



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

TOOTMISSEADMETE VASTUVÕTUKATSETUSTE
PÕHIMÕTTED EESTI ÜLEKANDEVÕRGUS

PRINCIPLES OF COMPLIANCE TESTING IN ESTONIAN TRANSMISSION SYSTEM

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Karel Mägi

Üliõpilaskood: 122146 AAVM

Juhendaja: Paul Taklaja

Tallinn, 2017.a.

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.

“.....” 2017

Autor:
/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 2017

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”2017

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Karel Mägi	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Tootmiseseadmete vastuvõtukatsetuste põhimõtted Eesti ülekandevõrgus	
<i>Kuupäev:</i> 25.05.2017	98 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja :</i> Paul Taklaja	
<i>Töö konsultandid :</i> Rain Maripuu	
<i>Sisu kirjeldus:</i> <p>Antud magistritöös on keskendunud Eesti ülekandevõrgu operaatori Eleringi tootmiseseadmete nõuetekohasuse hindamise katsetustele nii sünkroongeneraatoritega soojuselektrijaamade ning ka läbi jõuelektroonika seadmete ühendatud tuule- või päikeseelektrijaamade puhul. Analüüsitud on näidiskatsekavas toodud erinevaid katsetusi ning toodud seosed, mida antud katsed peaksid näitama ning miks neid nõutakse. Osad katsed tulenevad otseselt Eestis kehtiva Võrgueeskirja nõuetest ning osad on tuletatud võrguettevõtja vajadustest kontrollida elektrijaamade tööd erinevates elektrisüsteemi talitluse olukordades.</p> <p>Lisaks on vaadeldud ka naaberriigi Soome süsteemioperaatori Fingridi nõudeid ja katsetusi ning võrreldud neid Eestis kehtivate normide ja nõuetega.</p> <p>Toodud on ka Eleringi katsekavadele soovitusel katsetuste puhul paremaks hindamiseks.</p> <p>Viimasena on simuleeritud mudelarvutustarkvaras sünkroongeneraatori lühiseläbimisevõimet erinevate tööpunktide korral.</p>	
<i>Märksõnad:</i> vastuvõtukatsetused, Võrgueeskiri, sünkroongeneraator, tuulikud, päikesepaneelid, staatiline stabiilsus, dünaamiline stabiilsus, kriitiline lühiseaeg	

Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Karel Mägi	<i>Kind of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> Principles of Compliance Testing in Estonian Transmission System	
<i>Date:</i> 25.05.2017	98 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor of the work:</i> Paul Taklaja	
<i>Consultants:</i> Rain Maripuu	
<i>Abstract:</i> <p>The focus of this thesis is to analyse Estonian Transmission System Operator grid compliance testing procedures for synchronous generators and for power park modules. In this thesis has been analysed grid compliance example test plan and all the tests for different purposes. This thesis discusses procedures to demonstrate compliance with the Estonian Grid Code and all the requirements it presents.</p> <p>In addition Finnish TSO Fingrid has their own requirements for testing and this thesis explains their specifications for the operational performances of power generating facilities, which includes synchronous generators and power park modules. Also there has been compared the Finnish and Estonian requirements.</p> <p>There has also given an opinion about the thoroughness of the test plans and some recommendations to improve the test plan.</p> <p>In the end of the thesis simulations in software PSSE have been made to analyse synchronous generators behaviour during and after different operating points.</p>	
<i>Key words:</i> grid compliance, Estonian Grid code, synchronous generator, wind farm, solar farm, small-signal stability, transient stability, critical fault duration	

Sisukord

Lõputöö ülesanne.....	7
Teema põhjendus:	7
Töö eesmärk:.....	7
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:.....	7
Lähteandmed:.....	8
Lõputöö konsultant:	8
Eessõna	9
Sissejuhatus.....	10
1. Katsetamise vajalikkus	12
2. Sünkroongeneraatorid	14
2.1 Generaatori parameetrite määramine	15
2.2 Elektrikvaliteedi mõõtmised	20
2.3 Inerts konstandi määramine	20
2.4 Generaatori automaatse pingeregulaatori ja elektrisüsteemi stabilisaatori katsetamine	21
2.5 Reaktiivvõimsuse võimekus	26
2.6 Generaatori eraldamine võrgust.....	27
2.7 Üle- ja alasagedus	28
2.8 Pinge reguleerimine	28
2.9 Aktiivvõimsuse reguleerimine	29
2.10 Primaarreguleerimine.....	30
2.11 Külmkäivituskatse.....	31
2.12 Lühiskatse	31
3. Läbi inverteri ühendatud tootmisseedmed	36
3.1 Kvaliteedi mõõtmine.....	36
3.2 Tootmisseedme töö keelatud/lubatud.....	37
3.3 Väljundvõimsuse avariiline vähendamine	38
3.4 Aktiivvõimsuse sujuv reguleerimine.....	39
3.5 Reaktiivvõimsuse reguleerimine U =konstant	40
3.6 P/Q karakteristiku mõõtmine liitumispunktis	41
3.7 Reaktiivvõimsuse reguleerimine Q =konstant	41
3.8 Lühiajaline võrguühenduse katkemine	42
3.9 Lühiajaline võrguühenduse katkemine ilma keskse juhtimissüsteemita.....	42
3.10 Talitus ilma keskse juhtimissüsteemita 24h.....	42
3.11 Primaarreguleerimine.....	43
3.12 Lühiskatse	43
4. Võrdlus Fingridiga	44
4.1 Fingrid sünkroonjaamade katsetamine.....	44
4.1.1 Minimaalse väljundvõimsuse juures töötamine	44
4.1.2 Reaktiivvõimsuse suutlikkus.....	45
4.1.3 Generaatori pingemuutuste astmeline reageering	45
4.1.4 Pidev pingemuutus	46
4.1.5 Alaergutuspiiraja funktsionaalsus	47
4.1.6 Üleergutuspiiraja funktsionaalsus.....	47
4.1.7 Elektrisüsteemi stabilisaatori funktsionaalsus.....	47
4.1.8 Sageduse reguleerimise toime astmeliste ja sujuvate muutuste korral.....	48
4.1.9 Sageduse reguleerimise tundetussoon	48
4.1.10 Võimsuse reguleerimise ja sageduse reguleerimise kontrollrežiimide vaheldumine.....	49

4.1.11	Võimsuse piirang ning muutumise kiirus.....	49
4.1.12	Üleminek omatarbele ning seal talitlemine	50
4.1.13	Lühiskatse	50
4.2	Fingrid tuuleparkide katsetamine	52
4.2.1	Minimaalse väljundvõimsuse juures töötamine	52
4.2.2	Tuulepargi käivitusaeg	52
4.2.3	Reaktiivvõimsuse suutlikkus.....	52
4.2.4	Pidev reaktiivvõimsuse kontroll.....	54
4.2.5	Pidev võimsusteguri kontroll	54
4.2.6	Pidev pingajuhtimis kontroll.....	54
4.2.7	Kontrollrežiimide vaheldumine	55
4.2.8	Aktiivvõimsuse piiramine	55
4.2.9	Aktiivvõimsuse muutusekiiruse piirangud.....	55
4.2.10	Küirete tuuleolude korral toimimine	56
4.2.11	Aktiivvõimsuse kiire vähendamine.....	56
4.2.12	Sageduse reguleerimine.....	56
4.2.13	Kontrollrežiimide vaheldumine.....	56
4.2.14	Elektrikvaliteedi mõõtmised.....	57
4.2.15	Pingelohu läbimise võime.....	57
5.	Eleringi katsekavade hinnang ning soovitused.....	58
5.1	Sünkroonjaamade katseedukuse kriteeriumid.....	58
5.2	Läbi jõuseadmete ühendatud tootmiseseadmete katseedukuse kriteeriumid	62
6.	Lühiskatse analüüs	65
	Lõputöö kokkuvõte	69
	Lisad	73
	Lisa 1. Eleringi katsekava sünkroonjaamadele [6]	73
	Lisa 2. Läbi inverteri ühendatud tootmiseseadmete katsekava [6]	86

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	Tootmiseseadmete vastuvõtukatsetuste põhimõtted Eesti ülekandevõrgus
Üliõpilane:	Karel Mägi, 122146 AAVM
Lõputöö juhendaja:	Paul Taklaja
Instituut:	Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut
Lõputöö esitamise tähtaeg:	25.05.2017

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Instituudi direktor (allkiri)

Teema põhjendus:

Antud teema on aktuaalne, kuna üldjuhul üle 5MW nimivõimsusega tootmiseseadmete võrgueeskirjale vastavust hindab põhivõrguettevõtja ning võrguga on liitumas uusi tootmisvõimsusi. Antud teema lahendus annaks ülevaate katsetamiste taustast kõigile huvitatud osapooltele (liituvate tootmiseseadmete omanikele ning ka põhivõrgu ettevõtte töötajatele, eelkõige töö kirjutajale, kes hakkab antud valdkonnaga tegelema). Varustuskindluse tagamiseks on oluline, et Eestis oleks piisava võimsusega tootmiseseadmeid ja nende talitus oleks pidev ning nõuetekohane. Kuna antud temaatika kohta ei leidu kokkuvõtlikku tööd mis selgitaks katsetamiste vajadust kõigile osapooltele on lõputöö teema päevakohane ning sellise töö koostamine heaks panuseks ühesema ja selgema tervikpildi loomisel. Lisaks tuuakse töös välja paralleele ning erinevusi teiste TSO-de põhimõtetega.

Töö eesmärk:

Töö eesmärgiks on välja selgitada Elering AS'i katsekava ajakohasus ning vajadusel anda soovitusi selle parendamiseks.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Katsekava alusel katsetuste lahtikirjutamine ning analüüsimine.

Võrdlus mõne muu riigi TSO katsekavaga.

Näitlikustada võimaluse korral katseid elektrijaama mudeliga.

Anda soovitusi Eleringi katsekavale.

Lähteandmed:

Standardid, Võrgueeskiri, IEEE artiklid ja muu elektroenergeetika alane kirjandus, mis on leitav TTÜ raamatukogust. Elering AS'i Liitumistingimused.

Lõputöö konsultant:

Rain Maripuu

Konsultant nimi (allkiri, kuupäev)

Eessõna

Lõputöö teema on valitud koostöös lõputöö kirjutaja, Elering AS energiasüsteemi planeerimise talitluse juhataja Oleg Tšernobrovkini ning elektrisüsteemi spetsialisti Rain Maripuuga. Lõputöö koostamine toimus enamjaolt Elering AS kontoris, kus lõputöö autor samal ajal täiskoormusega töötas ning Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogus. Algandmete kogumine käis põhiliselt raamatukogus saadaolevatest kirjandustest, interneti otsingutest erinevate TSO-de kodulehekülgedelt ning IEEE andmebaasidest. Lõputöö koostamisel on kasutatud mudelarvutustarkvara PSSE.

Lõputöö autor soovib tänada head kolleegi Rain Maripuud, kes oli abiks nõuga ja teadmistega lõputöö koostamisel ning Oleg Tšernobrovkinit, kellega arutledes lõputöö teema välja kujunes. Lisaks sooviks tänada ka kolleegi Mari Löperit, kes andis oma panuse töö teostamise ning juhendajat Paul Taklajat.

Uusi jaamu ehitades,

Ei saa õlgu kehitades,

Tootmisseedmeid vastu võtta,

Arvates, et kõlbab ikka.

Lõputöö autori elukohaks on Tallinn, Tedre 33a/74.

Ametikoht Elering AS, elektrisüsteemi analüütik.

Sissejuhatus

Elektrienergia on saavutanud tänapäeval eluks vajaliku tähtsusega osakaalu inimeste igapäevases elus. Elektrivarustus peab olema pidev ning kvaliteetne ehk ei tohi põhjustada elektritarvitite rikkumist. Pideva kvaliteetse elektrienergia varustamise eelduseks on igal ajahetkel tootmise ja tarbimise tasakaal ning toodetava elektrienergia vastavus kvaliteedinõuetele. Selleks, et süsteemis oleks piisavalt nõuetele vastavat ning õigesti funktsioneerivat tootmisvõimsust on vajalik enne võrguga püsivalt ühendamist vajalik tootmiseseadmeid katsetada ning selle protsessi käigus ära tõestada, et tootmiseseade on ohutu.

Käesolev temaatika on oluline, sest elektrisüsteemiga on liitumas üha uusi sünkroongeneraatoritega soojuselektrijaamu ning ka olulisel määral on suurenenud taastuvenergiaallikaid, nagu tuul ja päike, kasutatavate elektrijaamade hulk, sest riigi dotatsioonide toel on neid hetkel tasuv rajada. Kuid enne taastuvenergia toetuse saamiseks on vajalik näidata läbi katsetuste nõuetekohasus Võrgueeskirjale, mida käesolevas töös kajastatud Eleringi katsekava ette näeb.

Antud töö esimeses peatükis antakse ülevaade, miks on katsetamine vajalik nii süsteemi stabiilsuse ja talitluskindluse tagamisel. Arvesse võetakse nii staatilist kui ka dünaamilist stabiilsust ning seletatakse lahti stabiilsust mõjutavad eri aspektid. Lisaks selgitatakse süsteemihalduri seadusest tulenevaid kohustusi tootmiseseadmete nõuetekohasuse hindamiseks.

Lõputöö teises peatükis tuuakse välja eri tüüpi sünkroongeneraatorite kohta teooriat ning vaadeldakse Eesti süsteemihalduri Eleringi näidiskatsekava. Eri alapeatükkides selgitatakse ära kõik sünkroongeneraatoritega seotud katsetused ning nende taust. Kirjeldatakse katsetuste kulgu ning teoreetilist tausta, milleks mingi konkreetne katse vajalik on. Lisaks tuuakse iga katse korral välja, milliseid nõudeid peab tootmiseseade vastavalt oma tüübile täitma vastavalt Eestis kehtivale Võrgueeskirjale.

Töö kolmandas peatükis keskendutakse Eleringiga liituvate tuule- ja päikeseparkide nõuetele vastavuskatsetuste teostusele. Keskendutakse on katsetuste protseduurilistele ning seadusest tulenevatele nõuetele. Välja tuuakse ka erisused sünkroonjaamade katsetustest.

Neljandas peatükis vaadeldakse naaberelektrisüsteemihalduri Fingridi nõuded sealsete elektrijaamade katsetamistele. Peatüki esimeses pooles võetakse käsitluse alla Fingridiga liituvate sünkroongeneraatorite katsetamiste nõudeid ning neid võrreldakse Eestis kehtivate

nõuetega. Peatüki teises pooles antakse ülevaade Fingridi nõuetest, mis kohalduvad tuuleparkidele. Lisaks võrreldakse Soomes ja Eestis kehtivaid katsetamise aluseid ja aspekte, mida tuuleparkidelt on nõutud.

Järgmiseks analüüsitakse töö eelneva osa tulemusel hetkel kehtivaid katsetuste protseduure ning antud hinnang katsetuste ajakohasusele ning ammendatavusele. Lisaks tuuakse välja mõningased eeskirjad, mida katseraporti esitajad peaksid kaaluma tulemuste esitlemisel, et kooskõlastus oleks sujuvam.

Lõputöö viimases osas analüüsitakse sünkroongeneraatori käitumist elektrisüsteemis toimuvate eripikkuseliste lühiste korral. Peatükk käsitleb varasemates osades toodud sünkroongeneraatori lühiseläbimist mõjutavaid tegureid ning teostatakse simulatsioone erinevate sünkroongeneraatori tööpunktide juures.

1. Katsetamise vajalikkus

Tootmiseseadmete katsetamise nõue Eestis tuleneb Võrgueeskirjast, mis on kehtestatud „Elektrituruseaduse“ §42 lõike 2 alusel. [1] Võrgueeskiri näeb ette, et tootmiseseadmete kasutusele võtmiseks ja nõuetekohaseks tunnistamiseks korraldatakse elektrivõrguga ja tootmiseseadmetega seotud katsetusi. Lisaks on süsteemihaldurile Eleringile pandud kohustus tagada süsteemi toimimine nii tavatalitluses kui ka avariitalitluses. [2]

Üldisemas mõttes on katsetamine vajalik elektrisüsteemi talitluskindluse ja stabiilsuse tagamiseks. Elektrisüsteemi talitluseks loetakse elektrisüsteemi muutumist ajas, mis on määratletud seisundiparameetritega, milleks on pinged, voolud, võimsused, nurgad jms. Talitlusi omakorda liigitatakse normaaltalitluseks, raskendatud talitluseks, avariiliseks- ja avariijärgseks talitluseks. Normaaltalitluses tagatakse tarbijatele elektritoite töökindlus, elektri kvaliteedi normidega ettenähtud pinge ja sagedus. Avariitalitluse tekitab ettenägematu suur häire (nt lühis) elektrivõrgus või mõne suure tarbija/tootja väljakukkumine. Häire kõrvaldamisejärgseks loetakse avariijärgset ning ka raskendatud talitlust. [3]

Elektrisüsteemi stabiilsuse all mõistetakse elektrisüsteemi võimekust jätkata normaalset tööd pärast talitluses tekkinud häiringuid. Suures pildid vaadeldakse staatilist stabiilsust, mis on võime jätkata tööd pärast väikeseid häiringuid (nt tingitud koormuste muutumisest ajas), ning dünaamilist stabiilsust, mis on võime jätkata tööd pärast suuri häiringuid (nt lühis või suure seadme väljakukkumine). Lisaks on elektrisüsteemi stabiilsus veel liigitatud kolme alarühma : nurgastabiilsus, pingestabiilsus ning sageduse stabiilsus. [3]

Nurgastabiilsuseks nimetatakse generaatorite sünkroonselt töötamist, ehk ühtses sünkroonalas töötavad kõik sünkroongeneraatorid sama kiirusega. Stabiilsuse kaotuse korral suureneb või väheneb mõne generaatori nurk nii palju, et seade tuleb võrgust eraldada, mis omakorda toob kaasa genereeriva võimsuse kaotamise. Nurgastabiilsuse alla käib ka veel elektromehaaniliste võnkumiste, mis on tingitud generaatorite ja turbiinide koosmõjust, summutamine. Nimelt võivad olla võnkumised vahemikus 0,1 – 2,5 Hz. Antud võnkumiste summutamiseks on kasutusel elektrisüsteemi stabilisaatorid. [3]

Pingestabiilsuseks nimetatakse pinge ettenähtud normides püsimist elektrivõrgu talitluse erinevate režiimide korral. Kuna pinge on lokaalse iseloomuga, ehk pinge tase võrgu mingis sõlmes sõltub kohalikust reaktiivvõimsuse tootmise ja tarbimise suhtest. Pinge normides püsimiseks on vaja pinget reguleerida kas siis kondensaatoritega, reaktoritega, trafo

astmelülititega või tootmiseadmete (generaatorid või tuule-ja päikesepargid) reaktiivvõimsuse reguleerimisega. [3]

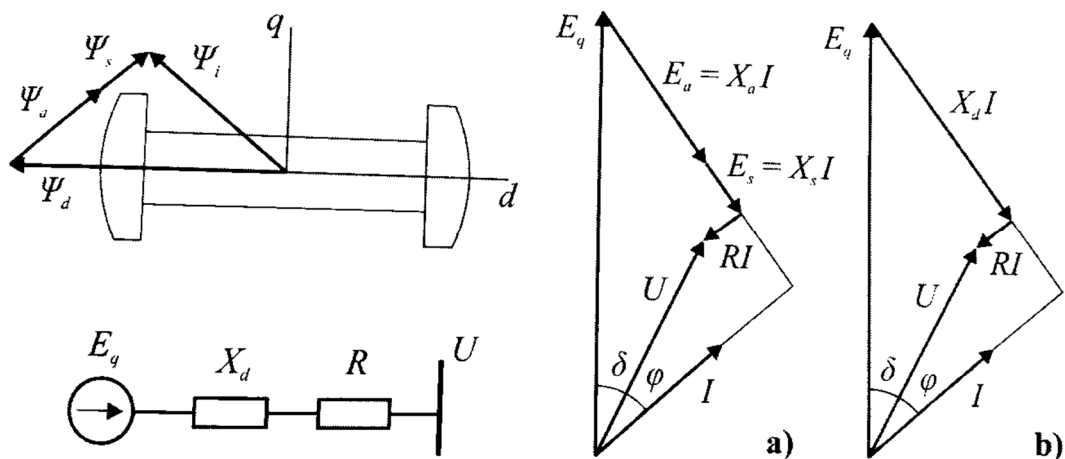
Sageduse stabiilsuseks nimetatakse süsteemi võimet tagada nimisageduse lähedane sagedus. Kuna sagedus on süsteemne suurus, mis on üle sünkroonala ühesugune, siis peab kogu süsteemis valitsema igal ajahetkel elektrienergia tootmise ja tarbimise tasakaal. Selleks peavad süsteemis olevad tootmiseadmed olema võimelised oma väljundvõimsust vastavalt tarbimise muutustele reguleerima. Sageduse primaarreguleerimisel, mida on käsitletud peatükis 1.10, peavad Eestis osalema kõik üle 1 MW nimiaktiivvõimsusega elektrijaamad. [3]
[2]

Eelnevat teavet arvesse võttes on oluline kontrollida elektrisüsteemiga ühendatavate tootmiseadmete nõuetekohasusi Võrgueeskirjale ning ka muid funktsioone, mis on tootmiseadmetele ette nähtud. Selleks on Eesti süsteemihaldur Elering AS koostanud oma liitumistingimustes ka katsetused nii sünkroongeneraatoritega elektrijaamadele ning ka läbi jõuelektroonika ühendatud tootmiseadmetele, mida on järgnevates peatükkides analüüsitud.

