis autor saab jätkata tegeleda tööga ja jälgida, kuidas uue disainiga rõngas aitab lahendada probleemi rootori tasakaalustamisega. Lisaks saab autor antud lõputööga panna aluse magistritööle, kus moderniseerimiseks saab valida teise generaatori komponendi, kuna generaatori tootmine areneb iga aastaga ja nõuab värskeid ideid.

The topic of Igor Yuryev's degree thesis "Modernization of Compact HV synchronous generators" relates to the production process at the ABB Motor and Generator factory. The topic arose during a 3.5-month professional internship, when the author gained the necessary experience to understand the design engineer's workflow and find a serious obstacle in the production of a generator.

In 2020, ABB's M & G plant received an order to produce two Compact HV synchronous generators. The difference of this generator from other similar generators is that its rotor has six poles. The ABB M & G plant usually produces similar high-voltage generators, but their rotors are four-pole. Such a difference means that the six-pole rotor must have another mechanical design.

After much engineering work, the rotor has received an updated design, and the main difference from other rotors is that there is no balancing ring on the shaft, as in the case of a four-pole rotor. The engineer's solution was to put a counterweight on a threaded pin aimed at balancing the rotor. There are sixteen threaded pins in the rotor, and they all pass through six poles. It was originally planned to leave such a rotor design, but during the balancing process, the operator could not place the counterweights on the rotor, because the cables are located next to the threaded pins, and they prevent the counterweights from being placed in the correct position. This means that the rotor remains unbalanced.

To this day, such an obstacle is still relevant, and the author plans to study various solutions to find the right option for balancing the rotor.

During the study of Cougar's mechanical design, the author plans to answer the following questions:

1. What components does the Cougar generator consist of and how does the generator assembly take place?

2. What is the stator and rotor manufacturing process at ABB M&G Factory and how are their calculations made?

3. What are the variants of rotor modernization, and which option is best?

4. How the rotor modernization process must take place and whether the option chosen is suitable for the ABB M&G plant to continue making products.

To find answers to these questions, the author can set work goals:

1. Cougar component composition and generator assembly process description;

2. Description of the process of stator and rotor production and description of various calculations during the preparation of their design;

3. Find the right option for rotor modernization and compare it with other variants;

4. Conducting theoretical analysis of patents and taking into account the economic efficiency of rotor modernization.

In the degree thesis, a qualitative research method was used, since the sources in different languages located in the database of ABB M&G and at the manufacturing plant were studied and analyzed. Only after studying it will you be able to find the right solution to the problem of balancing the rotor. To change the design of the rotor, the compiler used the NX CAD program and the additional Teamcenter program, the main function of which is to store all the necessary project data (processes, products).

To date, such a defect solution is topical, and the ABB M&G plant is ready to discuss various offers. The author's work offers three different variants to balance the rotor. The most suitable option, both on the economic and mechanical side, is to apply the balancing ring and give it a new design to make the installation of counterweights easier and more convenient.

All the information collected was analyzed, at which point various variants are offered for the modernization of the generator, where a new design balancing ring can solve the rotor balancing problem.

The ABB M & G Factory has the opportunity to submit proposals in which employees will offer their ideas for manufacturing development. Since all the necessary information (drawings, calculations, diagrams) has been collected, the author plans to fill out all the necessary forms to offer the company to modernize the Cougar generator and solve the problem of rotor balancing. The probability of realizing this project is high, since modernization has many successes. First of all, if you use the NX program, it is very easy to add changes to the balancing ring. Secondly, such modernization is economically beneficial for the company, since the price of the ring does not need to be more than 120 euros. If the ABB M & G plant will be late in manufacturing and can't deliver the

generator to the customer, it will have a higher cost than 120 euros. Thirdly, a similar balancing ring was not found by the author. This means that such modernization may also be of interest to other companies.