2. Sünkroongeneraatorid

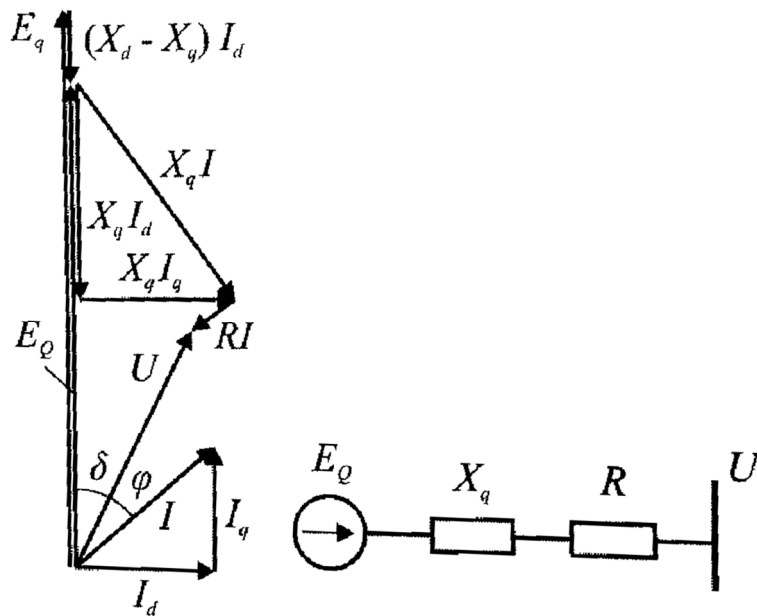
Enamikes elektrijaamades on kasutusel suuremate võimsuste korral sünkroongeneraatorid, mis moodustavad veel senimaani põhiosa elektrienergia genereerimisest. Asünkroongeneraatorid on levinumad pigem elektrituulikutes. Üheks suureks osaks süsteemi stabiilsusest on üksteisega ühenduses olevate sünkroongeneraatorite sünkronismis hoidmine võrgu erinevate talitusviiside juures. [4]

Sünkroongeneraatoreid on kahte tüüpi : peitpoolustega ning väljepoolustega. Neist viimased on kasutusel rohkem diisel- ja hüdroelektrigeneraatorites, kus aeglasema generaatori võlli pöörlemiskiiruse juures on pooluste arv suur, ning peitpoolusega on üldjuhul auru- või gaasiturbiini elektrijaamades ehk turbogeneraatorites, kus võlli pöörlemiskiirus on suur ning pooluste arv on väiksem. [5]



Joonis 2.1. Peitpoolustega sünkroonmasina vektordiagramm ja aseskeem [3]

Joonisel 2.1 on toodud peitpoolusega sünkroonmasina vektordiagramm ja aseskeem. Joonise osa b on saadud läbi seoste rakendamist a osast. Rotorimähises tekitatud ergutusvool tekitab rootoris aheldusvoo Ψ_d , mis omakorda indutseerib staatorimähisesse elektromotoorjõu E_q . Sellega kaasneb staatoris vool I , mis tekitab ankrureaktsiooni aheldusvoo Ψ_a ja puistevoo Ψ_s , mis omakorda indutseerivad vastavad elektromotoorjõud E_a ning E_s . Lisaks tekib staatoris pingelang aktiivtakistusel R , ning tulemusena tekib klemmpinge U . [3]



Joonis 2.2. Väljepoolustega sünkroonmasina aseskeem ja vektordiagramm [3]

Antud juhul jaotatakse vool I kaheks komponendiks I_d ja I_q , mis on vastavalt pikiteljeline ning põikteljeline vool. Ka aheldusvood on jaotatud selle alusel kaheks. Väljepoolustega sünkroonmasina vektordiagramm on rakendatav ka peitpoolustega masinale kui võtta arvesse, et $X_d = X_q$ ning E_Q (fiktiivne elektromotoorjõud) on võrdne E_q . [3]

Tootmiseseadmeks loetakse Võrgueeskirja järgselt elektrienergia tootmiseks vajalike seadmete talitluslikku kogumit [2]. Sellest võib lugeda, et tootmiseseadmeks on soojuselektrijaamade puhul katel, turbiin, generaator ning kõik seadmed, mis on vajalikud nende toimimiseks. Ning kuna üle 5MW nimiaktiivvõimsusega tootmiseseadmete nõuetekohasust peab hindama võrguettevõtja, siis on loodud katsetuste kava tootmiseseadme talitluse ning toimimise hindamiseks, mida antud töös on analüüsitud.

2.1 Generaatori parameetrite määramine

Esimeseks katseks Elering AS-i katsekavas on generaatori parameetrite määramise test. Antud katse on lubatud asendada ka tehasetestiga, kui on esitada vastavate testide tulemused ja mõõtmised. Kui neid aga ei ole, on vajalik sünkroonmasina parameetrid määrata katsekavas ettenähtud meetodil. Antud katse põhiliseks eesmärgiks on saada kinnitust esitatud generaatori parameetrite kohta. Parameetreid kasutatakse mudelarvutustarkvarades

generaatori modelleerimisel ning selleks, et tulemused oleksid reaalsusele võimalikult ligilähedased on vaja täpseid andmeid. [6]

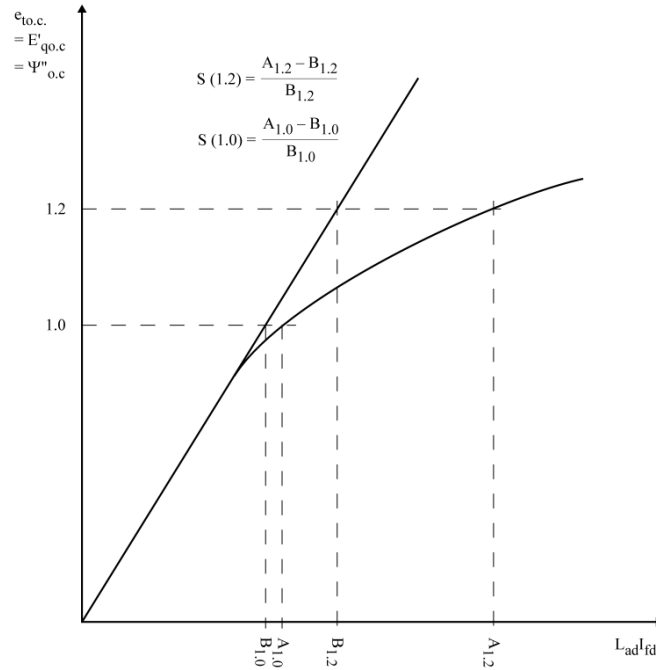
Katse jaguneb nelja ossa. Esimeseks on tühijooksu karakteristiku määramine, kus mõõdetakse generaatori ergutusmähise voolu ja generaatori tühijooksupinge muutusi minimaalsest saavutatavast generaatori staatori pingest kuni vähemalt 1,05 sü staatori nimipingest. Samas peab generaatori võimsuslüüti olema avatud olekus, ehk generaator on võrgust eraldatud. [6]

Tühijooksu karakteristik saadakse kui generaatorit aetakse ringi nimipöörlemiskiirusel avatud staatoriahelaga ning mõõdetakse staatori pinget, ergutusvoolu ning sagedust. Elering AS katsekavas on öeldud, et näitude ülesvõtmiseks kasutatakse 10% astmetena ergutusvoolu suurendamist, kuni generaatori staatori pinge jõuab 1.2 sü-ni nimipingest. Kuid selleks, et saada kasulikud mõõtetulemused generaatori mudeli tuletamiseks, tuleks näidud üles võtta järgmiselt [7] :

- Kuus näitu võtta alla 60% nimipingest, neist üks nullergutuse juures;
- 60% kuni 110% nimipingest tuleks näidud salvestada iga 5% pingetõusu korral (minimaalselt 10 näitu). Antud täpsus on vajalik, kuna see piir on kriitilise tähtsusega küllastuskõvera määramisel;
- Üle 110% generaatori nimipingest tuleks üles võtta minimaalselt 2 mõõtmist ning üks neist peaks oleks 120% nimipingel. (või maksimaalse soovitatud väärtuse juures, mida tootjatehas on soovitanud);
- Pingete juures tuleks vaadelda ka kõigi kolme faasi nimipingeid, et veenduda faaside tasakaalus.

Antud katse näidud tuleb salvestada ergutust suurendades. Kui on vajalik ergutusmähise voolu katse ajal vähendada, tuleb see viia esmalt nulli ning seejärel suurendada uuesti vajaliku tasemeni, kuna nii kõrvaldatakse hüstereesi mõju tulemustest. [7]

Õhupilu küllastuskõver, mis on joonisel 2.3 sirgena, on tühijooksukõvera alumise lineaarse osa pikendus.



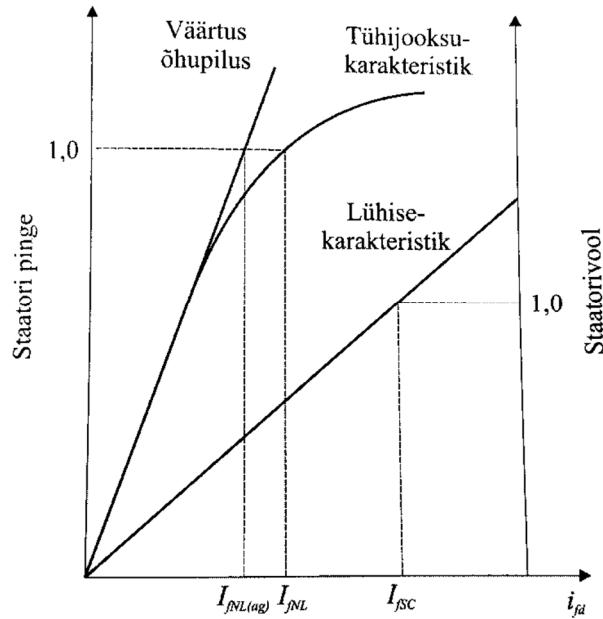
Joonis 2.3. Küllastustegurid $S(1.0)$ ja $S(1.2)$ küllastuskõvera järgi [8]

Küllastustegurid $S(1.0)$ ja $S(1.2)$ leitakse valemitega 2.1 ja 2.2. Need on tarvilikud modelleerimistarkvarades generaatori mudeli koostamisel. [7]

$$S(1.0) = \frac{A(1.0) - B(1.0)}{B(1.0)} \quad (2.1)$$

$$S(1.2) = \frac{A(1.2) - B(1.2)}{B(1.2)} \quad (2.2)$$

Katse ühe osana tuleb üles võtta ka lühiskarakteristik. Antud katse tulemuste saamiseks tuleb generaatoril talitleda nimikiirusel lühistatud staatoriga ning salvestada staatori voolu ja ergutusmähise voolu. Tavaliselt registreeritakse mõlemad näidud 125% - 25% nimistaatorivoolust 25% sammudena. [7] Tühijooksukarakteristiku ja lühisekarakteristiku ühele graafikule suhtühikutes kandmisel saame Joonise 2.4.



Joonis 2.4. Tühijooksu- ja lühisekarakteristik [3]

Masina vajaliku takistuse X_d nii küllastamata kui ka küllastatud olekus saab leida vastavalt valemitega 2.3 ja 2.4. [3]

$$X_{du} = \frac{I_{fSC}}{I_{fNL(ag)}} \quad (2.3)$$

$$X_d = \frac{I_{fSC}}{I_{fNL}} \quad (2.4)$$

, kus I_{fNL} - tühijooksukarakteristiku ergutusvoolu väärtus nimipinge juures

I_{fSC} - ergutusvoolu väärtus nimivoolu juures.

Pikiteljelised generaatori takistused $X'd$, $X''d$ ja ajakonstandid $T'do$ ja $T''do$ on leitavad piisava täpsusega testist, kus generaator on aktiivkoormuseta ning tarbib elektrivõrgust väikeses koguses reaktiivenergiat ning ühendatakse võrgust äkitselt lahti. [9]

Lahtiühendatud generaatori klemmpinge on kujutatav valemiga 2.5. [9]

$$U(t) = U_\infty + (U'_0 - U_\infty) \times e^{-\frac{t}{T'_{do}}} + (U''_0 - U'_0) \times e^{-\frac{t}{T''_{do}}} \quad (2.5)$$

, kus U_0 - algne pinge

I_0 algne vool enne generaatori lahti ühendamist

U_∞ on järgnenud püsitalitluse pinge

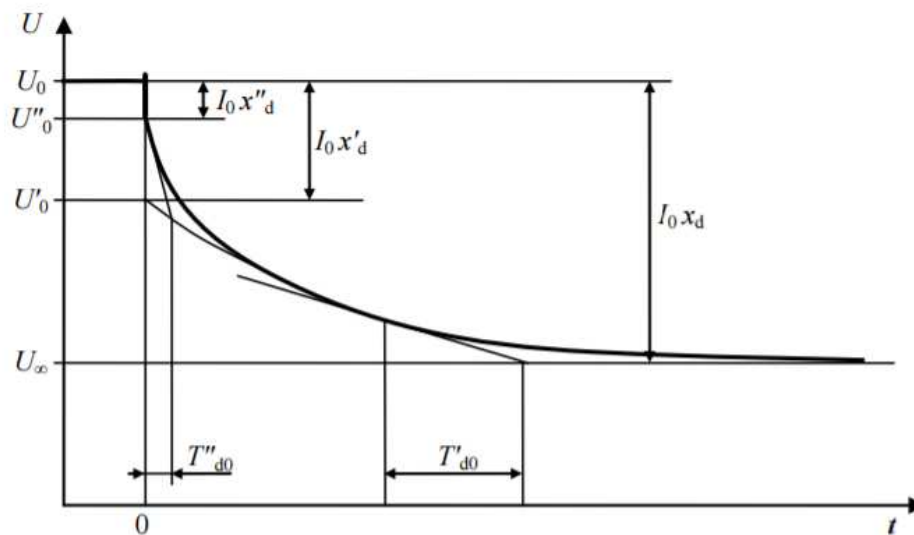
U'_0 algne mööduv pinge,

U''_0 algne ülimööduv pinge.

T'_0 ja T''_0 vastavalt tühijooksu mööduv ja ülimööduv ajakonstant

X_d , X'_d ja X''_d pikitelje sünkroontakistus, mööduv sünkroontakistus ning ülimööduv sünkroontakistus.

Pingemuutuse kõver, kui generaator, mis tarbib ainult reaktiivenergiat, ühendatakse võrgust lahti, on toodud joonisel 2.5.



Joonis 2.5. Pinge kõver, kui generaator võrgust lahti ühendatakse [9]

Graafikult määrates saab ülimööduva takistuse leida valemiga 2.6 ning mööduva takistuse valemiga 2.7. [9]

$$x''_d = \frac{U_0 - U''_0}{I_0} \quad (2.6)$$

$$x'_d = \frac{U_0 - U'_0}{I_0} \quad (2.7)$$

Pikiteljelise ülimööduva saab leida ekstrapoleerides puutujat teatud U''_0 graafikut tuletatud U' joonele. [9]

2.2 Elektrikvaliteedi mõõtmised

Elektrikvaliteedi mõõtmised on ette nähtud Eleringi näidiskatsekavas teise katsena. Antud katses tuleb salvestada elektrijaama liitumispunkti ühe nädala elektrikvaliteedi mõõtmised jaama normaaltalitluse juures. Konkreetsete piirnõrmed lepitakse kokku liitumislepinguga ning antud piirnõrme ei tohi ületada. Mõõtmised tuleb teostada klass A mõõteseadmega, mis vastab EVS-EN 61000-4-30 standardi nõuetele ning mille mõõtesagedus peab olema vähemalt 9600 Hz. [6]

Antud katsega mõõdetakse eespool toodud nõuetele vastava spetsiaalse mõõteseadmega lühiajalise ning pikaajalise väreeluse väärtusi E_{Pst} ja E_{Pit} , mille kliendile lubatavad minimaalsed piiremissioonid on 110 kV elektrivõrgus vastavalt 0,35 ja 0,25 ning 330 kV võrgus 0,30 ja 0,20.

Lisaks mõõdetakse pinget asümmeetriat ning pinget- ja vooluharmonoonikute taset. Pinget asümmeetria puhul ei tohi normaaltalitusel vastujärgnevuskomponendi 10-minutiline keskvaartus 110 kV võrgus ületada 1,5% pärijärgnevuskomponendist 95% juhtudest ning 330 kV puhul ei tohi ületada 1%. Liitumislepinguga lepitakse ka kokku pinget- ja vooluharmonoonikute (kuni 50ndat järku) maksimaalsed emissioonid, mis arvutatakse igale liitujale eraldi. [6]

Piirnõrmed on määratletud standarditega EVS-EN 50160 ning IEC 61000-3-6, kus on toodud avalike elektrivõrkude pinget maksimaalsed tunnussuurused vastavalt pingeklassile, kuid antud suurused peab garanteerima võrguettevõtja. Seega peavad uutele liitujatele määratud planeerimisväärtused olema antud väärtustest väiksemad. [10]

2.3 Inertsikonstandi määramine

Järgnev test on generaatori inertsikonstandi määramiseks. Antud katses on Eleringi katsekava ette näinud, et generaatoril on 10-20% aktiivkoormust nimivõimsusest, selleks, et ennetada kaitsereleede rakendamist ning mõningane reaktiivkoormus, soovituslikult alaergutatud. Automaatne pingeregulaator on seatud automaatsesse režiimi ning kiirusregulaator on seatud statistilise kontrolli režiimi, mida on lähemalt selgitatud peatükis 2.10. Antud parameetritega töötamise juures avatakse generaatori võimsuslüli kontaktid (mille sisendsignaal turbiini kontrollis peab olema blokeeritud, et elimineerida generaatori kiiruse säte). [6]

Üheks katseks määramaks generaatori inertsi on ilma koormusteta aeglustumise katse. Masina hoorattal ei tohi olla lisamassi antud katse ajal ning generaatorit ergutatakse välisest allikast ning ergutus ei tohi katse ajal muutuda. [11]

Katsealune generaator aetakse ringi käima ülekiirusel, suurendades sagedust ning seejärel lülitatakse generaator välja ning generaator koos turbiiniga jäävad võllil vabalt pöörlema. Katse käigus mõõdetakse aeglustumisaega Δt , mis kujutab endast kahe eelnevalt kindlaks määratud pöörlemiskiiruse $\Delta\omega$ vahemiku vahelist aega. Näiteks võib $\Delta\omega$ olla vahemik 1,1-0,9 pu või 1,05 – 0,95 pu nimikiirusest. [11]

Salvestatud energia konstandi H saab leida valemiga 2.8 [11] :

$$H = \frac{\omega_n}{2} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta\omega} \cdot \frac{P_{meh} + P_{Fe}}{S_n} \quad (2.8)$$

, kus ω_n on nimipöörlemiskiirus

Δt - aeg kahe pöörlemiskiiruse punkti vahel

$\Delta\omega$ - pöörlemiskiiruste vahe

P_{meh} - mehaaniline kadu

P_{Fe} - rauaskadu

S_n - generaatori niminäivvõimsus

Inertsikonstant J on tuletatav valemist 2.9 :

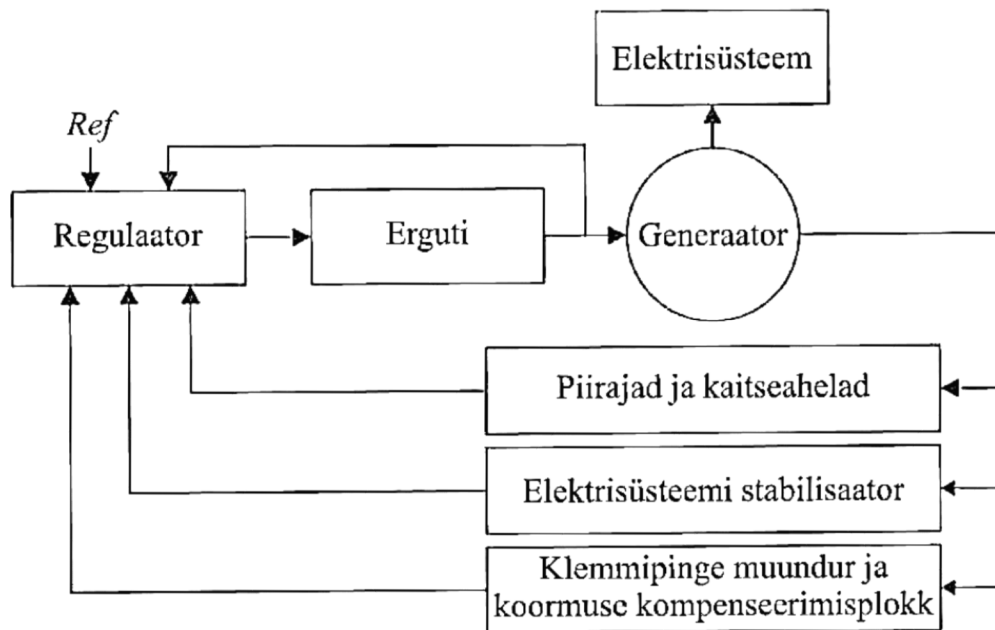
$$H = \frac{J\omega_n}{2S_n} \cdot 10^{-3} \quad (2.9)$$

Katset teostatakse, sest generaatori ning turbiini inertsi on vaja mudelarvutustarkvaras generaatori mudeli täpseks ajamiseks ning kuna inerts mõjutab oluliselt elektrisüsteemi stabiilsust. Ehk mida suurem on süsteemi inerts, seda stabiilsem see on. Sama kehtib ka üksiku tootmiseseadme puhul.

2.4 Generaatori automaatse pingeregulaatori ja elektrisüsteemi stabilisaatori katsetamine

Antud katsed tulenevad Võrgueeskirja §25 lõigetest 4 kuni 7. Lõike 4 punkt 2 sätestab, et tootmiseseadmete katsetuste eesmärgiks on kontrollida generaatori pinge hüppelist muutust ning punkt 3 nõuab võnkesummuti seisundi kontrollimist. Lõikes 6 on toodud välja, et pinget

suurendatakse ning vähendatakse hüppeliselt, tekitades sellega generaatori väljundpinge muutumise 95%-lt 105%-ni ning vastupidi 105%-lt 95%-ni generaatori nimipingest. Seejuures ei tohi olla generaatori väljundpinge võnkuv ning ülevõnge (eng *overshoot*) ei tohi ületada 15% muutumisulatusest. Arvesse tuleb ka võtta, et kui pinget suurendatakse muutumisulatuses 90%-ni, on pinge tõusu ajaks staatilise erguti korral 0,2-0,3s ning harjadeta erguti korral 0,2-0,5s. Juhul kui pinget alandatakse muutumisulatuses 90%-st kuni nullini, siis peab pinge alanemise aeg olema harjadeta erguti korral 0,2-0,8s. [2]



Joonis 2.6. Sünkroongeneraatori ergutussüsteemi põhimõtteskeem [3]

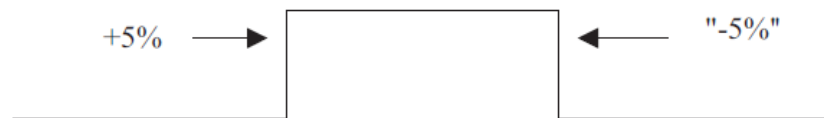
Joonisel 2.6 on toodud generaatori ergutussüsteemi põhimõtteskeem, kus automaatse pingeregulaatori ülesandeks on väljastada ergutusmähisesse vajaliku suurusega alalisvoolu. Regulaatoris töödeldakse juhtimissignaale ning võimendatakse neid erguti toiteks vajalikule suurusele. Klemmipingemuunduri ja koormuse kompenseerimisploki eesmärgiks on väljundpinge mõõtmine, alandamine ning võrdlus klemmipinge soovitud väärtusega. Elektrisüsteemi stabilisaatori ülesandeks on regulaatorisse täiendavate signaalide saatmine generaatori võnkeprotsesside summutamiseks. Piirajate alla kuuluvad V/Hz piiraja, alaergutuspiiraja ning üleergutuspiiraja, millest kahe viimase toimet samuti katsetatakse. Generaatori automaatse pingeregulaatori ja lisaseadmete katsetamiseks on ette nähtud katsed, mida on vaadeldud järgnevalt.

Üheks osaks on generaatori automaatse pingeregulaatori sätete muutmine astmeliste sammudena. Antud katse teostatakse enne tootmiseseadme võrguga sünkroniseerimist, kuna generaatori APR-i eelkatsetus teostatakse alati enne võrku ühendamist. [12]

Tabel 2.1. APR sätevärtused

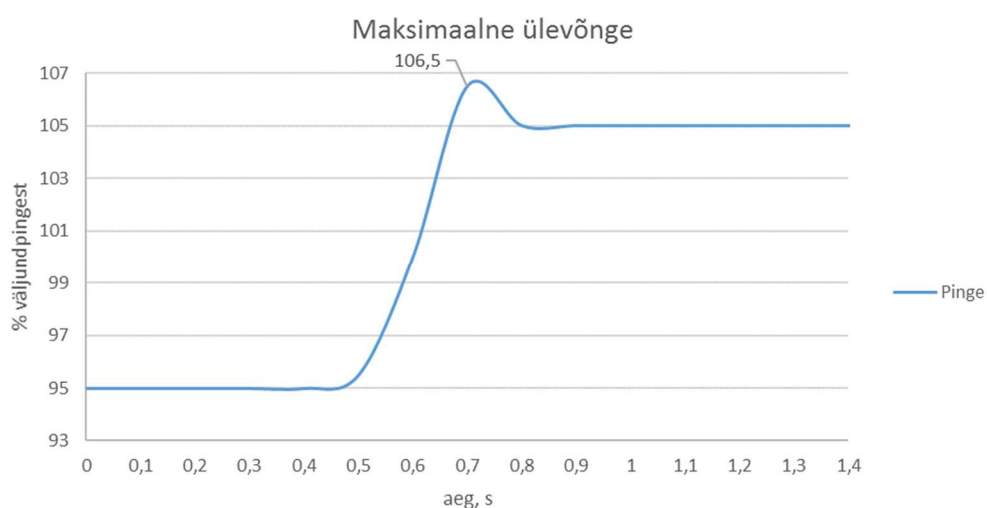
jr nr	1	2	3	4	5	6
U_{ref}	2,5%	-2,5%	5,0%	-5,0%	10,0% (0,95pu-1,05pu)	-10,0% (1,05-0,95pu)

Tabelis 2.1 on toodud pingeregulaatori sätevärtuste U_{ref} hüppeliste muutuste väärtused generaatori nimipingest, kui generaator on tühijooksul.



Joonis 2.7. Sisendsignaali selgitus [6]

Joonis 2.7 seletab tabelis 2.1 näidatud pingeastmete muutust, ehk kui 3. ja 4. sammu puhul 3-ndal momendil suurendatakse pinget nimipingest +5% siis -5% sammu jaoks vahepeal nimipingele generaatorit tagasi ei tooda. Sammude 5 ja 6 puhul on alguspunktiks mitte nimipinge vaid 95% nimipingest.



Joonis 2.8. Tühijooksul oleva generaatori pinge ülevõnke maksimaalne suurus

Järgmiseks sammuks on tühijooksul oleva generaatori tühijooksupinge manuaalne muutmine etteantud vahemikus ning kindlate sammudena, kus staatori klemmpinget suurendatakse 50%-lt kuni 110%-ni nimipingest ning alandatakse vastupidises suunas 110%-lt 50%-ni. Seejuures pinget muudetakse 10% sammudena 50-90% vahemikus ning 5% sammudena vahemikus 90-110%. [6] Katse tuleneb kontrollimaks Võrgueeskirja §21 lõiget 7, mis sätestab, et generaator ergutussüsteem peaks automaatjuhtimise kõrval võimaldama manuaalset reguleerimist. [2]

Eelpool mainitud tootmiseseadme piirajate katsetamiseks on üleergutuspiiraja rakendumise kontrollimine. Selleks suurendatakse generaatori ergutust erinevate generaatori koormatavuse astmete juures, mis on toodud tabelis 2.2, niipalju, et üleergutuspiiraja rakenduks töösse ning generaator saavutaks stabiilse väljundi. [6]

Tabel 2.2 Üle-ja alaergutuspiiraja katsetamiste aktiivvõimsuse sätevääratud

P_{gen} (MW)	100%	75%	50%	25%	min
----------------	------	-----	-----	-----	-----

Järgmise sammuna kontrollitakse generaatori alaergutuspiiraja toimet sarnaselt üleergutuspiirajale, kuid siis ergutust alandades Tabelis 2.2 toodud väljundvõimsuste juures piisaval määral, et oleks näha alaergutuspiiraja töösse rakendumine.

Üleergutuspiiraja funktsionaalsuse kontrollimine on hädavajalik, kuna üleergutuspiiraja kaitseb seadet ülekuumenemise eest, kuna ergutusmähises tekib suur vool kõrge ergutustaseme juures. Üleergutuspiirajal on üldjuhul ajaline säte kindla ergutusvoolu taseme suhtes. Piirajasse sattudes tuuakse ergutusvool lubatud piiridesse ning ei lubata edasi kerkida. Alaergutuspiiraja toime on vajalik sünkroongeneraatori staatilise stabiilsuse tagamiseks. Alaergutuspiiraja reageerib kas voolu ja pinge või aktiiv- ja reaktiivvõimsuse väärtuste alusel. [4]

Süsteemi ja tootmiseseadme koosmõju hindamiseks on katse, kus Elering lülitab võrgus kas trafo astmelüliteid, reaktorit või kondensaatorpatareid, et muuta võrgu pinget ning vaadata, kuidas tootmiseseade võrgupinge muutusele reageerib. Katse tuleb teostada elektrisüsteemi stabilisaatori töösolekuga ning ilma stabilisaatorita, et kontrollida stabilisaatori ja pingeregulaatori tööd. [6]

Järgmiseks põhimõtteliselt korratakse eelpool välja toodud esimest sammu, kuid nii, et generaator on ühendatud elektrivõrguga, ega pole enam tühijooksul. Elektrisüsteemi

stabilisaator peab antud katse jaoks olema väljalülitatud. Katse teostatakse staatori nimipinge juures ning 50% ja 100% generaatori koormatuse juures. Tabelis 2.3 on toodud pingeregulaatori pinge seadeväärtuse muutused protsentides erinevate võimsusastmete juures, kus väiksema koormusega katsed teostatakse enne kui täiskoormusega katsed. [6]

Tabel 2.3. APR pingemuutuste väärtused

jr nr	1	2	3	4	5	6	7	8
U_{ref}	1,0%	-1,0%	2,5%	-2,5%	5,0%	-5,0%	5,0%	-5,0%

Tabelis 2.3 korduvad +/-5% muutused, sest ette on nähtud antud punktide kontrollimine kaks korda.

Seejärel korratakse eelmist sammu, kuid sel juhul peab olema elektrisüsteemi stabilisaator olema sisse lülitatud, ning kahe katse tulemustes võrreldakse stabilisaatori mõju katsetulemustele. [6] Kui seade on õigesti konfigureeritud peaks elektrisüsteemi stabilisaator vähendama võnkumiste amplituudi ning võimsuse sumbumise kiirust.

Elektrisüsteemi erinevate konfiguratsioonide korral töötamise kontrollimiseks teostatakse automaatse pingeregulaatori pingesätete muutuste katse +/-5% astmetena, nii, et esimesel juhtumil on tootmiseseade ühendatud nõrga süsteemiga, kus on väike tarbimine ning samas sõlmes ei tohi olla töös teisi tootmiseseadmeid ja teisel juhul tugeva süsteemiga, kus võimaluse korral on töös ka samas sõlmes asuvad generaatorid ning ülekande süsteemi tarbimine on suur. Antud katsed teostatakse tootmiseseadme maksimaalse võimsuse juures. [6]

Ühe osana katsetest sisestatakse erinevaid madalsageduslikke sagedusi automaatse pingeregulaatori summeerivasse sõlme, kui elektrisüsteemi stabilisaator on väljalülitatud olekus. Sagedust muudetakse vahemikus 0,01-100 rad/s. Samas tuleb aga tähele panna, et ergutamisel tuleks vältida punkte, kus generaatoril võivad tekkida elektromehhaanilised resonantsid kui generaator on töös. [6] Katses hinnatakse generaatori klemmipinge ja faasinihke muutust erinevate sageduste juures. [13]

Kontrollitakse ka tootmiseseadme käitumist, kui sisendisse antakse astmeline suurenemine või vähenemine aktiivvõimsuse sätevärtusele või turbiini kiirusregulaatori kiirusesättest lahutatakse või liidetakse teatud sageduse muutuseks vajalik ekvivalent. Tootmiseseade peab antud katsel talitlema 50-90% nimivõimsuse juures. [6]

2.5 Reaktiivvõimsuse võimekus

Eleringi näidiskatsekava alusel on katseks number 5 aktiivvõimsuse, reaktiivvõimsuse ja juhtimisfunktsiooni Q =konstant võimekuste testimine. P/Q karakteristiku katselise määramise nõue tuleneb otseselt Võrgueeskirja §25 lõike 4 punkti 1 järgi, mis sätestab, et tootmiseseadmetega katsetuste ja mõõtmiste eesmärgiks on selgitada võimsuskõver PQ-diagrammil. [2]

Antud katsetuse eesmärgiks on kontrollida tegelikku elektriijaama võimekust vastavalt liitumistaotluses deklareeritud võimsuskõverale. Nimelt tuleb Elering AS elektri põhivõrguga liitumise tingimuste kohaselt esitada liitumistaotluses tootmiseseadme aktiiv- ja reaktiivvõimekuse diagramm iga tootmisüksuse kohta väljundklemmidel ning summaarne kõver, mis on arvutatud kliendi ja võrguettevõtte liitumispunkti. [6]

Tabel 2.4 Mõõtepunktide sätteväärtused [6]

Minimaalne P nimi		25% P nimi		50% P nimi		75% P nimi		100% P nimi	
Q max	Q min	Q max	Q min	Q max	Q min	Q max	Q min	Q max	Q min

Igat sätteväärtust tuleb hoida vähemalt 10 minutit, et oleks tõendatud generaatori võimekus püsivalt hoida maksimaalseid väärtusi. Võimaluse korral kasutatakse Eleringi juhtimiskeskuse käsklusi läbi SCADA, kui see on võimalik.

Reaktiivvõimsuse võimekuse hindamiseks kasutatakse Q =konstant juhtimisfunktsiooni kontrolli, kus generaatorile antakse sätteväärtused liitumispunkti suhtes reaktiivvõimsuse teatud tasemel hoidmiseks. Eleringi liitumistingimused näevad ette, et tootmiseseadmete reaktiivvõimsust peab saama reguleerida Eleringi juhtimiskeskusest läbi SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Q =konstant reaktiivvõimsuse reguleerimine peab toimuma liitumispunktist lähtuvalt ja peab olema põhivõrguettevõtja poolt rakendatav vastavalt vajadustele ja vastavalt kokkuleppele kompenseeritakse reaktiivvõimsuse väljastamine tootjale. Antud reguleerimisviisi kasutamisel peab seadeväärtus olema muudetav 1 Mvar astmetena kogu tehnilise võimekuse piires eelnevalt tõendatud PQ-kõvera ulatuses. Igat reaktiivvõimsuse astet peab elektriijaam hoidma vähemalt 10 minutit. [6]

Tabel 2.5 Katsel kasutatavad reaktiivvõimsuse sätteväärtused

Reaktiivvõimsuse sätteväärtus	0 Mvar	-1/2Q _{max}	+1/2Q _{max}
-------------------------------	--------	----------------------	----------------------

Kolmandaks hinnatakse tootmiseseadme maksimaalset genereerimist suurimate aktiiv- ja reaktiivvõimsuste ulatuses. Antud katses on sätteväärtusteks tootmiseseadme eespool leitud maksimaalsed P ja Q väärtused nii reaktiivvõimsust genereerides kui ka tarbides. Mõlemat tööpunkti rakendatakse ühe tunni ulatuses Eleringi SCADA kaudu. Katse sooritatakse maksimaalse välisõhu temperatuuri juures. [6]

2.6 Generaatori eraldamine võrgust

Antud katse tuleneb Võrgueeskirja §25 lõike 3 punktidest 2 ja 3, kus on öeldud, et elektrivõrguga seotud katsetuste eesmärgiks on määrata omatarbele ülemineku asjaolud ning teha kindlaks, kuidas talitleb tootmiseseade ühe tunni jooksul omatarbel. [2]

Antud katse puhul eristatakse kahte varianti :

- Omatarbele üleminek
- Saartalitlus

Omatarbele ülemineku puhul peab tootmiseseade süsteemi ehk Eleringi võrku andma 70-90% nimivõimsusest ning seejärel lülitatakse tootmiseseadet ja ülekandevõrku ühendav võimsuslüliti välja ning generaator peab jääma tunniks ajaks tööle, nii, et koormuseks on vaid elektri jaama omatarve. Tunni möödudes on tarvilik generaator uuesti elektrivõrguga sünkroniseerida ning võrku lülitada. [6]

Saartalitluse puhul peab tootmiseseade ülekandevõrgu liitumispunktis eksportima 5-10% oma nimivõimsusest ning 90-95% peab tarbima alamsüsteem, mis on generaatoriga ühendatud. Antud olukorras peab tootmiseseade pärast võimsuslüliti väljalülitamist toitma allesjäänud alamsüsteemi ilma tõrgeteta ning sarnaselt omatarbele ülemineku testiga tunni aja möödudes resünkroniseerima ülekandevõrguga. [6]

Koormuse hetkelise ärakukkumise katse on vajalik uute soojuselektri jaamade puhul. Katse on selgitamaks välja, et kas koormuse ära langemise korral generaatori pöörlemiskiirus kiireneb lubatud mahus või liiga palju, ning et kas viimasel juhul rakendub generaatori ülekiiruse kaitse. [14]

Tootmiseseadme koormuse sammud järjekorras, millest viimase kestus peab olema vähemalt üks tund :

- 25% nimiaktiivvõimsusest
 - Maksimaalne reaktiivvõimsuse genereerimine

- Maksimaalne reaktiivvõimsuse tarbimine
- 50% nimiaktiivvõimsusest
 - Maksimaalne reaktiivvõimsuse genereerimine
 - Maksimaalne reaktiivvõimsuse tarbimine
- 100% nimiaktiivvõimsusest
 - Maksimaalne reaktiivvõimsuse genereerimine
 - Maksimaalne reaktiivvõimsuse tarbimine

2.7 Üle- ja alasagedus

Üle- ja alasageduse võimekuse kindlakstegemine tulenev Võrgueeskirja §22 järgi, kus sätestatakse tootmiseseadme suhtes sageduse muutumisel kohaldatavad nõuded. Eleringi katsekava alusel testitase lõike 2 ja 4. Lõige 2 näeb ette, et kui sagedus muutub 49-47,5 Hz, peab generaator 30 minuti jooksul töötama pingel, mis on 95% vähimast tavapingest kuni 105%ni suurimast tavapingest. Seejuures ei tohi väljastatav võimsus väheneda sageduse langusel 49Hz-ni ning võib väheneda, kui sagedus langeb 49Hz kuni 47,5Hz-ni. Sageduse edasisel alanemisel on lubatud generaatoril võrgust eralduda ning üle minna omatarbekoormusele. Lõige 4 sätestab, et sageduse muutusel vahemikul 51-53 Hz peab süsteemist eraldunud võrguossa jäänud generaator 3 minuti jooksul töötama suure võimsuse vähenemisega pingel vahemikus 95% vähimast tavapingest kuni 105% suurimast tavapingest. [2]

Elering AS näidiskatsekava testi nr 7 esimene osa kontrollib VE §22 lõike 4 vastavust. Nimelt sünkroniseerimata generaatorit hoitakse töös nimisagedusel ning ilma koormusta. Ette on antud kolm meetodit, kuidas generaatori pöörlemiskiirust suurendada 50Hz-st kuni vahemikku 52,5-53 Hz ning generaator peab üle 52,5Hz-sel kiirusel talitlema väljalülitumata 3 minutit nagu eespool välja toodud.

Testi nr 7 teine osa on kontrollimaks VE §22 lõike 2 vastavust, kus sünkroniseerimata generaatori koormuseta talitlusel alandatakse generaatori pöörlemiskiirust nii, et sagedus jääks 48 Hz ja 47,5 Hz vahemikku. Edukal läbimisel suudab tootmiseseade talitleda antud vahemikus 30 minutit.

2.8 Pinge reguleerimine

Elering AS elektri põhivõrguga liitumise tingimused näevad ette, et tootmiseseadmetel peab olema lisaks aktiiv- ja reaktiivvõimsuse reguleerimisvõimekusele ka pinge juhtimissüsteem U

= konstant. Antud juhtimisfunktsioon peab vastavalt sätteväärtusele ning süsteemipingele muutma tootmiseadme reaktiivvõimsust kogu tehnilise võimekuse piires, ehk eespool leitud PQ- kõvera piires saavutamaks etteantud pinge sätteväärtust liitumispunktis. [6]

Tabel 2.6 Näidis pingereguleerimise sätetest 110 kV võrgus

Aeg, t	0-60 min	60-120 min	120-180 min
Pinge, U	112 kV	118 kV	121 kV

Antud näite korral rakendatakse U =konstant juhtimisfunktsiooni 110 kV võrgus ning tööpunkti peab tootmiseadme hoidma vähemalt 1h. Tulemuste analüüsil vaadeldakse pingesätte saavutamiseks võrku antava või võrgust tarbitava reaktiivvõimsuse taset.

2.9 Aktiivvõimsuse reguleerimine

Üheks oluliseks katseks on tootmiseadme aktiivvõimsuse reguleerimise kiiruse hindamine. Võrgueeskirja §27 lõiked 1 kuni 3 toovad välja elektrijaamade võimsuse reguleerimisvõime süsteemi tavaolukorras ning tootmiseadme peab vastama kindlaksmääratud võimsuse reguleerimiskiirusele etteantud vahemikus. Näiteks peab tahkekütusejaama väljastatav võimsus olema reguleeritav vahemikus 60-90% nimivõimsuse vahemikus kiirusega 4% nimivõimsusest minutis. [6] [2]

Tabel 2.7. Sekundaarreguleerimise sätteväärtused

P (MW)	min%	50%	60%	70%	100%	90%	80%	0%
--------	------	-----	-----	-----	------	-----	-----	----

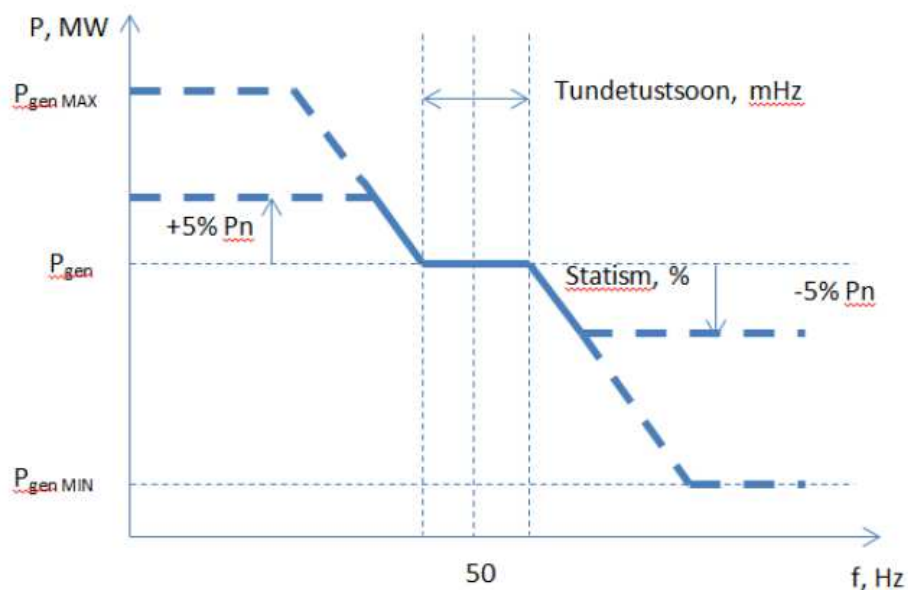
Tabelis 2.7 on toodud sekundaarreguleerimise katse tootmiseadme sätteväärtused protsentuaalselt tema nimivõimsuse suhtes, kus juures igat väärtust tuleb hoida 10 minuti jooksul alates taseme saavutamisest.

Sekundaarreguleerimine on süsteemi seisukohast vajalik sageduse reguleerimisel, kui primaarreservidest enam ei piisa sageduse lubatud piirides hoidmiseks. Lisaks tuleb igal ajahetkel tagada tarbimise ja tootmise tasakaal ning koormuse muutlikkusele reageerimiseks tuleb generaatorite väljundvõimsust pidevalt reguleerida. Kuigi üldjuhul teostatakse suurtes süsteemides sageduse reguleerimist suurte hüdroelektrijaamade toel siis on piirkonniti ettenähtud ka võimsuste bilansi piirid, mida iga piirkond peab oma elektrijaamade reguleerimise teel tagama.

2.10 Primaarreguleerimine

Antud katse on kontrollimaks elektriijaama käitumist süsteemi sageduse muutumise suhtes. Võrgueeskirja §17 lõige 10¹ sätestab, et üle 5MW elektriijaam peab olema suuteline osalemiseks sageduse primaarreguleerimisel ning turbiinide kiirusregulaatorite tundetuse piir ei või ületada +/- 0,01 Hz. [2]

Võrgueeskirja §26¹ lõigete 5 ja 6 kohaselt peab tootmiseadme primaarreguleerimise ulatus olema vähemalt +/- 5% seadme nimiaktiivvõimsusest ning seade peab antud primaarreservi võimsuse taseme saavutama 30 sekundi jooksul, sealjuhul pool sellest 10s jooksul, ning hoidma antud taset vähemalt veerand tundi. [2]



Joonis 2.9. Primaarreguleerimise põhimõte [6]

Nagu jooniselt 2.9 on näha, siis peab primaarreguleerimisel saama reguleerida tootmiseadme turbiini tundetustsooni, mis VE kohaselt peab olema muudetav vahemikus 0 – 500 mHz täpsusega +/-10 mHz ning statismi peab olema võimalik reguleerida vahemikus 2-8%. Tundetustsoon (*deadband*) on vahemik, kus antud tsooni vahemikku jääv sageduse muutus ei kutsu esile tootmiseadme poolt aktiivvõimsuse muutust ning statismiks nimetatakse sageduse suhtelise muutuse suhet võimsuse suhtelisse muutusesse ning on leitav valemiga 2.10 :

$$Statism\% = \frac{P_n \cdot \Delta f}{\Delta P \cdot f_n} 100 \quad (2.10)$$

Seega peab teatud sageduse muutuse Δf korral tootmiseadme aktiivvõimsus muutuma :

$$\Delta P = \frac{2P_n \Delta f}{\text{Statism \%}} \quad (2.11)$$

Kuna aga sagedus on süsteemne suurus ning katsetusteks sagedust muuta ei saa, siis antakse tootmiseadmele turbiini regulaatorisse sisendiks kunstlikult tekitatud sageduse väärtused, mis peavad tootmiseadmel rakendama vajalikud reaktsioonid nagu näiteks sageduse suurenemisel üle tundetustsooni peab tootmiseadme vähendama oma aktiivvõimsust määratud statisti protsendiga määratud ulatuses.

Sageduse muutusel üle 0,5Hz/s või nimisagedusest 0,5Hz suurenemisel või vähenemise korral peab tootmiseadme minema üle avariiolekorda ning tekitama primaarreservi vähemalt +/- 12,5% tootmiseadme nimiaktiivvõimsusest. [2]

Elering AS näidiskatsekavas on ette antud sageduse sätteväärtused, statisti väärtused, tundetustsoon kahe erineva seadme nimiaktiivvõimsuse juures, vastavalt 40% ja 90% ning ajakestused, mille vältel tootmiseadme reageering peab kestma stabiilse väljundvõimsuse juures.