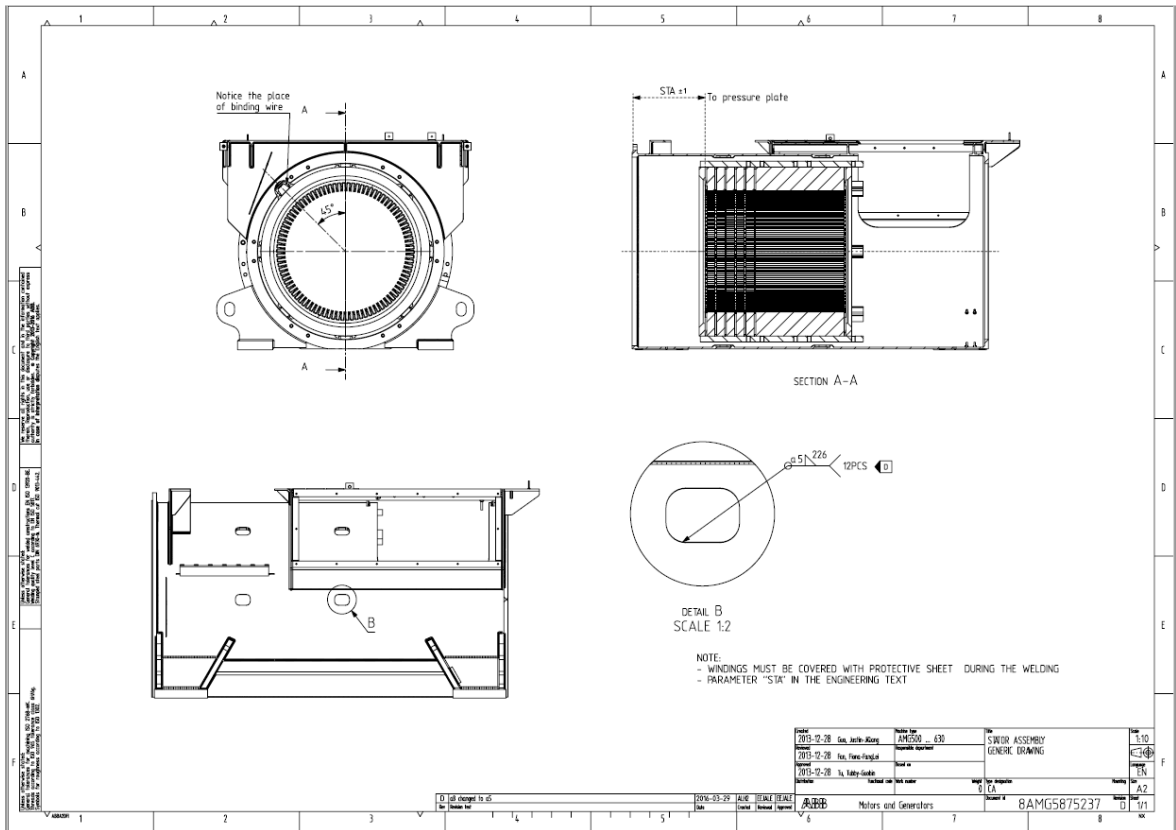
When the ABB M & G plant begins to realize the Cougar generator modernization project, the author can continue to work and observe how the ring with the new design will help solve the problem of balancing the rotor. In addition, the author will be able to lay the foundation for a master's thesis, in which another generator component can be selected for modernization, since the production of the generator develops every year and requires fresh ideas.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. ABB AS. Ettevõtte profiil ja organisatsioon. [Online] <https://new.abb.com/ee/meist/eestis> (25.03.21)
2. ABB AS: M&G. Motors and Generators. [Online] <https://new.abb.com/motors-generators/> (02.04.21)
3. ABB AS: M&G. Low voltage generators. [Online] <https://new.abb.com/motors-generators/generators/generators-for-diesel-and-gas-engines/low-voltage-generators-for-industrial-applications> (04.04.21)
4. ABB AS: M&G. High voltage generators for diesel and gas engines. [Online] <https://new.abb.com/motors-generators/generators/generators-for-diesel-and-gas-engines/high-voltage-generators-for-diesel-and-gas-engines> (04.04.21)
5. ABB AS: M&G. Low voltage generators for marine application. [Online] <https://new.abb.com/motors-generators/generators/generators-for-diesel-and-gas-engines/low-voltage-generators-for-marine-applications> (04.04.21)
6. ABS Rules for building and classing. Part 4 vessels systems and machinery. <https://fddocuments.in/document/abs-rules-for-steel-vessels-part-4.html> (27.04.21)
7. Keyway and Key Size Dimensions. [Online] <https://isccompanies.com/wp-content/uploads/2017/01/Keyway-and-Key-Size-Dimensions.pdf> (08.05.21)
8. RENK group. Liugelaager. [Online] <https://www.renk-group.com/en/products-and-service/products/slide-bearings/e-bearings/ef-type/> (06.05.21)
9. RENK group. Laagrite valik. [Online] <https://www.renk-group.com/en/products-and-service/products/slide-bearings/e-bearings/overview/> (07.05.21)
10. ABB AS M&G. Handbook Machine Description Document 3AAM260269004
11. ABB AS M&G. Tööjuhend AMG 500-600 staatori paigaldamine korpuse 7ABC700953
12. ABB AS M&G. Tööjuhend AMG 500-630 tähtrootori paketi valmistamise 7ABC700726
13. ABB AS M&G. Tööjuhend AM staatoripaketi valmistamine 7AMC700533
14. ABB AS M&G. AMG 560-630 MV/HV rootori balansseerimise tööjuhend 7ABC700760
15. ABB AS M&G. Technical description AMG Compact MV/HV 3AAM100859
16. ABB AS M&G. Test report for synchronous machines 46181786
17. ABB AS M&G. Juhend giidile ekskursiooni läbiviimiseks M&G tehases 7ABC700239
18. Lehtla, T. Elektriajamid. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2007.