2.11 Külmkäivituskatse

Antud katse on hindamaks Võrgueeskirja §26 lõiget 1, mis sätestab koormuse reguleerimise protsessis osalevate tootmiseadmete käivitamise aja. Nimelt peavad soojuselektrijaamad pärast süsteemihalduri korraldust saavutama külmast olekust täiskoormuse 12 tunni jooksul ning gaasiturbiinseadmetel on selleks aega 10 minutit. [2]

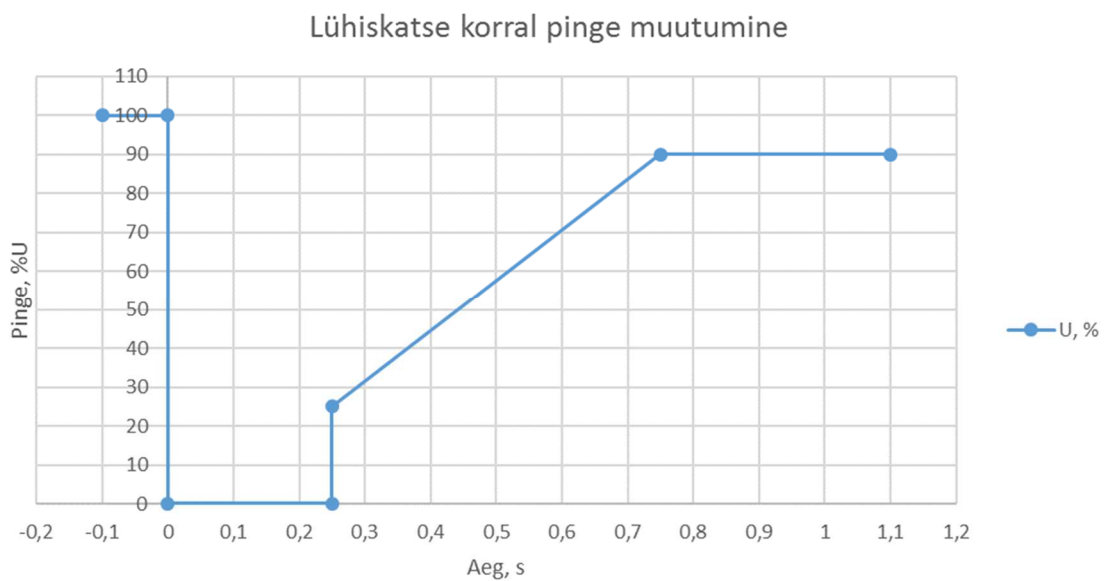
Elering AS näidiskatsekava näeb ette, et tootmiseadme peab olema enne testi algust vähemalt 24h olema tööst väljas ning Elering annab läbi SCADA tootmiseadmele käsu käivituda ning saavutada täisvõimsus ning seda tuleb hoida ühe tunni kestel. [6]

2.12 Lühiskatse

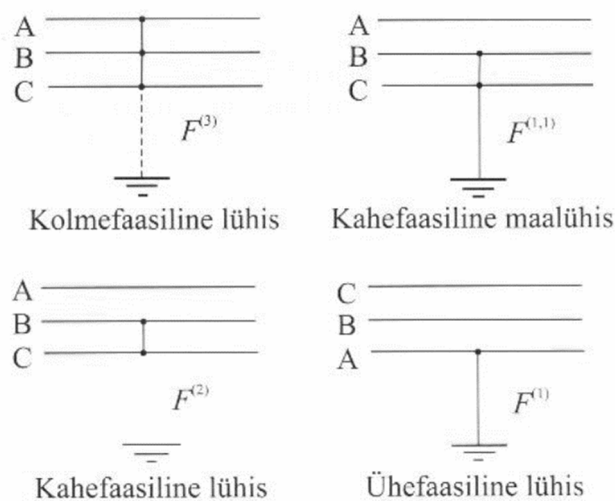
Lühiskatse korral teostab Elering tootmiseadme liitumispunktis või sellele võimalikult lähedases punktis mitte pikema kui 250 ms pikkuse ühefaasilise, kahefaasilise-maaga või kolmefaasilise reaalse lühise.

Antud katse tuleneb Võrgueeskirja §23 lõike 6¹ järgi, mis nõuab, et generaator ja selle abiseadmed peavad elektrivõrgust väljalülitumata taluma pinge järsku alanemist 0%-ni nimipingest 0,25 sekundi jooksul, kui tootmiseadme ja võrguoperaatori liitumispunkt asub

elektrijaama ja süsteemi vahelise trafo ülempingepoolel. Lisaks on täpsustatud, et pinge järsule alanemisele järgnev lineaarne pinge taastumine 25%-lt nimipingest kuni 90%-ni peab toimuma 0,5 sekundi jooksul. Kui pinge on taastunud 90%-ni nimipingest, siis võib generaator talitleda antud pingel ning tootmiseadme väljastatav võimsus võib langeda maksimaalselt 10% selle nimiaktiivvõimsusest. Maksimaalselt lubatud pingemuutus, mille piires peab generaator jääma võrguga ühendatuks, on kujutatud joonisel 2.10. [2]



Joonis 2.10 . Lühiskatse korral maksimaalne pinge muutus ajas vastavalt Võrgueeskirja nõuetele



Joonis 2.11. Kasutatavad lühiste liigid [15]

Nagu eespool on välja toodud, siis lühiskatse käigus olenevalt tootmiseseadmest ning võrgukonfiguratsioonist teostatakse joonise 1.11 järgi F(3), F(1,1) või F(1) lühis.

Lühise tekitamiseks lülitatakse võimaluse korral kahesektsioonilise alajaama korral muud tarbijad katsealusest tootmiseseadme liitumispunktist eraldi ning üks elektriliin viiakse tööst välja. Seejärel ühendatakse pingetu liini lahtrisse kantav maandus, vastavalt lühise liigile valitakse mitu faasi maaga ühendatakse. Enne lühise kunstlikku tekitamist muudetakse releekaitse sätteid vastavalt, et lühis oleks kuni 250ms pikkune. Lühis tekitatakse lülitades sisse võimsuslüliti, mille liinilahtris on paigaldatud kantav maandus ning releekaitse lülitab vajaliku aja möödudes lühise välja. Katse loetakse edukaks, kui eelnevalt välja toodud Võrgueeskirja nõuded on täidetud.

Joonistel 1.12 ja 1.13 avalduvad nurkkarakteristikuid iseloomustab valem 2.12 :

$$P = \frac{EU}{X} \sin\delta \quad (2.12)$$

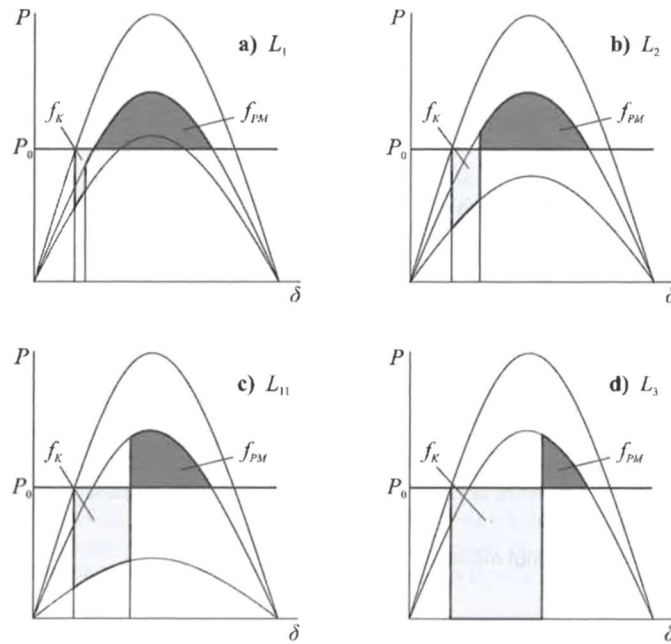
. kus E – elektromotoorjõud

U – latipinge

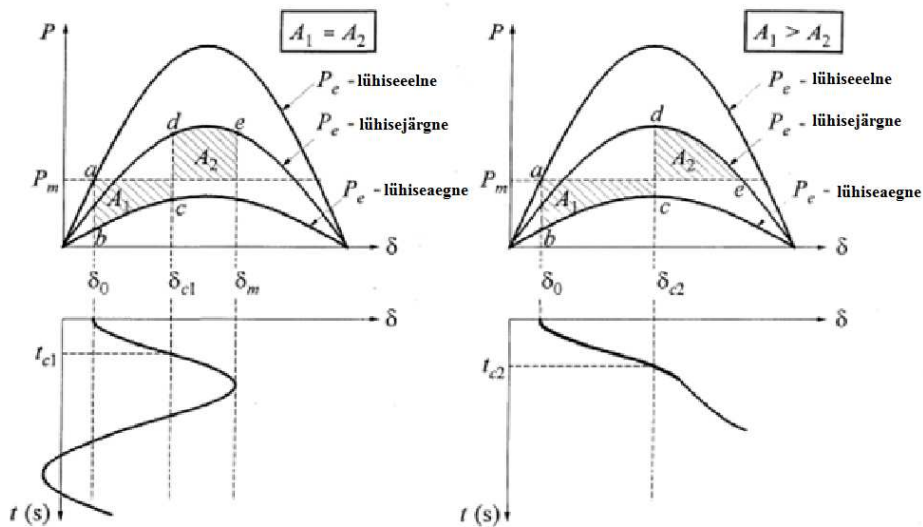
X – süsteemi takistus

δ – elektromotoorjõu ja latipinge vaheline nurk

Joonis 2.12 kirjeldab erinevate lühiseliikide mõju sünkroongeneraatori dünaamilisele stabiilsusele, kus f_k on kiirenduspindala ning f_{PM} pidurduspindala. On näha, et kõige suurem mõju generaatori võimele jääda võrku on kolmeefaasilisel lühisel, kuna kiirenduspindala on kõige suurem. Järelikult masin oma inertsist kiireneb oluliselt rohkem ning nurgastabiilsus võib minna stabiilsest olukorrast ebastabiilsesse, mida on kirjeldatud joonisel 2.13.



Joonis 2.12. Erinevate lühiste mõju generaatori kiirendus- ja pidurduspindaladele [3]



Joonis 2.13. Stabiilne ja ebastabiilne juhtum [4]

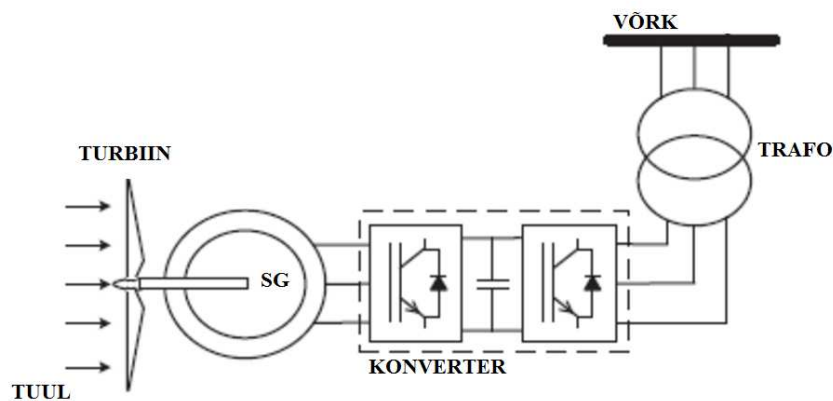
Joonisel 2.13 on kujutatud kahte juhtumit, kus vasakpoolsel graafikul on tegu stabiilse olukorraga, kus generaator jääb sünkronismi, ning parempoolsel graafikul on kiirenduspindala suurem kui pidurduspindala, ning nurk ei tagastu esialgsesse vahemikku vaid kasvab pidurdamatult ning sündmus lõpeb generaatori võrgust eraldamisega.

Lühiseläbimist mõjutavad tegurid [4] :

- Kui palju on generaator koormatud ning sellest, kas ta tarbib või toodab reaktiivvõimsust
- Lühise asukoht ja tüüp
- Lühise kestus
- Lühisejärgsest süsteemi takistusest X
- Generaatori takistusest. Madalam takistus suurendab tipuvõimsust ning vähendab algset rootori nurka
- Generaatori inerts. Mida suurem on inerts, seda aeglasem on nurga muutus. Ka kiirenduspindala A_1 väheneb sellega.
- Generaatori elektromotoorjõu väärtus, mis sõltub ergutusest
- Süsteemi pinge tase

3. Läbi inverteri ühendatud tootmisseedmed

Läbi jõuseadmete ühendatud tootmisseedmeteks on põhiliselt tuule- ja päikeseelektrijaamad. Võrgueeskirja §12 lõike 1 punktis 2 on sätestatud, et üle 10 MW nimiaktiivvõimsusega elektrituulikud, tuulepargid ning päikeseelektrijaamad ühendatakse Eestis põhivõrguettevõtja elektrivõrguga. Kuna aga antud jaamade puhul ei kehti paljud nõuded, mis on toodud välja peatükis 2, siis on tuule- ja päikeseelektrijaamadele koostatud katsekava vastavalt neile kohalduvatele nõuetele. [2]



Joonis 3.1. Klass 4 elektrituuliku põhimõtteskeem [16]

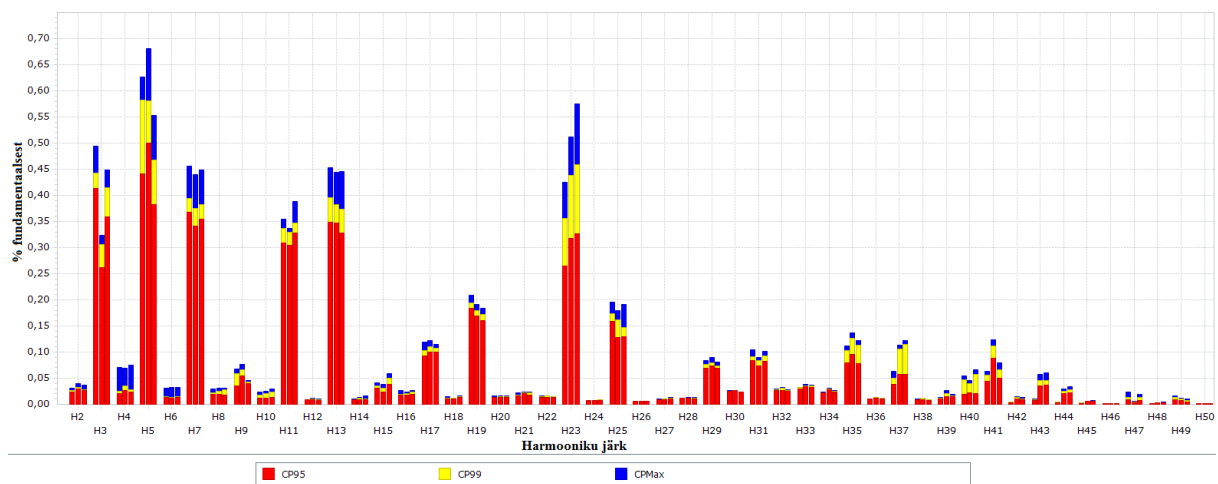
Joonisel 3.1 toodud Klass 4 elektrituuliku põhimõtteskeemi võib üldjoontes laiendada ka päikeseelektrijaamale, ainult et turbiini ja generaatori asemel on päikesepaneel. Ühendus võrguga toimub läbi jõuseadmete. Kuna tuulikuid ja päikesepaneele ühendatakse võrku parkide kaupa, siis peab olema ühe liitumispunkti taga olevatel seadmetel ühine juhtimissüsteem, mis reguleerib kõigi üksikute seadmete talitlust liitumispunkti suhtes. Järgnevas peatükis on kirjeldatud nõudmisi ja katsetusi, mis on kohaldatud tuule- ja päikeseelektrijaamadele.

3.1 Kvaliteedi mõõtmine

Protsess on sarnane peatükis 2.2 toodud standarditele ning protseduuridele. Erinevus sünkroongeneraatori kvaliteedi mõõtmisest on see, et kõik tuulikute või päikesepaneelide sisse- ja väljalülitumised tuleb registreerida. Lisaks peavad kõik piirangud olema deaktiveeritud ning tuule- või päiksepark peab talitlema normaalrežiimil. [6]

Põhilisteks kvaliteeti mõjutavateks näitajateks läbi jõuseadmete ühendatavate tootmiseadmete korral on pingeharmonikud, mis moonutavad normaalselt siinuselist pingekuju. Üsna suurel määral tekitavad jõuseadmed, mis kasutavad ebalineaarseid seadmeid kontrollimaks aktiiv- ja reaktiivvõimsust. Oluline on mõõta just paaritud pingeharmonikuid (nt 5,7, 11 ja 13). [17] Näidisenä on joonisel 3.2 toodud välja tuulepargi pingeharmonikute tase, mis kinnitab, et suuremad on harmoonikate järjed mis on 6 ja selle kordsetest harmoonikatest +/-1 järjed.

Ühe nädala jooksul mõõdetakse väreluse lühiajalisi ning pikaajalisi väärtuseid, harmoonikute tasemeid liitumispunktis kuni 50-nda järjuni, pingessümmeetriat ning registreeritakse ülepinged. [6] Pärast kvaliteedi mõõtmisi ning lühiaruande heakskiitu on võimalik alustada järgmiste katsetustega.



Joonis 3.2. Tuulepargi harmoonikate tase liitumispunktis

3.2 Tootmiseadme töö keelatud/lubatud

Antud katses peavad tuule-või päikesepargi kõik tootmisüksused olema töös ning tootma võrku vähemalt 50% tootmiseadme nimivõimsusest ning kõik piirangud peavad olema välja lülitatud. Antud võimsuse juures peab tootmiseadme töötama vähemalt 5 minutit kui juhtimissüsteemile edastatakse signaal „Tootmiseadme töö keelatud“. Antud signaali kätte saades, peab tootmiseadme vähendama väljundvõimsust sujuva reguleerimise abil maksimaalse võimaliku kiirusega kuni nullini. Antud korraldus kestab 11 minutit ning seejärel saadetakse tootmiseadme juhtimissüsteemi uus signaal „Tootmiseadme töö lubatud“, mille järgselt peab tuule-või päikesepark aktiivvõimsuse sujuva reguleerimisega saavutama piiranguteta püsitalitluse ning väljastama tuuleoludele vastavat maksimaalset võimsust vähemalt 5 minuti jooksul. [6]

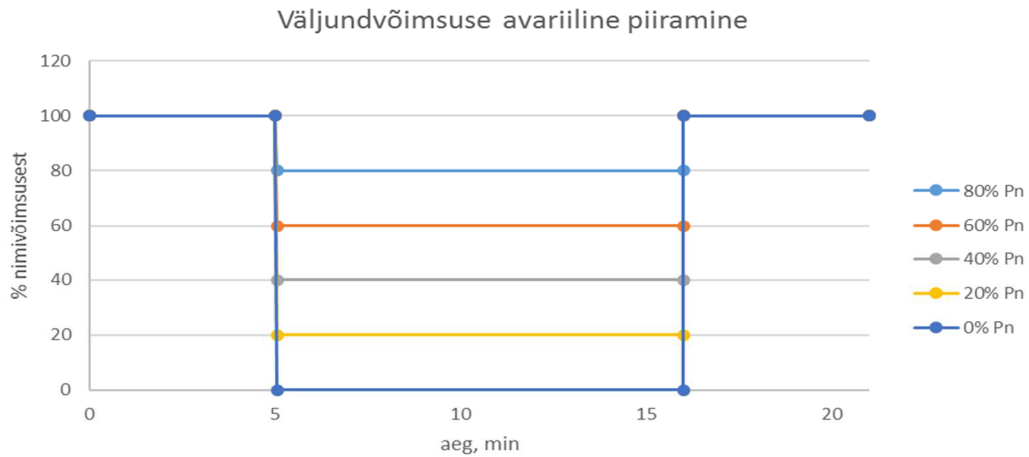
Antud katsega kontrollitakse Võrgueeskirja §18 lõike 11 punkti 1, mis sätestab, et kaugjuhtimissüsteem peab võimaldama jaama põhivõrgust sisse ja välja lülitada. [2]

Lisaks kontrollitakse §26 lõike 1 punkti 3, mis ütleb, et elektrituulik, tuulepark või päikeseelektrijaam peab käivitamiseks sobilike tingimuste juures 15 minutiga saavutama oma võimaliku täisvõimsuse, ehk antud tootmiseadmete puhul on selleks tuule-või päikeseoludest sõltuv võimalik väärtus. [2]

3.3 Väljundvõimsuse avariiline vähendamine

Antud katses peab tootmiseadme kõik üksused (nt tuulikud) olema töös ning väljastama vähemalt 80% oma nimivõimsusest vähemalt 5 minuti jooksul. Kui normaaltalitusel on nõutud aeg töötatud, siis saadetakse tootmiseadme kontrollerisse signaal „Tootmiseadme P avariiline piirang 0 % sisse“. Seejärel peab tootmiseadme maksimaalse kiirusega vähendama oma väljundvõimsuse nulli ning 11 minuti möödudes antakse signaal „Tootmiseadme P avariiline piirang 0 % välja“ ning tootmiseadme peab talitlema vähemalt 5 minutit normaalrežiimis. [6]

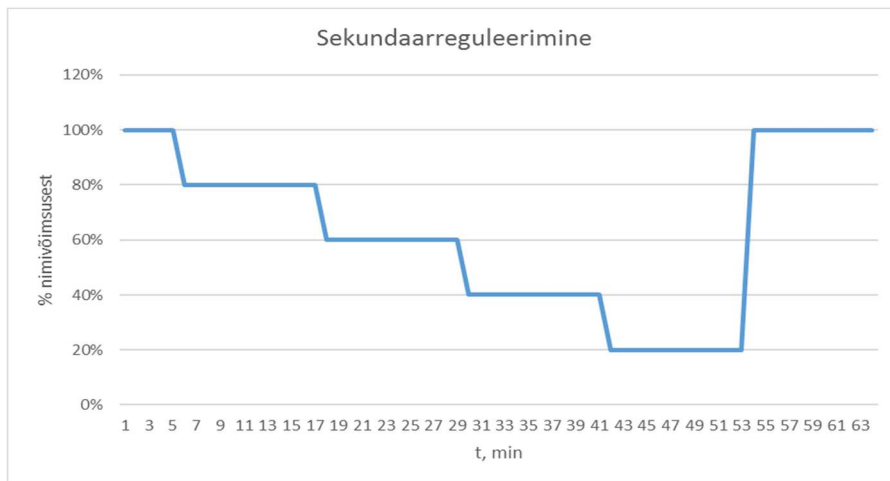
Katset korraldatakse lisaks 0% väljundvõimsuse avariilisele piiramisele analoogselt ka teiste astmete juures, nt 20%, 40%, 60% või 80% nimivõimsusest nagu on toodud näitena joonisel 3.3. Väljundvõimsuse avariilise piiramise katse eesmärgiks on näidata vastavust Võrgueeskirja §18 lõikele 8, mis sätestab, et elektrituulik, tuulepark või päikesejaam, mis on üle 200kW võimsusega, peab aktiivvõimust hoidma +/-5% nimivõimsusest etteantud sätteväärtusest. Lisaks peab saama aktiivvõimsuse piiri reguleerida ühe juhtsignaali abil. Aktiivvõimsuse avariiline piiramine peab toimuma kahe sekundi jooksul alates juhtsignaali kätte saamisest kuni 20% tootmiseadme nimivõimsusest. Aktiivvõimsuse reguleerimiseks avariolukorras on lubatud lülitada tootmisüksuseid üksi või grupi kaupa. [2]



Joonis 3.3. Väljundvõimsuse avariilise piiramise sätteväärtused

3.4 Aktiivvõimsuse sujuv reguleerimine

Aktiivvõimsuse sujuva reguleerimise ehk sekundaarreguleerimise katse eelduseks on, et tuule või päikeseolud võimaldavad tootmiseseadmel toota vähemalt 80% oma nimivõimsusest. [6] Joonisel 3.4 on toodud sätteväärtused tootmiseseadmele, mida peab seade sekundaarreguleerimise katse ajal läbima. Võimsuse vähenemine ning suurenemine peab toimuma sujuvalt etteantud kiirusega, kus katse alguses määratakse aktiivvõimsuse reguleerimise kiirus MW/min. Iga sätteväärtuse juures peab jaam talitlema vähemalt 11 minutit, ning samas ei tohi olla aktiivvõimsuse hälve sätteväärtusest olla suurem kui +/- 5% Võrgueeskirja §18 lõike 8 punkti 1 järgi, mis sätestab, et aktiivvõimsuse hälve võrguettevõtja poolt määratud sätteväärtusest ei tohi ületada +/-5% nimiaktiivvõimsusest. [6] [2]

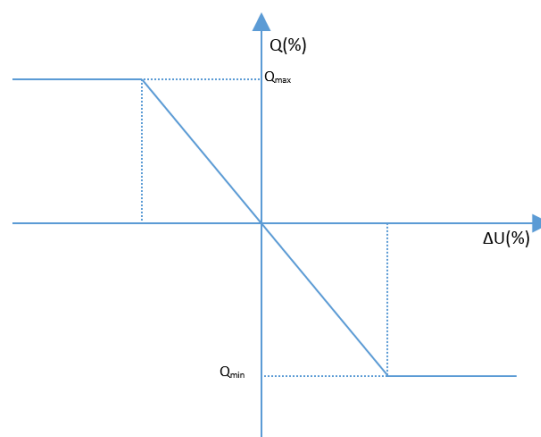


Joonis 3.4. Sekundaarreguleerimise aktiivvõimsuse sätteväärtused katse jooksul

3.5 Reaktiivvõimsuse reguleerimine U =konstant

Käesoleva katse eelduseks on, et tuule- või päikeseelektripark peab tootma vähemalt 50% oma nimiaktiivvõimsusest ning väljundvõimsust ei tohi katse jooksul piirata. Lisaks peavad kõik tuulikud olema töös vähemalt 50% ajast iga pinge sätteväärtuse ajast. [6]

Juhtimisfunktsiooni $U = \text{konstant}$ toime väljaselgitamine toimub sarnaselt peatükis 1.8 väljatoodule, ehk juhtimiskeskuse poolt antakse ette tootmiseseadmele liitumispunkti (eng *PCC – Point of Common Coupling*) kolm pinge sätteväärtust ning vaadeldakse reaktiivvõimsuse muutuseid vastavalt pinge sätteväärtustele. Lisaks teostab juhtimiskeskus iga astme juures võrgus pinge muutuseid kas kondensaatorpatarei või siis reaktori lülitamisega või trafo astmelüliti asendi muutusega. Jaam peab iga sätteväärtuse juures talitlema 8 tundi. [6]



Joonis 3.5. Pinge reguleerimise põhimõte

3.6 P/Q karakteristiku mõõtmine liitumispunktis

Katse eelduseks on kõigi tootmisüksuste töös olek ning jaama tootmine vähemalt 80% selle nimivõimsusest. [6]

Tabel 3.1. Aktiiv-ja reaktiivvõimsuse sätteväärtused

Aktiivvõimsus	Reaktiivvõimsus
P max	Qmax
	Qmin
80% P nimi	Qmax
	Qmin
70% P nimi	Qmax
	Qmin
60% P nimi	Qmax
	Qmin
50% P nimi	Qmax
	Qmin
40% P nimi	Qmax
	Qmin
30% P nimi	Qmax
	Qmin
20% P nimi	Qmax
	Qmin
10% P nimi	Qmax
	Qmin

Sätteväärtused määratakse vastavalt tabelile 3.1, ning igat sätet tuleb hoida vähemalt 11 minuti jooksul. [6] Katse ajal ei tohi ükski tootmisüksus välja lülituda, sest sellega muutuks võimsuse reguleerimise võimekus ning tulemused ei oleks realistlikud.

Antud katse kinnitab varasemalt tootja poolt deklareeritud P/Q karakteristikut ning annab võrguettevõtjale tootmiseadme võimsuse reguleerimise piirid, mille raames tootmiseadme talitleda võimaldab.

3.7 Reaktiivvõimsuse reguleerimine Q=konstant

Katse eelduseks on tootmiseadme kõigi elementide töösolek ning väljundvõimsus on vähemalt 20% oma nimiaktiivvõimsusest. [6]

Sarnaselt peatükile 2.5 sünkroongeneraatori reaktiivvõimsuse reguleerimise katsele on ka siinjuhul kaks reaktiivvõimsuse astet ehk +/- 50% tootmiseadme maksimaalsest

reaktiivvõimsuse määrast. Erinevalt sünkroongeneraatorist peab läbi inverteri ühendatud tootmiseseade talitlema Q =konstant sätteväärtusel 60 minutit. [6]

Katse edukus sõltub tootmiseseadme võimekusest talitleda etteantud reaktiivvõimsuse sätteväärtuse juures +/- 10 % hälbega selle nimiaktiivvõimsusest. Antud nõue tuleneb Võrgueeskirja §18 lõike 9 punktist 1, mis sätestab, et reaktiivvõimsuse lubatud hälve sätteväärtusest on +/- 10 % elektrituuliku, tuulepargi või päikeseelektrijaama nimiaktiivvõimsusest. [2]

3.8 Lühiajaline võrguühenduse katkemine

Katse eelduseks on kõigi tootmisüksuste töösolek ning tootmine vähemalt 50% selle nimiaktiivvõimsusest. Kõik piirangud peavad olema desaktiveeritud ning tootmiseseade peab talitlema selle võimaliku maksimaalse võimsuse juures. [6]

Antud katse teostamiseks lülitatakse välja tootmiseseadet ja ülekandevõrku ühendav võimsuslülitid ning lülitid jääb avatud asendisse. 10 sekundi möödudes lülitatakse võimsuslülitid uuesti sisse ning kõik tootmiseseadmed peavad uuesti võrku lülituma ilma tõrgeteta. Kui tootmiseseadmed on uuesti ilmastikuoludele vastava maksimaalse väljundvõimsuse saavutanud, peab tootmiseseade talitlema antud olukorras veel 5 minutit ning seejärel saab lugeda katse lõppenuks. [6]

3.9 Lühiajaline võrguühenduse katkemine ilma keskse juhtimissüsteemita

Antud katse kordab peatükki 3.8, kuid ainus erinevus on see, et tootmiseseadme keskkontroller või siis juhtimissüsteem on viidud tööst välja. Katse on ettenähtud selle jaoks, et näha, kas tootmiseseade talitleb õigesti ka siis, kui keskne juhtimine puudub ning tootmisüksused talitlevad igauks üksi. Ka seejuures ei tohi ületada tootmiseseade tervikuna liitumispunktis ettenähtud reaktiivvõimsuse +/-10% piiri ning peab saavutama maksimaalse võimaliku võimsuse ja stabiliseeruma. [6] [2]

3.10 Talitus ilma keskse juhtimissüsteemita 24h

Antud katse kestab 24h ning tootmiseseade peab antud vahemikul talitlema nii, et keskjuhtimissüsteem on väljalülitatud. Samal ajal ei tohi Eleringi juhtimiskeskus ühtegi käsklust tootmiseseadmele anda. Ka teiste katsetuste tegemine on keelatud antud perioodil. [6]

Katse vältel peab tootmiseseade pidama kinni Võrgueeskirjas toodud piiridest. Nagu eespool mainitud, siis ei tohi väljastatav ega tarbitav reaktiivvõimsus olla suurem ega väiksem nullist kui 10 % selle nimiaktiivvõimsusest.

3.11 Primaarreguleerimine

Katse võimalikkuseks on sobilikud tuule- või päikeseolud, mis võimaldavad kõikidel tootmisüksustel töös olla ning tuule- või päikeseelektripark peab andma välja vähemalt 40 % oma nimiaktiivvõimsusest. [6]

Katse viiakse läbi samadel alustel nagu peatükis 2.10 on kirjeldatud ehk erinevate kunstlike sageduste ettesöötisel tootmiseseadme keskkontrollerisse erinevate sageduste, statisti ja tundetustega.

Erinevuseks sünkroonseadmetega on tuuleparkide nõue avariireservi kohta. Kui sünkroonseadmetel on reservi tekitamise nõue vähemalt +/- 12,5%, siis läbi inverteri ühendatud tootmiseseadmete korral on selleks vähemalt -12,5%. [2]

3.12 Lühiskatse

Lühiskatse ehk pingelohu läbimise katse viiakse läbi sarnaselt peatükis 2.12 väljatoodule, kus tehakse tuule- või päikseelektripargi liitumispunktile võimalikult lähedane lühis. Erinevus eelnevast on see, et elektrivõrguga ei ole otseselt ühendatud sünkroongeneraatorit. Selle eelisenä langeb välja nurgastabiilsuse tagamise kriitilisus antud seadmetel. Kuigi katse läbimiseks on siiski vaja süsteemis piisaval kogusel sünkroongeneraatoreid, et pakkuda elektrivõrgule piisavalt inertsi.

Ka tuule- ja päikseelektrijaamad peavad Võrgueeskirjale vastava pingelohu korral võrku jääma ning genereerimine ei tohi langeda alla 10% nimiaktiivvõimsusest. Seejuures tuleb ka välja tuua, et näiteks tuuleelektriparkide korral ei tohi ükski tootmisüksus välja lülituda.

4. Võrdlus Fingridiga

4.1 Fingrid sünkroonjaamade katsetamine

Fingridi spetsifikatsioonis on generaatorid määratud genereerivate seadmete ekspluatatsiooni suutlikkuse alusel nelja klassi [18]:

- Klass 1 – 0,5 MW kuni 10 MW nimiaktiivvõimsusega
- Klass 2 – 10 MW kuni 25 MW nimiaktiivvõimsusega
- Klass 3 – 25 MW kuni 100 MW nimiaktiivvõimsusega
- Klass 4 – üle 100 MW nimiaktiivvõimsusega või üle 10 MW, kui seade on ühendatud teatud piirkonnas Lapimaal

Erinevate võimsusklassidega jaamadele on ettenähtud erinevad nõuded. Klass 1 korral on katsete määr väiksem ja nõuded vähesemad, kui klassidele 2, 3 või 4, millele lisandub erinevaid vajalikke katseid juurde. Antud töös on vaadeldud klasse 2-4, ehk sarnaseid, mida ühendatakse Eleringi võrku. [18]

Soomes peab tootmiseseadme omanik koostama katsekava, mis tõendaks kõiki nõudeid, mida dokumendis [18] nõutakse. Seejärel kooskõlastatakse see Fingridiga vähemalt 3 kuud enne katsetamise algust. Katseid ennast ei ole tootmiseseadme omanikele ette antud, kuid on antud nõuded, mida tuleb tõendada katsetustega. Järgnevates peatükkides on toodud nõuded Fingridi eeskirjadele vastavuses katsete nõuetest ning samuti toodud välja Eleringi sarnased katsed või nõuded. Samas tuleb tähele panna, et Fingrid laseb kokkuleppe korras, kui süsteemi talitus ei luba teatud katseid teha, asendada osasid katseid kas tehasekatsetuste raportitega või simulatsioonidega, kus on verifitseeritud mudeleid kasutatud.

4.1.1 Minimaalse väljundvõimsuse juures töötamine

Katse peab näitama vastavust punktile, kus nõutakse, et genereeriva üksuse püsivalt väljastatud minimaalne väljundvõimsus peab olema võimalikult väike ning olema vastavalt elektri jaama tüübist järgmine [18]:

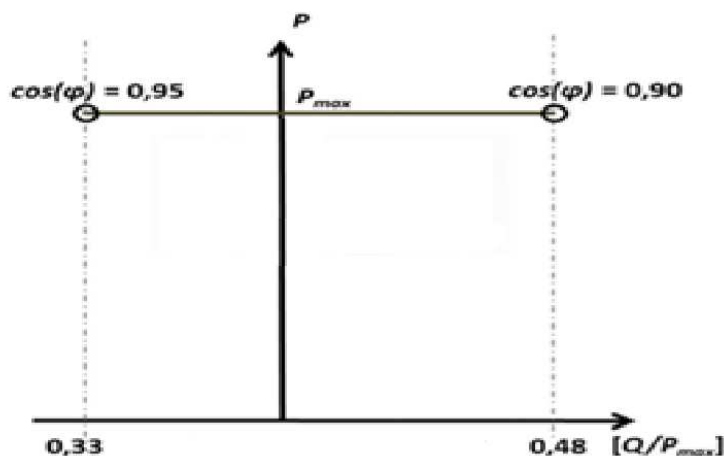
- Hüdroturbiinidel, gaasiturbiinidel ning mootorelektri jaamadel 10% nimiaktiivvõimsusest
- Koostootmisjaamadel või muudel soojuselektri jaamadel vähemalt 40% oma nimiaktiivvõimsusest

Antud nõuded kohalduvad ka Eestis. Minimaalne väljastatav võimsuse väärtuse saab antud töö peatüki 2.5 järgi, kus P/Q karakteristik ülesvõtmisel on määratud üheks tööpunktiks minimaalne väljastatav võimsus.

4.1.2 Reaktiivvõimsuse suutlikkus

Generaator peab suutma talitleda pidevalt tema aktiivvõimsusel P_{\max} , kui generaatori klemmidel mõõdetakse võimsusteguriks 0,95 mahtuvuslikku kuni 0,9 induktiivset. Seda iseloomustab joonis 4.1. [18]

Kui generaator talitleb allpool väärtust P_{\max} , siis peab generaator tootma ja tarbima generaatori tootja poolt antud P/Q diagrammi piires. Katses tuleb ära näidata peale aktiivvõimsuse P_{\max} ka vähemalt kaks aktiivvõimsuse taset ning talitlust maksimaalsete reaktiivenergia tarbimiste ja tootmiste juures. [18]



Joonis 4.1. Reaktiivvõimsuse nõutav võimekus Fingridis [18]

Eleringi katsekavas katab ära selle punkti nii peatükk 2.5 kus võetakse üles tootmisseedme P/Q karakteristik ning samas peatükis testitakse reaktiivvõimsuse hoidmise taset nii üleergutatud kui ka alaergutatud režiimis.

4.1.3 Generaatori pingjuhtimise astmeline reageering

Katsega tuleb ära näidata, et generaatori ergutussüsteemi funktsionaalsus ning karakteristikud on vastavuses järgmiste nõuetega [18] :

- APR-il peab olema kaks kanalit, kus mõlemal peab olema automaatne pideva pinge kontrolli funktsioon ning pideva ergutusvooluvoolu kontrolli režiim
- APR peab olema disainitud nii, et lagipinge peab olema vähemalt kaks korda ergutuspingest nimivõimsuse juures ning 1,6 korda harjadeta ergutuse puhul. Lagipinget peab olema võimalik hoida vähemalt 10 sekundit.
- Kui generaatori APR-i sätteväärtust muudetakse tühijooksul 95% pealt 105% peale, peab astmelise muutuse reaktsioon vastama nõuetele :
 - Staatilise ergutuse korral peab pinge tõusu kiirus olema muutuse 0% pealt 90%-ni muutusest 0,2-0,3 sekundit
 - Harjadeta erguti korral 0,2-0,5 sekundit
- Kui muudetakse generaatori sätteväärtust 105% pealt 95%-ni peab astmelise muutuse reaktsioon vastama nõuetele :
 - Staatilise ergutuse korral peab pinge languse kiirus olema 0% kogumuutusest kuni 90%-ni 0,2-0,3 sekundit
 - Harjadeta erguti korral 0,2-0,8 sekundit

Eleringi puhul kohaldub antud katsele peatükk 2.4 generaatori APR-i katsetamine, kus on kajastatud samad pinge astmelise muutuse sammud.

4.1.4 Pidev pingjuhimine

Generaatori automaatse pingjuhtimise funktsionaalsus ja karakteristikud peavad vastama järgmistele nõuetele [18] :

- APR peab töötama pideva pinge hoidmise režiimil. Lisaks võib olla pideva reaktiivvõimsuse režiim ning võimsusteguri režiim
- Kontrollsüsteem peab olema ehitatud lisaks APR-ile lisastabilisaatoriga ning teiste funktsionaalsustega, mis aitab kaitsta generaatorit ülekoormusest
- Sätteväärtust peab saama muuta pideva pingjuhtimise korral 0,01pu sammudega vastavalt generaatori pingepiirile
- Pingjuhtimise muutus peab olema lineaarne ning muudetav 1-10% ulatuses 1% sammudena kas siis positiivses suunas või negatiivses
- Reaktiivvõimsuse juhtimise režiimis peab olema reaktiivvõimsus muudetav 1 Mvar astmetena

Eleringi katsekavas vastab antud nõuetele peatükk 1.8 reaktiivvõimsuse reguleerimine U =konstant ning peatükk 2.5 reaktiivvõimsuse reguleerimine Q =konstant. Reaktiivvõimsuse muutuse sammud 1 Mvar on nii Fingridis kui ka Eleringis samad.

4.1.5 Alaergutuspiiraja funktsionaalsus

Katses tuleb näidata alaergutuspiiraja funktsionaalsus, mis on koordineeritud voolupiirajatega (staatori, rootori ja ergutus) ning ergutuse kadumise kaitsega ning elektrisüsteem stabilisaatoriga. [18]

Põhimõtteliselt kattub antud katse Eleringi katsega peatükis 2.4 toodud alaergutuspiiraja töösserakendumise testimisega.

4.1.6 Üleergutuspiiraja funktsionaalsus

Katses tuleb näidata üleergutuspiiraja funktsionaalsus, mis on koordineeritud voolupiirajatega (staatori, rootori ja ergutus) ning elektrisüsteem stabilisaatoriga. [18]

Põhimõtteliselt kattub antud katse Eleringi katsega peatükis 2.4 toodud üleergutuspiiraja töösserakendumise testimisega.

4.1.7 Elektsisüsteemi stabilisaatori funktsionaalsus

Elektrisüsteemi stabilisaatori nõue tuleb Fingridis klass 4 tootmiseseadme kohta, mille määratlus on toodud eespool antud töös. Katsetused peavad kinnitama elektrisüsteemi stabilisaatori funktsionaalsuse ning karakteristikud. Lisaks peavad katsed ära näitama kontrolleri reageeringud elektromehaaniliste võnkumiste korral. Katsetes tuleb näidata erinevad reageeringud nii stabilisaatori töös olekuga kui ka tööst väljas olekuga. [18]

Elektrisüsteemi stabilisaator peab olema seadistatav nii, et saab summutada elektrisüsteemi ja generaatori vahelisi võnkumisi vahemikus 0,2-2.0 Hz. Stabilisaator ei tohi võimendada süsteemisisesid võnkumisi sagedusega 0,3 Hz. [18]

Katsetused peavad ära katma järgmised aspektid [18]:

- Testid tuleb teostada generaatori nimivõimsuse juures ning vähemalt ühe aktiivvõimsuse taseme juures mis on erinev nimivõimsusest
- Kontrolleri reaktsioonid sagedusvahemikus tuleb kajastada katsetuste käigus. Seda saab teha muutes süsteemi lülituste olukorda või sisendades kunstlikult võnkumisi.

- Funktsionaalsuse katsetamiseks tuleb mõõteandmed salvestada piisava sagedusega, et analüüs oleks võimalik

Eleringi elektrisüsteemi stabilisaatori katsetuste kirjeldus on peatükis 2.4, mis sarnaneb Fingridiga.

4.1.8 Sageduse reguleerimise toime astmeliste ja sujuvate muutuste korral

Antud katses peab tootmiseadme väljastatav võimsus olema vähemalt 30% oma nimivõimsusest ning sageduse reguleerimine peab olema vähemalt +/-10% nimiaktiivvõimsusest. Katse teostamiseks antakse kontrolleri sisendisse kunstlikult vale sageduse sisend. [18]

Sageduse reguleerimisele kohalduvad nõuded [18]:

- Tootmiseadme sageduse reguleerimisel peab olema määratletud kaks talitlemisviisi : normaaltalitus ning avariitalitus.
- Nominaalsagedus on 50 Hz
- Statismi peab olema võimalik muuta vahemikus 2 kuni 12%, sammudega 1%
- Tundetustsooni peab olema võimalik muuta vahemikus 0,0 kuni 1.0 Hz sammudega 0,01 Hz
- Sageduse muutusel astmeliselt vähemalt 0,5 Hz peab aktiivvõimsuse muutus olema vähemalt 50% muutusest 5 sekundi jooksul ning kogu muutus peab toimuma 30 sekundi jooksul

Eleringi katsekava katab ära antud testid peatükis 2.10 välja toodud primaarreguleerimise katsega, kus testitakse 40% ja 90% nimiaktiivvõimsuse juures erinevate sageduse sisendite mõju erinevate statismide ning tundetustsoonidega.

4.1.9 Sageduse reguleerimise tundetustsoon

Antud katsega tuleb näidata tundetustsooni toime ehk generaator ei tohi sageduse muutusel tundetustsooni sees reageerida sageduse muutusele. Tundetustsooniks on vahemik 0 kuni 1 Hz ning sammuga 0,01 Hz. [18]

Eestis on nõutud tundetustsooni vahemikuks 0 kuni 0,5 Hz. Ka Eleringi katsekavas on osad primaarreguleerimise sagedusehälbed tundetustsooni sees ning antud vahemikus ei tohi generaator reageerida. [2]

4.1.10 Võimsuse reguleerimise ja sageduse reguleerimise kontrollrežiimide vaheldumine

Katses tuleb ära näidata kuidas toimub aktiivvõimsuse reguleerimise ning sageduse reguleerimise kontrollrežiimide üleminek ühelt režiimilt teise. Kontrollrežiimid peavad töötama samamoodi juhtutel kui seadet juhitakse kohapealt või kaugjuhtimise teel. [18]

Eleringi katsekavas antud funktsionaalsuse katset ei ole ette nähtud.

4.1.11 Võimsuse piirang ning muutumise kiirus

Katses tuleb ära näidata nõuetekohasus aktiivvõimsuse reguleerimise tingimustele. Aktiivvõimsuse muutus on siinkohal suurim kiirus, mida elektriyaam või üksik generaator peab saavutama ühelt sätteväärtuselt teisele minekul. Sätteväärtust peab olema võimalik seada 1MW täpsusega. [18]

Normaalolukorras kehtivad nõuded :

- Normaalolukorras peavad hüdro- ja gaasiturbiinide ning mootorajamiga generaatorite aktiivvõimsuse muutumise kiirus olema +/- 40% nimiaktiivvõimsusest minutis. Antud kiirusega peab aktiivvõimsus olema reguleeritav 40-100% võimsuse vahemikus. Alla 40% väljundvõimsuse juures võib muutuse kiirus olla aeglasem
- Koostootmisjaamade ning muude soojuselektriyaamade aktiivvõimsuse muutumise kiirus peab olema vähemalt +/-5% tema nimiaktiivvõimsusest minutis. Antud kiirusega peab olema elektriyaam suuteline võimust muutma 60-90% võimsuse vahemikus.

Avariiolukorras kehtivad nõuded (sageduse astmelisel muutusel 0,5 Hz) :

- Pool kogu võimsuse muutuse ulatusest peab olema saavutatav 5 sekundi jooksul ning kogumuutus peab olema saavutatav 30 sekundi jooksul
- Hüdroturbiinide, gaasiturbiinide ja mootorajamiga generaatoritel peab võimsus olema reguleeritav ülalpool toodud kiirusega +/-10% ulatuses nimiaktiivvõimsusest 50-100% võimsusvahemikus
- Koostootmisjaamade ning muude soojuselektriyaamade aktiivvõimsuse muutumise kiirus peab olema vähemalt +/-5% ülalpool toodud kiirusega. Antud kiirusega peab olema elektriyaam suuteline võimust muutma 50-90% võimsuse vahemikus.