19. Lepikson, H. Masinaehitaja käsiraamat, II osa. Tallinn: Valgus, 1971.
20. Иванов-Смоленский А. Электрические машины, том 2. Москва: Электромеханика, 2006 г.
21. Кацман, М. Электрические машины. Москва: Электротехника, 2007 г.
22. Janson, K. Kallaste, A. Elektrimasinate alused. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2017.
23. Эрдери, А. Эрдери Н. Техническая механика, детали машин. Москва: Машиностроение, 1991 г.
24. Tong, W. Mechanical Design of Electric Motors. New York: CRC PRESS Taylor & Francis Group, 2014.
25. Boldea, I. Synchronous generators, second edition. Timisoara: University Politehnica Tomiosora, 2016.
26. Макаревич, Ю. Овсянников, В. Синхронные машины, учебное пособие. Самара: Самарский государственный технический университет, 2011 г.
27. Leibur, K. Kolmefaasilise aksiaalvooga sünkroongeneraatori õppemaketi väljatöötamine: lõputöö. Tallinn, TTÜ, 2017.
28. Geometrical product specifications – part 2. Tables of standard tolerance classes and limit deviations for holes and shafts: ISO286-2:2010. Geneva, International Organization for Standardization, 2010.

Lisa 2 Raami keevituse joonis [11]



Lisa 3 Võlli paigaldus [12]

SHRINK FIT: TEMPERATURE DIFFERENCES AMG500 - 300°C; AMG560 - 300°C; AMG630 - 350°C
 POLE CORE (#2) IS ASSEMBLED TO SHAFT (#1) BY SHRINK FIT.
 NOTE! KEYWAY ON THE SHAFT IS POSITION IN BETWEEN OF TWO POLES.

SHAFTE MOUNTED SO THAT MARKS ON THE SHAFT AND ON COPPER PLATE ARE ADJUSTED.