Eleringi katsekavas on aktiivvõimsuse reguleerimise kiiruse katse kirjeldatud antud töö peatükis 2.9. Erinevus on selles, et kui tahkekütuse elektrijaamad peavad Soomes reguleerima ennast 5% aktiivvõimsusest minutis, siis Eestis on selleks 4%.

4.1.12 Üleminek omatarbele ning seal talitlemine

Antud katsega tuleb tootmiseseadmehel minna omatarbele ning talitlema vastavalt järgmistele nõuetele [18] :

- Tootmiseseade peab olema ehitatud nii, et liitumispunktis pinge või sageduse muutusel üle normide peab tootmiseseade lülituma omatarbele
- Hüdro- ning gaasiturbiinjaamad peavad suutma talitleda omatarbel vähemalt 8h
- Muud tootmiseseadme liigid peale hüdro ning tuuma peavad talitlema omatarbel vähemalt 1h
- Tootmiseseadet peab olema võimalik resünkroniseerida võrguga

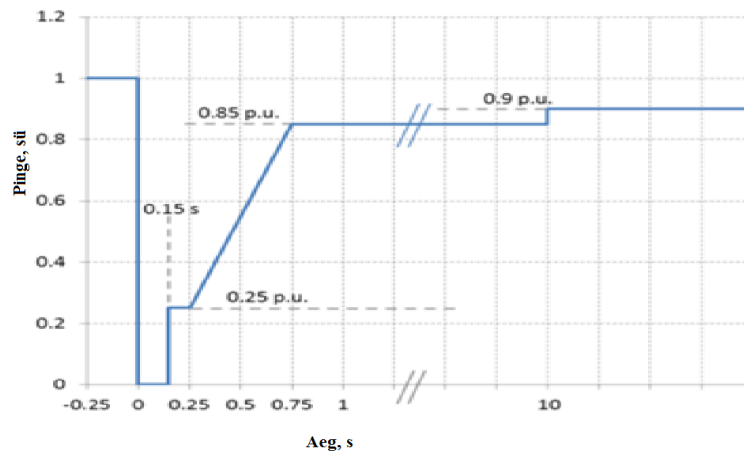
Eestis on omatarbel töötamise nõudeks 1h nagu ka Soome puhul ning nõue kehtib kõigile sünkroonjaamadetele.

4.1.13 Lühiskatse

Katsega tuleb näidata tootmiseseadme käitumine vastavalt nõuetele hetkelise pingehäire ajal ning pärast häiret. Antud katse asendatakse simuleerimise ning arvutustega. [18]

Klass 2 ja 3 tootmiseseadmed, mis on määratletud eespool peavad talitlema lühise korral järgmiselt [18] :

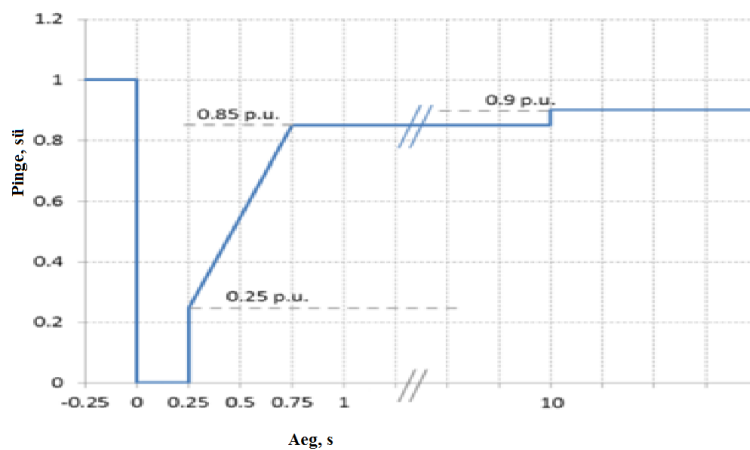
- Tootmiseseade peab jääma ühendatuks võrguga pärast lühist joonisel 16 toodud pingelohu korral
- Tootmiseseade peab saavutama lühisele eelnenud võimsuse 1 sekundi jooksul



Joonis 4.2. Klass 2 ja 3 puhul pinge muutus pingelohu korral liitumispunktis [18]

Klass 4 tootmiseadme puhul kohalduvad nõuded [18] :

- Tootmiseadme peab jääma võrku joonisel 4.2 toodud pingelohu korral
- Tootmiseadme peab taastama esialgse võimsuse 1 s jooksul
- Tootmiseadme ei tohi enne lühist tarbida ega genereerida võrk reaktiivvõimsust



Joonis 4.3. Klass 4 puhul pinge muutus pingelohu korral liitumispunktis [18]

Kui Fingridis simuleeritakse pingelohu läbimist verifitseeritud mudeli alusel, siis Eestis teostatakse kontrolliks reaalne lühis süsteemis, kuna simulatsioonid tihtilugu ei kajasta 100% tootmiseadme käitumist lühise ajal.

4.2 Fingrid tuuleparkide katsetamine

Ka tuuleparkide puhul kehtivad samad võimsusklassid, mis ka sünkroonjaamade puhul ning allpool on vaadeldud peamiselt Klass 2 kuni klass 4 võimsusvahemikega tuuleparke, kuna alates 10 MW võimsusest ühendatakse tuule- ja päikeseelektrijaamad Eestis põhivõrguga.

4.2.1 Minimaalse väljundvõimsuse juures töötamine

Katse peab näitama vastavust punktile, kus nõutakse, et genereeriva üksuse püsivalt väljastatud minimaalne väljundvõimsus peab olema võimalikult väike ning vastama järgmistele nõuetele [18]:

- Tootmiseseadme minimaalselt väljastatav võimsus peab olema väiksem kui 10% tema nimiaktiivvõimsusest
- Tootmiseseade peab talitlema minimaalselt väljastatava võimsuse juures vähemalt 15 minutit
- Mitmest tuulikust koosneva tuulepargi korral kui võimsus ei ole jaotatud kõigi töösolevate tuulikute vahel võrdselt, tuleb näidata iga tuuliku võimsused eraldi

Tootmiseseadme minimaalse väärtuse nõue kehtiv ka Eestis ning on läbi inverteri ühendatud tootmiseseadmetele alla 10% sarnaselt Soomega. Minimaalne väljastatav võimsuse väärtuse saab antud töö peatüki 3.6 järgi, kus P/Q karakteristiku ülesvõtmisel on määratud üheks tööpunktiks minimaalne väljastatav võimsus.

4.2.2 Tuulepargi käivitusaeg

Katsega tuleb ära näidata tuulepargi võime käivituda vastavalt nõudele [18]:

- Tuulepargi võrku ühendamise tagajärjena ei tohi liitumispunktis pinge muutuda üle 3% tavatalitluspingest

Eestis ei ole antud nõuet kohaldatud, kuid käivitamise katse all mõistetakse Elering AS katsekavas pigem tuulepargi käivitamise kiirust ehk tootmise alustamist alates seadme töösse lubamisest kuni ilmastikuoludele vastavatele tuuleoludele võimaliku maksimaalse võimsuse saavutamiseni.

4.2.3 Reaktiivvõimsuse suutlikkus

Katse peab ära näitama arvutatud reaktiivvõimsuse suutlikkuse tegelikud piirid, mis oleks vastavuses allpool toodud nõuetega.

Klass 2 tuulepargi moodul peab nimivõimsuse ning minimaalselt väljastatava võimsuse vahemikust tarbima ning genereerima reaktiivvõimsust järgmiselt [18]:

- 0 - 0,1 sü $[Q/P_{\max}]$ üleergutatud olukorras, kui liitumispunkti pinge on vahemikus 0,9 – 1.0 sü
- 0 - 0,1 sü $[Q/P_{\max}]$ alaergutatud olukorras, kui liitumispunkti pinge on vahemikus 1,0 – 1.05 sü
- Alla minimaalse genereeritava aktiivvõimsuse reaktiivvõimekust ei nõuta

Klass 3 ja klass 4 tuulepargi moodulid peavad nimivõimsuse ning minimaalselt väljastatava võimsuse vahemikust tarbima ning genereerima reaktiivvõimsust järgmiselt [18] :

- 0 – 0,33 sü $[Q/P_{\max}]$ üleergutatud olukorras, kui liitumispunkti pinge on vahemikus 0,9 – 1.0 sü
- 0 - 0,33 sü $[Q/P_{\max}]$ alaergutatud olukorras, kui liitumispunkti pinge on vahemikus 1,0 – 1.05 sü
- Alla minimaalse genereeritava aktiivvõimsuse reaktiivvõimekust ei nõuta

Katsetamist tuleb läbi viia minimaalselt kuue tööpunkti juures ning iga punkti kestus peab olema vähemalt 15 minutit :

- Väljastatav aktiivvõimsus üle 50% nimivõimsusest
 - Kõrgeim võimalik reaktiivvõimsus mahtuvusliku võimsusteguri juures
 - Kõrgeim võimalik reaktiivvõimsus induktiivse võimsusteguri juures
- Väljastatav aktiivvõimsus 20% ja 40% vahemikus nimivõimsusest
 - Kõrgeim võimalik reaktiivvõimsus mahtuvusliku võimsusteguri juures
 - Kõrgeim võimalik reaktiivvõimsus induktiivse võimsusteguri juures
- Minimaalne võimalik väljastatav aktiivvõimsus
 - Kõrgeim võimalik reaktiivvõimsus mahtuvusliku võimsusteguri juures
 - Kõrgeim võimalik reaktiivvõimsus induktiivse võimsusteguri juures

Antud katse puhul kohaldub Eleringi katsekavas PQ karakteristiku määramise nõue, kus erinevate aktiivvõimsuse tööpunktide juures rakendatakse maksimaalseid reaktiivvõimsuse tarbimise ja tootmise piire.

4.2.4 Pidev reaktiivvõimsuse kontroll

Katsega tuleb ära näidata pideva reaktiivvõimsuse kontrolli funktsionaalsus ning rakendatavus, mis peab vastama järgmistele nõuetele [18] :

- Tuulepark peab olema võimeline talitlema reaktiivjuhtimise funktsioonis, kus juhitakse liitumispunkti antavat või tarbitavat reaktiivvõimsust liitumispunkti suhtes
- Reaktiivvõimsuse sätteväärtust peab olema võimalik muuta 1 Mvar astmetena
- Reaktiivvõimsust peab olema võimalik muuta kogu reaktiivvõimsuse võimekusele

Antud katse on sarnane Eleringi reaktiivvõimsuse reguleerimise katsele, mis on kirjeldatud peatükis 3.7. Kõik kolm eespool toodud nõuet kohalduvad ka Eestis olevatele tootmiseadetele.

4.2.5 Pidev võimsusteguri kontroll

Katsega tuleb ära näidata võimsusteguri kontrolli funktsionaalsus ning rakendatavus, mis peab vastama järgmistele nõuetele [18] :

- Tuulepark peab olema võimeline talitlema võimsusteguri juhtimise funktsioonis, kus juhitakse võimsustegurit liitumispunkti suhtes
- Võimsusteguri sätteväärtust liitumispunktis peab olema võimalik muuta 0,01 pu sammudena vahemikus 0,95induktiivsest 0,95 mahtuvuslikuni

Eesti ülekandevõrgus ei ole nõutav võimusteguri juhtimise katsetamine.

4.2.6 Pidev pingejuhtimis kontroll

Katse on näitamaks tuulepargi võimekust talitleda pingejuhtimise funktsioonis kontrollimaks otseselt liitumispunkti pinget. Juhtimine peab vastama järgmistele nõuetele [18]:

- Liitumispunkti pinge sätet peab olema võimalik määrata 0,01pu sammuga etteantud pinge vahemikus
- Pingejuhtimise funktsioon peab olema lineaarne ning peab olema muudetav 1 kuni 10% vahemikus 1% sammuna
- Kui sätteväärtuse muutus on alla 0,05pu siis peab reageering järgmine
 - Reaktiivvõimsuse tõus 0 kuni 90% kogumuutusest peab olema saavutatav 1 sekundi jooksul
 - Reaktiivvõimsuse saavutatava sätteväärtuse ületus ei tohi olla suurem kui 15% kogumuutusest

- Reageering peab saavutama stabiilse oleku 3 sekundiga

4.2.7 Kontrollrežiimide vaheldumine

Katsega tuleb ära näidata ühest kontrollrežiimist teise üleminekuid. Kontrollrežiimide üleminek peab vastama järgmistele nõuetele [18] :

- Üleminek ei tohi tekitada suuremaid kui 1% muutuseid võimekuses
- Üleminek ei tohi tekitada võnkumisi aktiiv- ega reaktiivvõimsuses
- Üleminek peab toimuma tuulepargile etteantud kiirusega

Eestis kontrollrežiimide vaheldumisi ei katsetata.

4.2.8 Aktiivvõimuse piiramine

Antud katse eesmärgiks on ära näidata tuulepargi võimekus piirata oma väljundvõimsust järgmiste nõuete vastavusele [18]:

- Tuulepark peab hoidma aktiivvõimsuse sätteväärtust ületamata 10 minuti keskmist mõõtetulemust
- Sätteväärtuse ja tegeliku võimsuse vahe ei tohi olla suurem kui 1 MW

Katsetus teostatakse järgmiste aktiivvõimsuste juures :

- Minimaalne väljastatav võimsus
- 30% nimiaktiivvõimsusest
- 50% nimiaktiivvõimsusest

Elering AS i katsekavas on antud katse ära kaetud antud töö peatükis 3.3 ja 3.4.

4.2.9 Aktiivvõimsuse muutusekiiruse piirangud

Tuulepargi aktiivvõimsuse muutuse kiiruse katses tuleb näidata vastavus nii üles kui ka alla poole reguleerimisele vähemalt kahe muutuse kiiruse seade juures. Katses tuleb arvestada järgmiste nõuetega [18] :

- Aktiivvõimsuse suurenedes peab olema võimalik piirata võimsuse juurdekasvu kiirust nii sätteväärtuse tõstmisel kui ka võimsuse juurdekasvu kiirust tuule kiiruse suurenedes
- Tuule kiiruse järsul alanemisel nõue ei kohaldu, küll aga sätteväärtuse vähendamisel
- Üles ja alla reguleerimise kiirust peab olema võimalik seadistada eraldi

- Sätteväärtust peab olema võimalik seada vahemikule 10% kuni 100% tuulepargi nimivõimsusest minutis
- Sätteväärtust peab saama määrata vähemalt 1MW/min sammuga

Eleringi katsekavas ei ole aktiivvõimsuse erinevate muutumiskiiruse katset ette nähtud.

4.2.10 Kiirete tuuleolude korral toimimine

Kui ilmastikuolud võimaldavad, siis tuleb näidata tuulepargi kontrollitud seiskumine liiga suurte tuulekiiruste juures. Väljalülitumine peab vastama järgmistele nõuetele [18] :

- Tuulikud ei tohi välja lülituda korraga
- Välja lülitumine peab olema astmeline
- Tuleb ära näidata tuulikute tagasi lülitumine tuuleolude normaliseerumisel

Eestis antud katse nõuet ei ole.

4.2.11 Aktiivvõimsuse kiire vähendamine

Antud katsega tuleb kinnitada tuulepargi võimekus piirata oma väljastatavat võimsust lühikese aja jooksul valides siis selleks meetodid. Aktiivvõimsuse kiire vähendamise nõuded on järgmised [18] :

- Aktiivvõimsust peab olema võimalik piirata 100% väljundvõimsuselt 20%-ni 5 sekundi jooksul
- Aktiivvõimsuse tagastumine peab toimuma lühikese aja jooksul (aega ei ole täpsustatud)

Eleringi katsekavas on ka vastav nõue, mida on kirjeldatud peatükis 3.3. Erinevus on alla reguleerimise ajas, mis Eesti Võrgueeskirja nõuetel on 2 sekundit.

4.2.12 Sageduse reguleerimine

Antud katse kordab peatükkides 4.1.8 ja 4.1.9 toodud nõudeid.

4.2.13 Kontrollrežiimide vaheldumine

Katsega tuleb ära näidata aktiivvõimsuse reguleerimise režiimi ning sageduse reguleerimise funktsiooni korral ühest teise minek. Kinnitust vajavad nõuded [18] :

- Võimalik peab olema muuta, ennetada ja lubada aktiivvõimsuse kontrolli ja sageduse reguleerimise funktsioone

- Üleminek ühest režiimist teise ei tohi tekitada suuri muutusi aktiivvõimsuses ega reaktiivvõimsuses.

Eestis antud nõuded puuduvad.

4.2.14 Elektrikvaliteedi mõõtmised

Elektrikvaliteedi mõõtmised on ette nähtud kinnitamaks tuulepargi vastavust võrguettevõtja poolt esitatud kvaliteedi piirnormidele. Lisaks peab liituja esitama IEC 61400-21 standardi järgsed raportid enne kui tuulikud võrku ühendatakse. [18]

4.2.15 Pingelohu läbimise võime

Katsega tuleb näidata tuulepargi käitumine vastavalt nõuetele hetkelise pingehäire ajal ning pärast häiret. Antud katse asendatakse simuleerimise ning arvutustega. [18]

Klass 2 ja 3 tootmiseseadmed, mis on määratletud eespool peavad talitlema lühise korral järgmiselt :

- Tuulepark peab jääma ühendatuks võrguga pärast lühist joonisel 20 toodud pingelohu korral
- Tuulepark peab saavutama lühisele eelnenud võimsuse 1 sekundi jooksul

Klass 4 tootmiseseadme puhul kohalduvad nõuded :

- Tuulepark peab jääma võrku joonisel toodud pingelohu korral
- Tuulepark peab taastama esialgse võimsuse 1 s jooksul
- Tuulepark ei tohi enne lühist tarbida ega genereerida võrk reaktiivvõimsust

5. Eleringi katsekavade hinnang ning soovitus

Eleringi katsekava täidab ära kõik aspektid, mida ka Fingrid oma nõuetes elektriyaamade ja tuuleparkide katsetustel nõuab (v.a võimsusteguri juhtimine, mida ei nõuta). Eleringi nõuded katsetamistele on paljusid aspekte hõlmav ning katab ära süsteemi stabiilsuse (peatükk 1) tagamiseks vajalikud funktsionaalsuste toimimised.

Fingrid ei anna ette otseselt katseid, mida ja kuidas teostada, kuid Elering annab ette üsna täpsed tingimused, milledele katsed peavad vastama. Sellega kaasnevalt tuleks ette anda ka katse edukuse kriteeriumid (*acceptance criteria*), mida hetkel ei ole kajastatud. Näitena võib välja tuua AEMO (*Australian Energy Market Operator*) katsekava sünkroonjaamadele [19].

Kuna katsetulemused peavad vastama kindlatele normidele ja nõuetele, siis lihtsuse huvides tuleks märkida iga katse juures eraldi, millistele nõuetele katsetulemused peavad vastama. Vastasel korral võidakse esitada tulemusteks väga raskesti kontrollitavad graafikud/joonised, kust ei saa välja lugeda vastavust nõuetele ning selleks, et protsess ei veniks pikale ning katseraporti esitaja ei peaks liigselt parandusi sisse viima. Järgnevalt ongi toodud välja ettepanekud katseedukuse kriteeriumite jaoks.

5.1 Sünkroonjaamade katseedukuse kriteeriumid

- Tühijooksu karakteristik
 - Mõõtetulemused on üles võetud vähemalt 10% sammudena
 - Karakteristik on kujutatud joonisel
- Küllastustegurid
 - Arvutuslikult on leitud küllastustegurid S1.0 ning S1.2
 - Väärtused, mis on arvutuste aluseks, on näidatud joonisel ning tabelkujul
- Takistuste ning ajakonstantide leidmine
 - Kinnitatud ja kokkulepitud meetodil on leitud nõutud takistuste ja ajakonstantide väärtused
- Lühisekarakteristik
 - Lühisekarakteristik on üles võetud kokkulepitud meetodil
 - Lühis- ja tühijooksukarakteristiku alusel on arvutatud pikiteljelised takistused
- Elektrikvaliteedi mõõtmised

- Nädala mõõtetulemused on üles võetud normaalrežiimil ning tulemused on vastavuses etteantud piirnormidega
- Inertsikonstandi määramine
 - Inertsikonstant on katseliselt ning arvutuslikult teostatud ning tulemused on esitatud graafiliselt ning valemis on kasutatud õigeid andmeid
 - Graafikult peab olema võimalik välja lugeda arvutustes kasutatud andmeid
- Generaatori automaatse pingeregulaatori sätete muutmine astmeliste sammudena tühijooksul
 - pinge saavutab stabiilse olukorra pärast sätteväärtusele jõudmist ning väljundpinge ei tohi olla võnkuv
 - ülevõnke suurus tuleb ära näidata graafiliselt
 - pinge ülevõnge ei tohi olla suurem kui 15% kogu muutumisulatuses
- Tühijooksupinge manuaalne muutmine
 - Pinge saavutab sätteväärtused piisava täpsusega ning piisava ajaga
- Üleergutuspiiraja funktsionaalsuse katsetamine
 - Üleergutuspiiraja rakendub töösse ettenähtud ergutustaseme juures iga tööpunkti juures ning ei lase ergutusel edasi kasvada
- Alaergutuspiiraja funktsionaalsuse kasvatamine
 - Alaergutuspiiraja rakendub töösse ettenähtud ergutustaseme juures iga tööpunkti juures ning ei lase ergutusel edasi kahaneda
- Generaatori automaatse pingeregulaatori sätete muutmine astmeliste sammudena võrguga ühendatult ilma elektrisüsteemi stabilisaatorita
 - Väljundpinge saavutav stabiilse oleku sätteväärtusele jõudes
 - Väljundpinge ei ole võnkuv
 - Väljundvõimsus stabiliseerub lühikese aja jooksul
- Generaatori automaatse pingeregulaatori sätete muutmine astmeliste sammudena võrguga ühendatult ilma elektrisüsteemi stabilisaatoriga
 - Väljundpinge saavutav stabiilse oleku sätteväärtusele jõudes
 - Elektrisüsteemi stabilisaator vähendab võnkumisi
 - Väljundvõimsus stabiliseerub lühikese aja jooksul
- PQ karakteristiku mõõtmine
 - Igat sätteväärtust on hoitud 10 minutit
 - Sätteväärtuste hoidmise täpsus vastab nõuetele

- Aktiiv- ja reaktiivvõimsused on esitatud graafiliselt ning ära on näidatud ka lubatud eksimisvahemik sätteväärtusest
- Esitatud on PQ karakteristik vastavalt mõõtetulemustele
- Q=konstant funktsionaalsus
 - Igat sätteväärtust on hoitud 10 minutit
 - Graafikul on ära toodud lisaks reaktiivvõimsusele sätteväärtused, lubatud eksimisvahemik ning aktiivvõimsuse väärtus katse ajal
- Maksimaalse aktiivvõimsuse juures maksimaalsete reaktiivvõimsuste juures töötamine
 - Tootmiseseadme sätteväärtusi on hoitud stabiilselt töös ühe tunni jooksul
- Omatarbele üleminek
 - Võimsuslülitil väljalülitumisel tootmiseseade ei lülitu välja ning saavutab stabiilse töö omatarbel või saartalitluses
 - Omatarbel või saartalitluses on töötatud üks tund
 - Ühe tunni möödudes on edukalt elektrivõrguga sünkroniseeritult toimunud tootmiseseadme võrku lülitumine
- Üle- ja alasageduse võimekus
 - Tootmiseseade talitleb sagedusega 52,5 Hz tühijooksul ilma väljalülitumata 3 minutit
 - Tootmiseseade talitleb vahemikus 48-47,5 Hz tühijooksul ilma väljalülitumata pool tundi
- U=konstant funktsionaalsus
 - Igat pingestme sätteväärtust on hoitud tund aega
 - Tootmiseseade on pinge sätteväärtust üritanud saavutada kogu oma reaktiivvõimsuse võimekuse piires
- Muutuva sageduse sisend
 - Sisendisse on antud erinevad madalsageduslikud võnkumiste signaalid kokkulepitud sagedusvahemikes
 - On esitatud ergutusvoolu ja –pinge graafikud erinevate sageduste korral
- Aktiivkoormuse hetkeline kaotamine
 - Tootmiseseade jääb töösse iga võimsuse sättekombinatsiooni juures
 - Tootmiseseade sünkroniseerib edukalt elektrivõrguga
- Sekundaarreguleerimine
 - Näidatud on aktiiv- ja reaktiivvõimsus katse ajal ning sätteväärtused