B (1:1)

Created	2016-03-18	Paigaldus, Aakase	Machine type	AMG500_630	Title	ROTOR CORE WITH SHAFT GENERIC DRAWI	Scale	1:5
Revised	2016-03-18	Maki, Loos	Responsible department				Language	EN
Approved	2016-03-18	Terasmaa, Juhon	Stand in				Version	A2
Author			Technical job	RA	Weight	0	Part designation	
			Area number		Material	RA	Drawing	
					Stocked at	3AGA3904553	Revision	A
							Sheet	1/1
							Doc	

ABBADP1 1 2 3 4 5 6

Lisa 4 SBC programmi EF14-160/180 laagri tulemus

Operational Results ✕

Complete Bearing

Teff = 75.4 <= 85.0 [Cel] ISO-VG : 46

Journal Bearing **Thrust bearing**

UJ = 8.4 <= 20.0 [m/s]

pqr = 0.93 <= 4.0 [MPa]

So = 1.310 [-]

hrmin = 0.030 >= 0.008 [mm]

Journal Bearing

Input Data Record

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

OK

Lisa 5 SBC programmi EF11-125 laagri tulemus

Operational Results ✕

Complete Bearing

Teff = 79.0 <= 85.0 [Cel] ISO-VG : 46

Journal Bearing **Thrust bearing**

UJ = 6.5 <= 20.0 [m/s]

pqr = 1.83 <= 4.0 [MPa]

So = 3.316 [-]

hrmin = 0.015 >= 0.008 [mm]

Journal Bearing

Input Data Record

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

OK



TEST REPORT

Customer <i>ABB Shanghai Free Trade Zone</i>	Machine <i>AMG 0900XJ08 LSE</i>	Page <i>17</i>
Order reference	Work nr: <i>2454HH401</i>	Serial nr <i>4681786</i>
Project <i>Guangzhou Salvage Bureau 80000dwt SSHLV</i>	Approved <i>Ermo Vihtre</i>	Revision <i>A</i>
		Report rev. <i>A</i>

14) Moment of inertia

$J = 1457 \text{ kgm}^2$

15) Tests with regulator

Version *A*

Position *Main 1*
 Manufacturer *ABB*
 Type *Unitrol 1020*
 Serial nr *00001191/3010*
 Drawing nr *3BHS537443E20 revD*

Sustained short-circuit test

I1, max = *2563 A*
 Im, max = *16.5 A*
 n, min = *675 rpm*
 ECL-10(Pos nr) = *16*

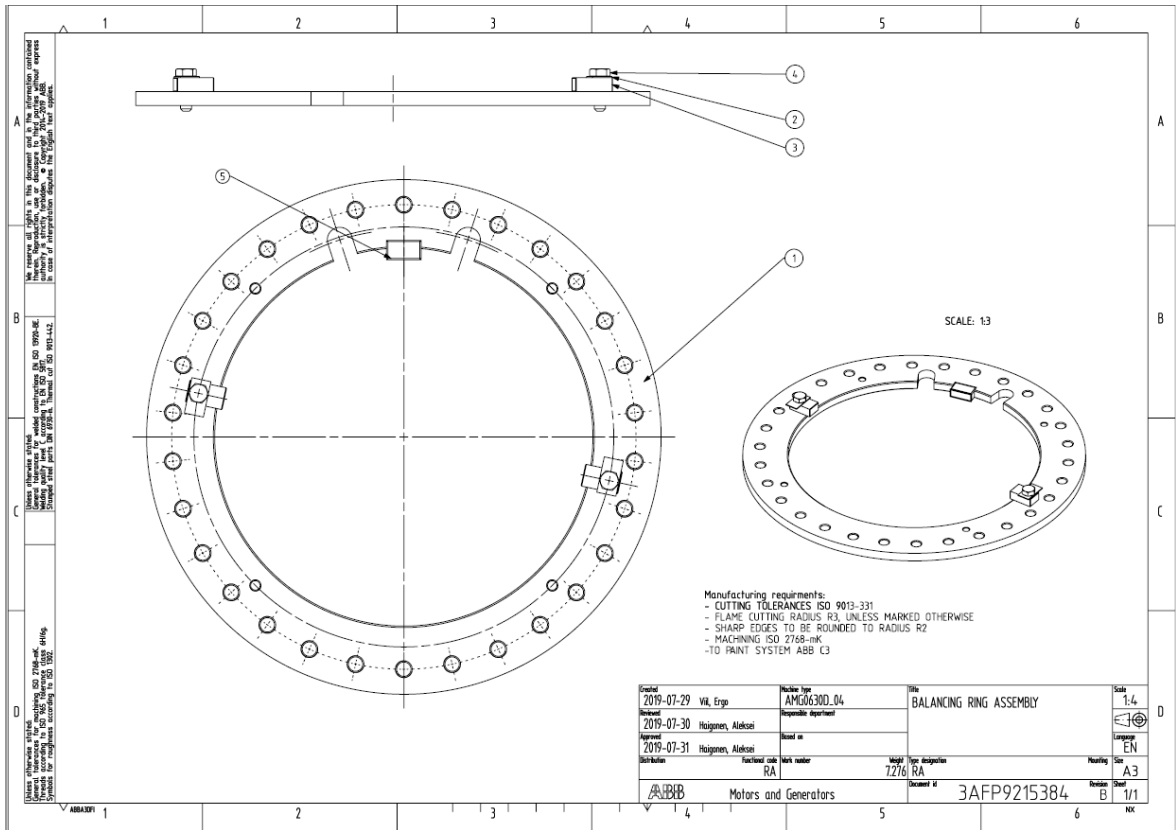
Terminals

4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	9 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13
<i>closed</i>	<i>open</i>	<i>open</i>	<i>open</i>	<i>open</i>	<i>closed</i>	<i>closed</i>	<i>closed</i>

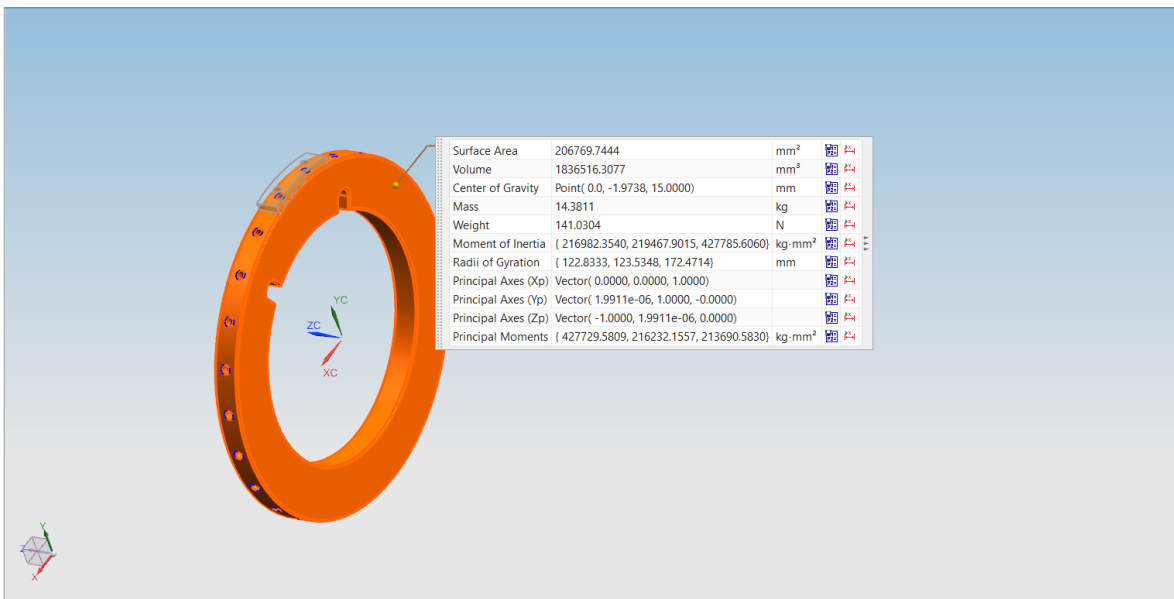
Other settings

Remanence voltage, U = *995.5 V*
 Voltage transformer *6600/110/110/110*
 Auxiliary voltage, Uaux = *24.0 V*
 Pulse Width of UM *17.2 %*
 Direction of Permanent Magnet *Ok*