- Igat tööpunkti on hoitud 10 minutit
- Välja on toodud aktiivvõimsuse muutumise kiirus graafiliselt nii, et saab välja lugeda vastavuse Võrgueeskirjale
 - Vedelkütuse- ja gaaskütusejaamade puhul vähemalt 8% nimivõimsusest minutis 30% ulatuses, vahemikus 40 – 90% nimivõimsusest
 - Tahkekütusejaamade puhul vähemalt 4% nimivõimsusest minutis 30% ulatuses, vahemikus 60 – 90% nimivõimsusest
- Mõõdetud võimsused on lubatud hälbega sätteväärtusest
- Primaarreguleerimine
 - Tootmiseseade tekitab aktiivvõimsuse reservi +/-5% 30 sekundi jooksul, millest 50% 10 sekundi jooksul
 - Aktiivvõimsuse reservi on hoitud 15 minutit
 - Kui võrgu sagedus erineb ettenähtust +/-5% või sageduse muutumise kiirus on suurem kui 0,5 Hz/s siis tootmiseseade saavutab avariireservi 12,5% nimivõimsusest
 - Tundetustsooni piires sageduse muutusel tootmiseseade ei reageeri
 - Tundetustsooni ületades reageerib tootmiseseade vastavalt hetkel seadistatud statistilisele protsendile vastavalt
 - Katse igat astet on hoitud ettenähtud aja jooksul
- Külmkäivitus
 - Tootmiseseade peab olema enne sisendsignaali vähemalt 24h olnud väljalülitatud
 - Alates signaali saamisest käivitub tootmiseseade ettenähtud aja jooksul ning saavutab täisvõimsuse
 - Soojuselektrijaam 12 tunniga
 - Gaasiturbiinseade 10 minutiga
- Lühiskatse
 - Pärast nõuetekohast lühist saavutab tootmiseseade stabiilse väljundvõimsuse
 - Väljundvõimsus ei vähene üle 10% tootmiseseadme nimiaktiivvõimsusest

5.2 Läbi jõuseadmete ühendatud tootmiseadmete katseedukuse kriteeriumid

- Elektrikvaliteedi mõõtmine
 - Esitatud on kvaliteedi mõõtetulemuste raport ning tootmiseseade mahub etteantud elektrikvaliteedi normidesse
 - Katsetuste ajal on ära näidatud aktiiv- ja reaktiivvõimsuse väärtused
 - Katsetuste ajal on ära näidatud tootmisüksuste sisse- ja väljalülitumised
- Tootmiseseadme töö keelatud/lubatud
 - Väljundvõimsus on olnud vähemalt 50% nimivõimsusest ning kõik tootmisüksused on töös
 - Väljundvõimsuse alandamine ning suurendamine on toimunud sujuva reguleerimisega
 - Tootmiseseade on saavutanud ilmastikuoludele võimaliku maksimaalse väljundvõimsuse
- Väljundvõimsuse avariiline vähendamine
 - Väljundvõimsus on katse ajal vähemalt 80% nimivõimsusest ning kõik tootmisüksused on töös
 - Tootmiseseade saavutab avariilise piirangu sätte 2 sekundi jooksul
 - Piirangu jooksul ei ületa tootmiseseadme väljastatav võimsus piirangu sätet
- Aktiivvõimsuse sujuv reguleerimine
 - Väljundvõimsus on katse ajal vähemalt 80% nimivõimsusest ning kõik tootmisüksused on töös
 - Liitumispunkti ja sätteväärtuse vaheline vahe ei ole suurem kui +/-5% nimivõimsusest
 - Aktiivvõimsuse reguleerimise kiirus on vähemalt 8% nimivõimsusest minutis 30% ulatuses vahemikus 20-100% nimivõimsusest
 - Välja on toodud lisaks aktiivvõimsusele ka reaktiivvõimsuse väärtused
- Reaktiivvõimsuse reguleerimine $U = \text{konst}$
 - Väljundvõimsus on katse ajal vähemalt 50% nimivõimsusest iga astme juures vähemalt poolel ajast ning kõik tootmisüksused on töös
 - Tootmiseseade reageerib pingele sättele kogu oma tehniliselt võimaliku reaktiivvõimsuse ulatuses

- PQ karakteristiku mõõtmine
 - Väljundvõimsus on katse ajal vähemalt 80% nimivõimsusest ning kõik tootmisüksused on töös
 - Katse jooksul ei ole ühtegi tootmisüksust välja lülitunud
 - Esitatud on PQ karakteristik vastavalt mõõtetulemustele
 - PQ karakteristik on sarnane arvutuslikule karakteristikule
- Reaktiivvõimsuse reguleerimine $Q=konst$
 - Väljundvõimsus on katse ajal vähemalt 20% nimivõimsusest ning kõik tootmisüksused on töös
 - Tootmiseade hoiab sätteväärtust stabiilsena 1 tunni jooksul
 - Reaktiivvõimsuse hälve sätteväärtusest ei tohi olla suurem kui +/- 10 % nimivõimsusest
- Lühiajaline võrguühenduse katkemine
 - Väljundvõimsus on katse ajal vähemalt 50% nimivõimsusest ning kõik tootmisüksused on töös
 - Pärast 10 sekundilist katkestust lülituvad võiks tootmisüksused uuesti võrku tagasi ning toodavad ilmastikuoludele vastava maksimaalse väljundvõimsusega
- Lühiajaline võrguühenduse katkemine ilma keskse juhtimissüsteemita
 - Väljundvõimsus on katse ajal vähemalt 50% nimivõimsusest ning kõik tootmisüksused on töös
 - Ära on näidatud juhtimisarvuti tööst välja viimise signaal
 - Pärast 10 sekundilist võrguühenduse katkestust lülituvad võiks tootmisüksused uuesti võrku tagasi ning toodavad ilmastikuoludele vastava maksimaalse väljundvõimsusega
- Talitus ilma keskse juhtimissüsteemita
 - Tuleb ära fikseerida juhtimisarvuti tööst välja viimine
 - Tootmiseade on talitlenud 24h ilma reaktiivvõimsuse piire rikkumata
 - **Antud juhul tuleks sisse viia nõue aktiivvõimsuse piirile, mida tootmiseade peab katse ajal vähemalt mingil ajaperioodil väljastama**
- Primaarreguleerimine
 - Tootmiseade tekitab aktiivvõimsuse reservi +/-5% 30 sekundi jooksul, millest 50% 10 sekundi jooksul

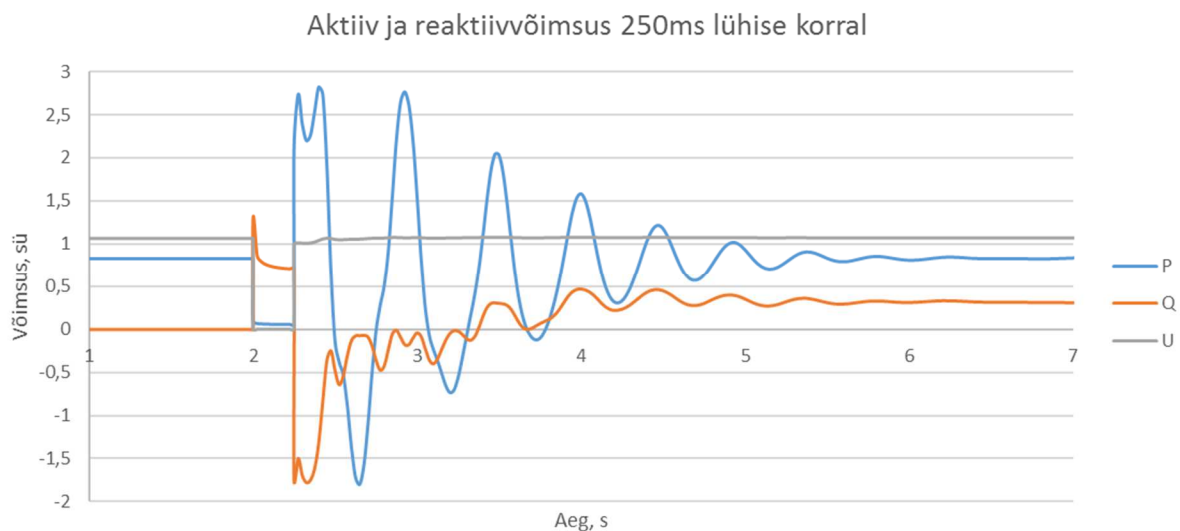
- Aktiivvõimsuse reservi on hoitud 15 minutit
- Kui võrgu sagedus erineb ettenähtust +/-5% või sageduse muutumise kiirus on suurem kui 0,5 Hz/s siis tootmiseseade saavutab avariireservi -12,5% nimivõimsusest
- Tundetustsooni piires sageduse muutusel tootmiseseade ei reageeri
- Tundetustsooni ületades reageerib tootmiseseade vastavalt hetkel seadistatud statisti protsendile vastavalt
- Katse igat astet on hoitud ettenähtud aja jooksul
- Pingelohu läbimine
 - Pärast nõuetekohast lühist saavutab tootmiseseade stabiilse väljundvõimsuse võimalikult väikese aja jooksul
 - Väljundvõimsus ei vähene üle 10% tootmiseseadme nimiaktiivvõimsusest

6. Lühiskatse analüüs

Antud peatükk uurib peatükis 2.12 toodud sünkroongeneraatori lühiseläbimise võimet mõjutavaid tegureid. Vaatluse alla tulevad reaktiivvõimsuse, aktiivvõimsuse ning lühise pikkuse mõju sünkroongeneraatori lühise läbimise võimekusele.

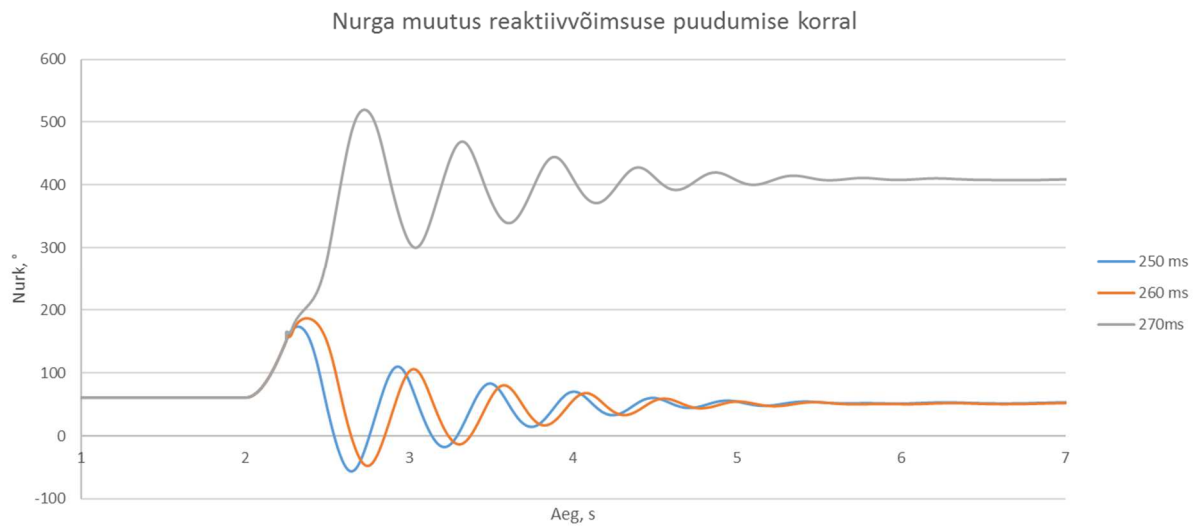
Analüüsiks on kasutatud Elering AS-i mudelarvutustarkvaras PSSE (eng *Power System Simulator Electrical*) koostatud dünaamika mudelit, kus on modelleeritud Eesti ülekandevõrk koos kõigi ühendatud elektrijaamadega. Tarbimisprofiilis on kasutatud sügisest suurt tarbimist, mis on ligikaudu 1366 MW. Simulatsioonide tegemisel on Eesti võrgus tootmist ligikaudu 1800 MW. Kuna antud tarkvara võimaldab tekitada võrgus kolmefaasilisi sümmeetrilisi lühiseid, siis on ka antud töös neid simuleeritud. Simulatsioonides on tekitatud kolmefaasiline lühis alajaama lattidel, kuhu analüüsitava sünkroongeneraator ühendatud on.

Esiteks on simuleeritud lühist generaatori 0,85 sü nimiaktiivvõimsuse juures ning reaktiivvõimsust generaator ei tooda ega tarbi. Simulatsiooni teisel sekundil on tekitatud on 250 ms pikkune lühis, mida on kirjeldatud joonisel 2.10, ehk lühis, mille korral tootmiseadmed peavad jääma võrguga ühendatuks. Jooniselt 6.1 on näha, et antud generaator on jäänud võrguga ühendatuks ka pärast Võrgueeskirja kohast pingelangu ning saavutanud stabiilse tööpunkti umbes 6 sekundiga.



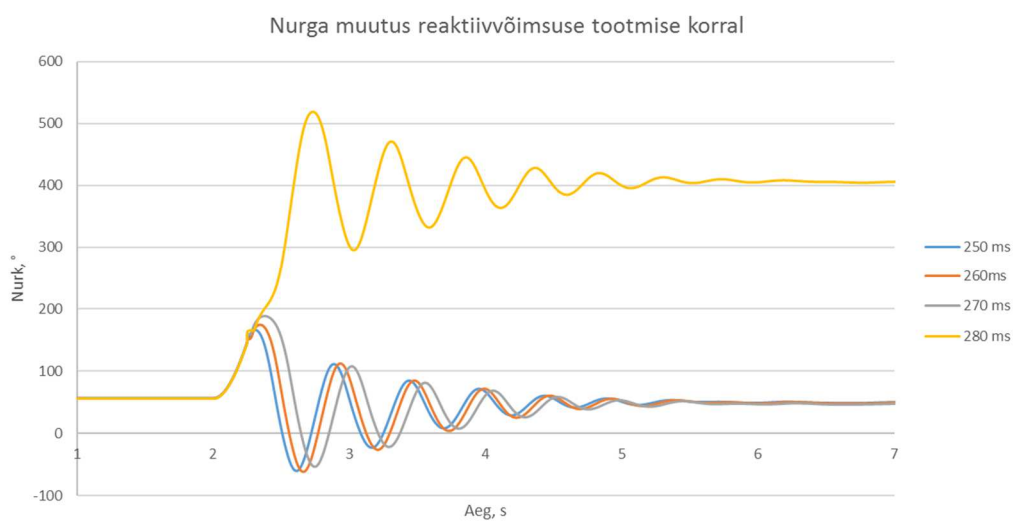
Joonis 6.1. 250 ms pikkuse lühise korral aktiiv-ja reaktiivvõimsuse käitumine ning tekitatud pingelohk

Järgmisena on samadel tingimustel leitud generaatori kriitilist lühiseläbimise aega, ehk piirjuhtumit, kus joonisel 2.12 generaator läheb sünkronismist välja. Selleks on simuleeritud alajaama lattidel alates 250 ms lühiseid 10ms pikkuste sammudega, kuni generaator väljub nurgastabiilsusest. Jooniselt 6.2 on näha, et 0,85 sü aktiivvõimsuse ja null reaktiivvõimsuse juures on kriitiliseks lühiseajaks 260 ms.



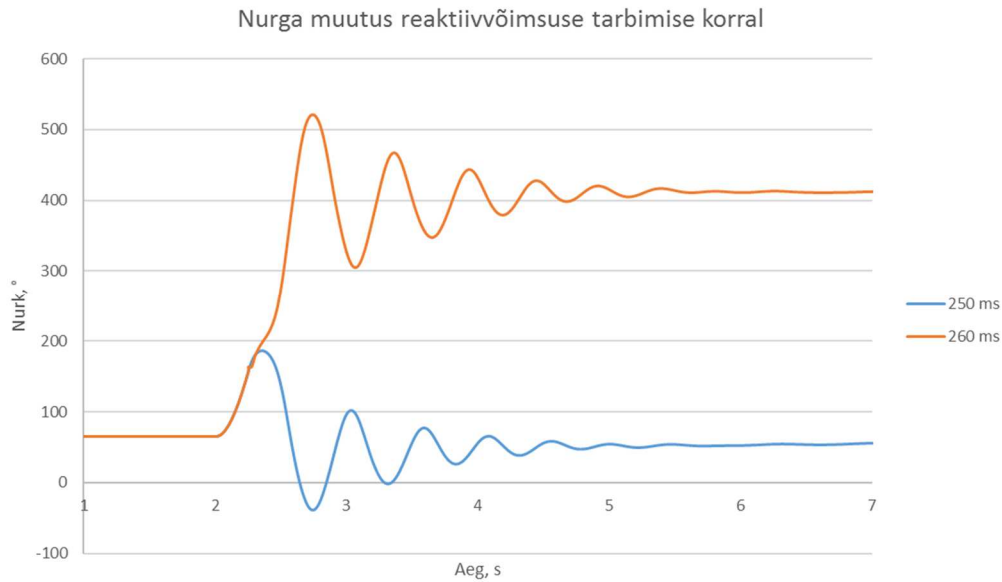
Joonis 6.2. Nurgastabiilsus erinevate lühise pikkuste korral

Kuna peatükis 2.12 on toodud, et sünkroongeneraatori lühise läbimise edukust mõjutab reaktiivvõimsuse genereerimine või tarbimine, siis on tehtud sama aktiivvõimsustaseme juures lühise simulatsioonid nii reaktiivvõimsuse tootmise juhtumil kui ka tarbimise korral.



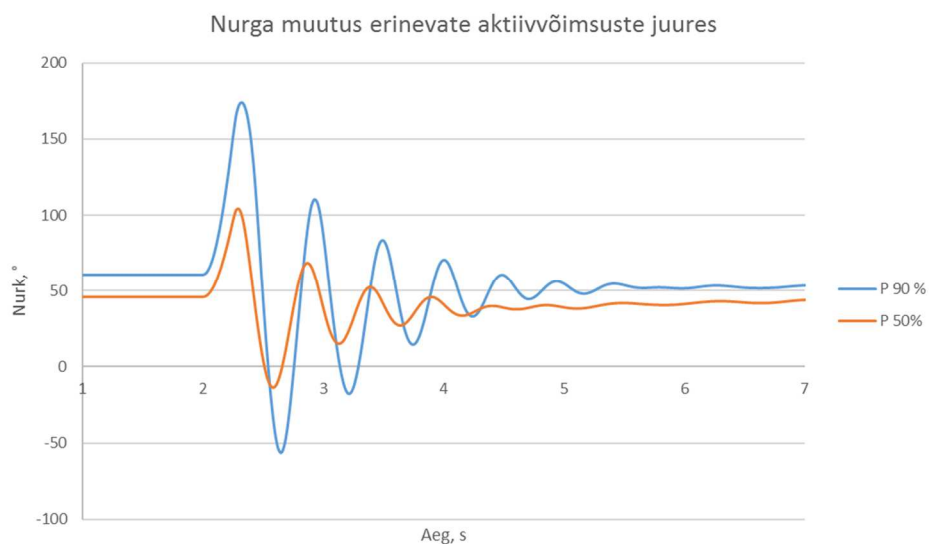
Joonis 6.3. Nurgastabiilsus eri pikkuseliste lühiste juures reaktiivvõimsuse tootmise korral

Jooniselt 6.3 on näha, et kriitiline lühiseag pikeneb 10 ms võrra, kui generaator toodab võrku 0,3 sü reaktiivvõimsust. Jooniselt 6.4, kus generaator tarbib 0,3 sü reaktiivvõimsust, väheneb kriitiline lühiseag 10 ms võrra, ehk antud olukord on generaatorile raskem.



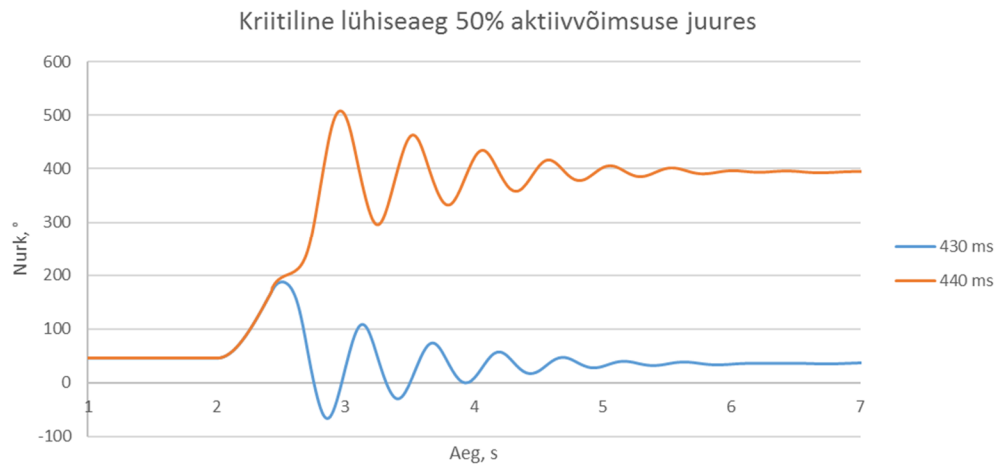
Joonis 6.4. Nurgastabiilsus eri pikkuseliste lühiste korral reaktiivvõimsuse tarbimisel

Sünkroongeneraatori üheks lühiseläbimisevõime mõjuteguriks on väljastatava aktiivvõimsuse tase. Joonis 6.5 kajastab null reaktiivvõimsusega erinevate aktiivvõimsustasemete juures nurgastabiilsust.



Joonis 6.5 Nurgastabiilsus erinevate aktiivvõimsustasemete juures 250 ms lühise korral

Kuna joonisel 6.5 toodud võnkumise vahe on märkimisväärselt suur, siis on tehtud ka simulatsioonid eri pikkusega lühiste korral 50% aktiivvõimsuse taseme juures, et näha, kui palju kriitiline lühiseaeg pikeneb sellega.



Joonis 6.6. Nurgastabiilsus 50% aktiivvõimsustaseme korral

Jooniste 6.2 ja 6.6 võrdluse tulemusel on näha, et kriitiline lühiseaeg pikeneb 170 ms võrra, mis on lühiste korral väga pikk aeg.

Eespool toodud tulemustele tuginedes tuleks pingelohu läbimise katset teostada vähemalt generaatori 90% aktiivvõimsuse juures. Lisaks, et saavutada kindlust generaatori võimekusest, tuleks sätteväärtusena seada mõningane reaktiivvõimsuse tarbimine. Antud sätteid tuleks kasutada, sest sellega saab veenduda generaatori võimes lühist läbida ka teiste tööpunktide korral.