Lisa 8 Tasakaalustamise rõngas nelja poolusega rootoril [12]



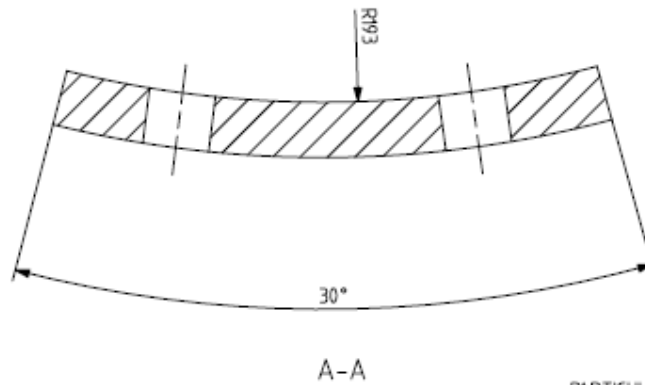
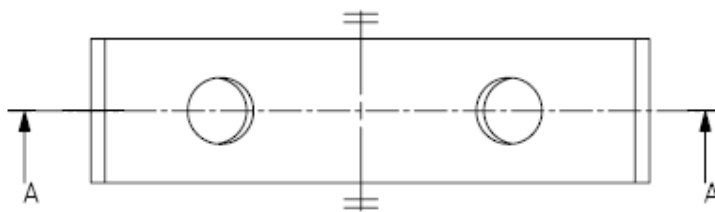
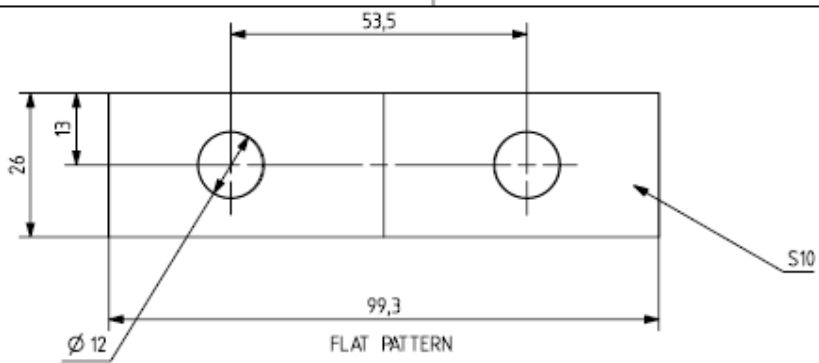
Lisa 9 Tasakaalustamise rõnga mass



We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure in any form without express written permission of ABB is prohibited. Any copying or reuse of this document in case of interpretation disputes the English text applies.

Unless otherwise stated:
 General tolerances for welded constructions EN ISO 1370-01
 General tolerances for castings EN ISO 1371
 Stamped steel parts DIN 6934-01 Thermal cast ISO 9013-442

Unless otherwise stated:
 Surface finishing ISO 2768-mk
 General tolerances for castings ISO 1371
 Symbols for roughness according to ISO 1302



PARTICULAR TOLERANCES
 -FLAME CUTTING ISO 9013-4.32

Created	Jurjev, Igar	Machine type	Title		Scale
Reviewed		Responsible department	VASTUKAAL		1:1
Approved		Based on			
Distribution	Functional code	Work number	Weight	Type designation	Mounting
Motors and Generators			Document id	3AFP9269189	Revision
					A
					Sheet
					1/1
ABBAADFI					NX

Lisa 11 Vastukaal S20

We reserve all rights in this document and in the information contained herein. Any reproduction, distribution, or disclosure of this document without express authority is strictly prohibited. © Copyright 2021 ABB. In case of interpretation disputes the English text applies.

Unless otherwise stated:
 Welding quality level C according to EN ISO 5817
 Stamped steel parts DIN 6730-m, Thermal cut ISO 9013-442.

Unless otherwise stated:
 Machining ISO 2768-mk
 Thread according to ISO 965, tolerance class 6H/6g
 Symbols for roughness according to ISO 1302.

FLAT PATTERN

A-A

PARTICULAR TOLERANTCES
-FLAME CUTTING ISO 9013-432

Scale 1:1

Language

Size A4

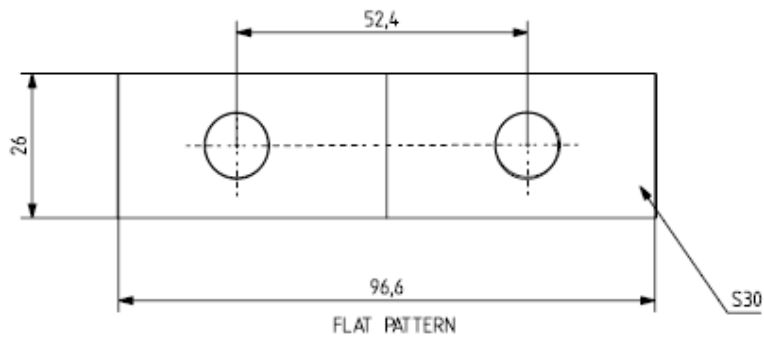
Sheet 1/1

Created	2021-05-17	Machine type	Title
Reviewed	Jurjev, Igor	Responsible department	VASTUKAAL
Approved		Based on	
Distribution	Functional code	Work number	Weight
		Motors and Generators	
Document id			Revision
3AFP9269597			A
			NX

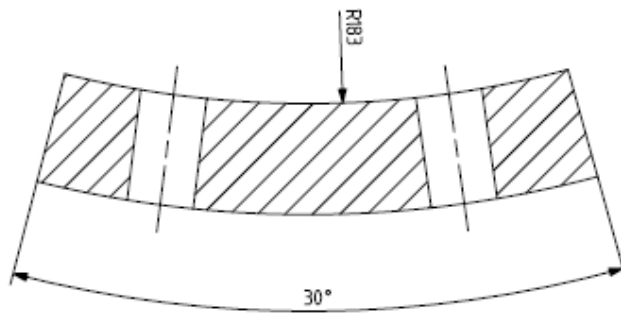
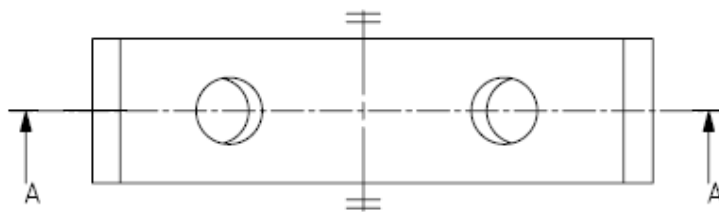
We reserve all rights in this document and in the information contained herein. No part of this document may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, without express written permission from ABB. All rights reserved. © ABB 2017. All rights reserved. In case of interpretation disputes the English text applies.

Unless otherwise stated:
 General dimensions: EN ISO 1970-01
 Welding quality level: EN ISO 5817
 Stamped steel parts: DIN 6730-11. Thermal cut: ISO 9013-4:42.

Unless otherwise stated:
 Surface roughness: ISO 7248-01
 Thread: according to ISO 945
 Reference class: 6H/6g
 Symbols for roughness according to ISO 1302.



FLAT PATTERN



A-A

PARTICULAR TOLERANCES
 -FLAME CUTTING ISO 9013-4:32

Created	2021-05-17	Jurjev, Igor	Machine type	Title		Scale
Reviewed			Responsible department	VASTUKAAL		1:1
Approved			Based on			
Distribution	Functional code	Work number	Weight	Type designation	Mounting	Language
						Size
						A4
Motors and Generators				Document id	3AFP9269606	Revision
						A
						Sheet
						1/1

ABBA4DF1

NX