Lõputöö kokkuvõte

Antud lõputöö ülesandeks oli uurida ja analüüsida Eesti ülekandevõrguga liituvate tootmiseadmete katsetamiste põhimõtteid. Lisaks tuli välja tuua mõne muu riigi katsetamiste nõuded ning lõpuks anda hinnang ning soovitused töö tulemustest lähtuvalt hetkel kehtivatele nõuetele.

Lõputöö alguses toodi välja erinevad elektrisüsteemi stabiilsust mõjutavad nähtused ning elektrisüsteemi talitluste erinevad võimalikud režiimid. Lisaks selgitati, mille alusel nõutakse tootmiseadmete katsetamist ning nõuetekohaseks tunnistamist. Välja toodi ka erinevate sünkroongeneraatori tüüpide teoreetilisi aluseid.

Lõputöö põhirõhk oli Eesti süsteemihalduri Elering AS katsetuste põhimõtete selgitamisel ning kõigi katsete korral Võrgueeskirja ning võrguettevõtja nõudeid. Töös analüüsiti näidiskatsekava alusel erinevaid katsetusi sünkroongeneraatoreid omavate soojuselektrijaamade puhul ning kirjeldati vajadust antud katsete teostamiseks. Töö käigus toodi välja meetodeid sünkroongeneraatori parameetrite määramiseks ning antud parameetrite täpsuse vajadustest. Lisaks analüüsiti pindalade reeglit sünkroongeneraatori lühiseläbimise võime selgitamiseks.

Järgmisena toodi välja tuule-ja päikeseelektrijaamade põhimõtteid ning analüüsiti nende vastavuskatsetuste protseduure. Selgitati ka erisusi sünkroongeneraatorite ning läbi jõuseadmete ühendatavate tootmiseadmete katsetamiste ning Võrgueeskirja nõuete erinevusi ning kuidas need kajastuvad näidiskatsekavades.

Ühe osana näidati Soome põhivõrguettevõtte Fingrid nõudeid erinevatele tootmiseadmetele ning katsetustele. Samas ka võrreldi neid Eestis kehtivate protseduuride ja nõuetega.

Järgmise osana anti hinnang Eleringi näidiskatsekavade mahule ja protseduuridele. Töö käigus võis jõuda järeldusele, et hetkel liitumistingimustega kajastatud katsed on ajakohased ning hõlmavad kõiki Võrgueeskirja nõudeid nii sünkroongeneraatorite korral kui ka tuule-ja päikesejaamade puhul. Lõputöös toodi välja katsetele katse edukuse kriteeriumid iga katse kohta ning soovitused katseraportite esitajatele, milliseid tulemusi peaks kajastama aruandes lähemalt. Lisaks soovitati sisse viia nõue tuule-ja päikeseпаркide ilma keskkontrollerita töötamisel minimaalselt väljastatavaks võimsuseks, et näha tegelikku tootmiseadme talitlemist.

Viimases peatükis analüüsiti sünkroongeneraatori lühiseläbimisevõimet erinevates generaatori tööpunktides tekitades tootmisseadet ja elektrivõrku ühendava alajaama lattidel kolmefaasilisi lühiseid. Uuriti erineva pikkusega lühiste mõju sünkroongeneraatorile ning võrreldi sama aktiivvõimsuse väljundi juures olukordi, kus ühel juhtumil generaator tootis reaktiivvõimsust ning teisel tarbis. Lisaks võrreldi generaatori erinevate aktiivvõimsuste väljundi juures kriitilisi lühiseaegu. Tõestust leidis, et sünkroongeneraator läbib lühist reaktiivvõimsust tootes edukamalt kui tarbides. Lisaks on sünkroongeneraatoril oluliselt lihtsam lühist läbida väiksema aktiivvõimsuse väljundi juures.

Kirjandus

- [1] Riigikogu, „Elektrituruseadus,“ 11 02 2003. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/125012017002>.
- [2] Vabariigi Valitsus, „Võrgueeskiri,“ 19 2 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/116022016014>.
- [3] M. Meldorf ja J. Kilter, Elektrisüsteemi stabiilsus, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2011.
- [4] P. Kundur, Power System Stability and Control, 1993.
- [5] H. Jänes, P. Kaasik, E. Pusepp ja A. Voldek, Elektrimasinad, Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus, 1961.
- [6] Elering AS, Elering AS liitumise tingimused, Tallinn: Elering AS, 2016.
- [7] IEEE Power & Energy Society, IEEE Guide for Test Procedures for Synchronous Machines, New York, 2009.
- [8] Siemens PTI, „Program Application Guide Volume 2,“ Siemens PTI, New York, 2016.
- [9] V. A. A. J. M. Ažubalis, „Practical Assessment of Synchronous Generator Dynamic Model Parameters,“ *Electronics and Electrical Engineering*, kd. 10, nr 106, p. 36, 2010.
- [10] „EVS-EN 50160,“ 2010.
- [11] „Rotating electrical machines--Part 4 : Methods for determining synchronous machine quantities from tests,“ %1 *EVS-EN 60034-4:2008*.
- [12] W. Gu, „Commissioning Generator AVR, PSS and Model Validation,“ %1 *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Halifax, 2015.
- [13] British Electricity International, Modern Power Station Practice, London, 1991.
- [14] R. H. Hilley, „Load Rejection Testing of Large Thermal-Electric Generating Units,“ *IEEE TRANSACTIONS ON POWER APARATUS AND SYSTEMS*, kd. 87, nr 6, p. 14, 1968.

- [15] M. Meldorf, H. Tammoja ja J. Kilter, Jaotusvõrgud, Tallinn: TTÜ KIRJASTUS, 2007.
- [16] G. O. S. H. C. Z. & G. R. Andrés Arturo Romero-Quete, „Time-varying harmonic analysis of electric power systems with wind farms, by employing the possibility theory,“ Medellin, 2015.
- [17] M. M. E. M. V. G. V. Preciado, „Harmonics in a Wind Power Park,“ %1 *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, Denver, 2015.
- [18] Fingrid, „Specifications for the Operational Performance of Power Generating Facilities VJV2013,“ Fingrid, 2013.
- [19] AEMO, „GPS Compliance Assessment and R2 Model Validation Test Plan Template,“ 2016.

Lisad

Lisa 1. Eleringi katsekava sünkroonjaamadele [6]

Test 1. Measurements for determination generator parameters (can be replaced with factory acceptant tests)

part no.	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS
1	Open Circuit Saturation	Measurement of the steady state variation of generator field current versus generator stator voltage from the minimum achievable generator stator voltage to at least 1.05 p.u. of the rated stator voltage with the generator circuit breaker open.	For machines with brushless exciters the field current measurement shall be the field current of the exciter
2	Saturation factors. This test is to determine the generator saturation factors S1.0 and S1.2	The unit will be brought to synchronous speed and disconnected from the power grid with no field current. The field current will then be increased in steps of 10% until the generator armature voltage reaches 1.2 p.u. of the rated value. The generator armature voltage (V_t), field voltage (V_f) and field current (I_f) will be recorded, in tabular form, at each step.	
3	Synchronous Machine Impedances and Time Constants Tests that reasonably confirm the d-axis reactances (X_d , X'_d , X''_d) and time constants (T'_{do} and T''_{do}) of the synchronous generator	For example, recording of terminal voltage and field current following opening of the generator circuit breaker with the generator running at near-zero real power and under-excited so as to absorb substantial reactive power with the excitation system in manual field voltage control Details to be proposed by the manufacturer	
4	Short circuit load test	Details to be proposed by the manufacturer	

Test 2. Power quality measurements

part no.	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS
1	Power quality measurements	Normal operation of power plant	Measurement period is 7 days. initial conditions determined by Elering

Test 3. Inertia.

Part No	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS
1	Inertia. A test that reasonably confirms the inertia constant of the turbine-generator, governor droop and other model parameters	The unit circuit breaker shall be opened to disconnect the unit from grid Details to be proposed by the manufacturer	<ul style="list-style-type: none"> • The machine is loaded to a small amount of MW (around 10 - 20% to prevent the interference from protection relay operation) and Mvar value (under-excited condition preferred). • The AVR is set in auto control mode and the governor in speed droop control mode. • The unit circuit breaker input signal to the turbine controller is blocked to defeat the machine speed preset.

Test 4. Generator AVR testing.

part no.	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS
1	Step change to AVR voltage reference with the generating unit on open circuit	(a) +2.5 % (b) -2.5 % (c) +5.0 % (d) -5.0 % (e) +10.0 % (0,95pu to 1,05 pu) (f) -10.0 % (1,05pu to 0,95 pu)	nominal stator terminal voltage
2	Manual variation of generating unit open circuit voltage	Stator terminal voltage (Ut) (a) increase from 0.5 pu to 1.1 pu (b) decrease from 1.1 pu to 0.5 pu see notes below	<ul style="list-style-type: none"> in 0.1 pu step for Ut between 0.5-0.9 pu in 0.05 pu step for Ut between 0.9-1.1 pu
3	steady state over-excitation limiter (OEL) operation	Mvar outputs at OEL setting slow raising of excitation to just bring OEL into operation. See notes below	<ul style="list-style-type: none"> 100% MW output 75% MW output 50% MW output 25% MW output min. MW output
4	steady state under-excitation limiter (UEL) operation	Mvar outputs at UEL setting slow lowering of excitation to just bring UEL into operation. See notes below	<ul style="list-style-type: none"> 100% MW output 75% MW output 50% MW output 25% MW output min. MW output
5	Step change of Mvar on the transmission system Test conducted by Elering	Switching in and out of: (a) a transformer (b) a reactor (c) a capacitor	<ul style="list-style-type: none"> parallel transformers on staggered taps others as determined by Elering test with and without PSS

6	<p>Step change to AVR voltage reference with the generating unit connected to the system. (PSS out of service)</p> <p>Generating unit output levels: (i)50% rated MW, and (ii)100% rated MW</p>	<p>(a) +1.0 % (b) -1.0 % (c) +2.5 % (d) -2.5 % (e) +5.0 % (f) -5.0 % repeat (e) & (f) twice</p> <p>see notes below</p>	<ul style="list-style-type: none"> nominal stator terminal voltage unity power factor or underexcited operation system base load OR typical conditions at the local equipment and typical electrical connection to the transmission or distribution system tests for (i) must precede tests for (ii) smaller step changes must precede larger step changes
7	As for 6 but with the PSS in service	Same as in part 6	Same as in part 6
8	<p>Step change to AVR voltage reference with the generating unit connected to the system. (PSS out of service)</p> <p>System Conditions :</p> <p>(i) system minimum load with no other generation on the same bus OR relatively weak connection to the transmission or distribution system, and (ii) system maximum load and maximum generation on same bus OR relatively strong connection to the transmission or distribution system</p>	<p>(a) +5 % (b) -5 % repeat (a) & (b) twice; see note below</p>	<ul style="list-style-type: none"> nominal stator terminal voltage unity power factor or underexcited operation Generating unit output at 100% rated MW
9	As for 8 but with the PSS in service	Same as in part 8	Same as in part 8

- Tests 1,3 and 4 need not be witnessed by the TSO
- For test 3 a positive step is applied of X% from the sub-OEL value. But for test 4 a -Y% step from the sub-UEL value as shown in Figure 3.1 is required.

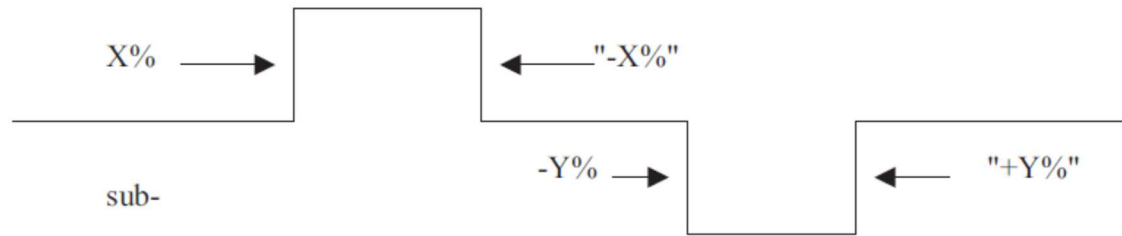


Figure H.3.1 - Application of Step Signal

- For tests 6 and 7 care must be taken not to excite large or prolonged oscillations in MW etc. Therefore, smaller step changes must always precede larger step changes to avoid such oscillations.
- The Figure 3.2 below shows the step changes referred to in the schedule of tests given above. An example is given of a +5% step to the summing junction and then a -5% step. Removal of the +5% ("-5%") step is deemed to be a -5% step. Unless specified otherwise the "-5%" step method shown in Figure 3.2 is used.



Figure 3.2 Application of test signal

Test 5 Active and reactive power tests (PQ curve and Q = const)

part no.	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS
1	PQ curve measurements	(a) minimum % rated MW a. Q max setpoint b. Q min setpoint (b) 25 % rated MW a. Q max setpoint b. Q min setpoint (c) 50 % rated MW a. Q max setpoint b. Q min setpoint (d) 75% rated MW a. Q max setpoint b. Q min setpoint (e) 100 % rated MW a. Q max setpoint b. Q min setpoint	The min and max Q will be held for 10 minute in each step. Signal from Elering control centre (SCADA if applicable)
2	Q constant	(a) 0 Mvar (b) -1/2Q _{max} rated Mvar (c) +1/2Q _{max} rated Mvar	Q will be held for 10 minute in each step. Signal from Elering control centre (SCADA if applicable)
3	Leading and lagging MVar capability at full MW output. System maximum load and maximum generation. Test conducted with as high an ambient temperature as possible.	Generating unit MW and MVar output levels set to 100% of rated values and maintained for one hour both for leading and lagging.	System maximum load and generation Signal from Elering control centre (SCADA if applicable)

Test 6 house load test

part no.	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS
1	<p>House load test</p> <p>Remaining load – houseload + load connected directly to power plant</p> <p>Test conducted by Elering</p>	opening of the link to transmission system	<ul style="list-style-type: none"> • 70-90% of nominal active power MW exported by means of the link (PCC) • Test duration 1 hour • Resynchronization
2	<p>Islanding of a subsystem consisting of User's generating units plus load with export of power by means of a link to the transmission system.</p> <p>Test conducted by Elering</p>	opening of the link	<ul style="list-style-type: none"> • 5-10% of generated MW exported by means of the link • 90-95% of generated MW used by the subsystem's load • Each test during 1 hour • Resynchronization

Test 7 Over- and underfrequency

part no.	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS
1	Overspeed capability to stay in the range of 51.0 to 53Hz for a minimum of 3 minutes	<p>(a) Digital governor: use software, where practical, to put a step in the speed reference of the turbine governor such that the target speed is 52.5Hz and the overshoot in speed remains above 52,5Hz and in the range 52,5-53Hz for about 3 min</p> <p>(b) Use a manual control to raise speed from 50Hz so as to stay in the 52,5 to 53 Hz range for a minimum of 3 min.</p> <p>(c) Where it is practical, use a function generating unit to inject an analogue signal in the appropriate summing junction, so that the turbine stays in the 52,5-53 Hz range for a minimum of 3 min.</p>	Unsynchronised unit at rated speed and no load

2	Underspeed capability to stay in the range of 48,0 to 47,5Hz for a minimum of 30 minutes	To be proposed by the manufacturer	Unsynchronised unit at rated speed and no load
---	--	------------------------------------	--

Test 8 U = constant test

part no.	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS
1	Testing U constant functionality	(a) XXX kV (b) XXX kV (c) XXX kV Voltage at each step (a)-(c) maintained during 60 minutes	Signal from Elering control centre (SCADA if applicable)

Test 9 Load control (secondary control test)

part no.	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS
1	Variable frequency injection into the AVR summing junction (with PSS out of service)	0.01-100 rad/sec See notes below	<ul style="list-style-type: none"> as determined by Elering
2	Step change to governor/load reference	(a) 2.5 % step increase in MW demand signal (b) 2.5 % decrease in MW demand signal (c) equivalent of 0.05Hz subtracted from the governor speed ref. (d) equivalent of 0.1 Hz added to turbine governor speed reference See notes below	<ul style="list-style-type: none"> equipment output at 50-90% of rated MW others as agreed with Elering

3	<p>load rejection (real power)</p> <p>Generating unit reactive power output levels:</p> <p>(i) maximum leading Mvar</p> <p>(ii) maximum lagging Mvar</p>	<p>(a) 25 % rated MW</p> <p>(b) 50 % rated MW</p> <p>(c) 100 % rated MW</p> <p>See notes below</p>	<ul style="list-style-type: none"> nominal stator terminal voltage smaller amount must precede larger amount of load rejection duration of last step 1 hour Resynchronization
4	<p>Load control (secondary control test)</p> <p>Test conducted by Elering if unit connected under AGC</p>	<p>(a) minimum % rated MW</p> <p>(b) 50 % rated MW</p> <p>(c) 60 % rated</p> <p>(d) 70 % rated MW</p> <p>(e) 100 % rated MW</p> <p>(f) 90 % rated MW</p> <p>(g) 80 % rated MW</p> <p>(h) 0 MW exported to grid MW</p> <p>Power at each step (a)-(h) maintained during 10 minutes</p> <p>Signal from Elering control centre (SCADA if applicable)</p>	<p>Signal from Elering control centre (SCADA if applicable)</p>

- For test 1, care has to be taken not to excite electromechanical resonances (eg poorly damped MW swings) if the machine is on line.
- For the tests 2 equipment characteristics may require the changes be varied from the nominal values given. Larger changes may be considered in order to more accurately determine equipment performance.
- For test 3, the instantaneous overspeed protection must be set at an agreed level depending on unit capability

Test 10 Primary control test

part no.	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS
1	<p>Testing power plant behaviour in case of frequency changes in grid</p>	<p>(a) 40 % rated MW</p> <p>(b) 90 % rated MW</p> <p>Frequency steps, droops and deadbands to be determined by Elering</p>	<p>Generator need to be synchronized with grid</p> <p>Excitation system is in AVR mode and started.</p> <p>PSS is in service.</p> <p>Generator breaker is closed.</p> <p>Signal from Elering control centre (SCADA if applicable)</p>

Example of Primary control test.

Load generator to 40% of rated active power **XX MW**.

Enable frequency control function in the turbine control system

	Frequency control enabled	Drop (%)	Deadband (mHz)	Frequency step (mHz) (all changes from 50 Hz)	Expected P change (MW)	Duration (after stabilized output), min.
1	Yes	8	100	-80		5
2	Yes	8	100	80		5
3	Yes	8	100	-200		5
4	Yes	8	100	200		15
5	Yes	8	0	-80		5
6	Yes	8	0	80		5
7	Yes	2	100	-80		5
8	Yes	2	100	80		5
9	Yes	2	100	-200		15
10	Yes	2	100	200		5
11	Yes	2	0	-80		5
12	Yes	2	0	80		5
13	No	8	0	-450		5
14	No	8	0	450		5
15	No	8	0	-550		15
16	No	8	0	550		5
17	No	8	0	-1000		5
18	No	8	0	1000		15
19	No	2	0	-450		5
20	No	2	0	450		5
21	No	2	0	-550		5
22	No	2	0	550		15

Load generator to 90% of rated active power **XX MW**.

	Frequency control enabled	Droop (%)	Deadband (mHz)	Frequency step (mHz) (all changes from 50 Hz)	Expected P change (MW)	Duration (after stabilized output) min.
1	Yes	8	100	-80		5
2	Yes	8	100	80		5
3	Yes	8	100	-200		5
4	Yes	8	100	200		15
5	Yes	8	0	-80		5
6	Yes	8	0	80		5
7	Yes	2	100	-80		5
8	Yes	2	100	80		5
9	Yes	2	100	-200		15
10	Yes	2	100	200		5
11	Yes	2	0	-80		5
12	Yes	2	0	80		5
13	No	8	0	-450		5
14	No	8	0	450		5
15	No	8	0	-550		15
16	No	8	0	550		5
17	No	8	0	-1000		5
18	No	8	0	1000		15
19	No	2	0	-450		5
20	No	2	0	450		5
21	No	2	0	-550		5
22	No	2	0	550		15

Test 11

Cold start to maximum rated power

part no.	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS
1	<p>Cold start to maximum rated power</p> <p>Test conducted by Elering</p>	<p>Initial start order from Elering control centre (SCADA if applicable)</p> <p>Maximum rated power to be maintained during 1 hour</p> <p>Details to be proposed by the manufacturer</p>	<p>At least 24 h shutdown (all primary systems) required before start of the test</p>

Test 12 Testing of a FACTS/HVDC

part no.	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS
1	<p>Testing of a FACTS device, if any (SVC, TCR, STATCOM, etc.)</p> <p>This test is performed only when requested by Elering</p>	<p>agreed separately with Elering</p>	<ul style="list-style-type: none"> initial conditions determined by Elering

Test 13 Any other test to demonstrate compliance with a declared or registered equipment performance characteristic.

Test No	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS

1	Tripping of an adjacent generating unit Test conducted by Elering This test is performed only when requested by Elering	tripping of generating unit(s)	<ul style="list-style-type: none"> initial generating unit loadings as agreed by Elering
2	Load rejection (reactive power)	(a) -30 % rated Mvar (b) +25 % rated Mvar see notes below	<ul style="list-style-type: none"> nominal stator terminal voltage minimum MW output Excitation on Manual Control
3	Load rejection (reactive power)	(a) -30 % rated MVAR see notes below	<ul style="list-style-type: none"> nominal stator terminal voltage maximum MW output Excitation on Manual Control
4	Any other test to demonstrate compliance with a declared or registered equipment performance characteristic.	To be advised	

- For tests 2(a) and 3 the Var absorption must be limited so that field voltage does not go below 50% of its value at rated voltage and at no load (i.e. rated stator terminal voltage with the generating unit on open circuit).
- For test 2(b) the Var load must not allow stator terminal voltage to exceed 8% overvoltage (i.e.108% of rated value) as a result of the applied change.
- For test 2 and 3, the instantaneous overvoltage protection must be operative and set at an agreed level greater than or equal to 10% overvoltage.
- For test 3, it may be easier to use AVR control first and then change to manual (provided the change is "bumpless") before the unit trips.

Test 14 Fault ride-through (FRT) test

part no.	GENERAL DESCRIPTION	CHANGES APPLIED	TEST CONDITIONS
1	Fault ride-through (FRT) test	To be proposed and conducted by Elering	Up to 250 ms; fault at PCC 2ph-g or 3ph; or 1ph-g

Lisa 2. Läbi inverteri ühendatud tootmiseseadmete katsekava [6]

Jrk. NR	NIMETUS	EELNEV OLUKORD/TINGIMUS	ELEKTRISÜSTEEMIJUHTIMISKESK US TEGEVUS	MÄRKUS	MÄRGE [OK/-]	KUUPÄEV [PP.KK.AA]	KELLAEG [TT.MM]
0.1	Kvaliteedi mõõtmine	Kõik piirangud on väljas, tootmiseseade talitleb normaalrežiimil. TEADE tootmiseseadme poolt kvaliteedi mõõtmiste alustamise kohta, mis kestavad vähemalt 7 päeva järjest.	Teiste katsetuste tegemine tootmiseseadmes ei ole lubatud. Kvaliteedi mõõtmiste alustamise TEATE saamise kohta tehakse kirjalik sissekanne. TESTI ALGUS	Katsetuste ajal ei tohi teha seadistustöid, reguleerimisi, ega tootmiseseadme käsitsi sisse välja lülitamisi. Samuti ei tohi teha muid lülitusi tootmiseseadme elektripaigaldises. Katse alusel tuleb mõõta			
0.2		Peale p. 0.1 vähemalt 7 päeva möödudes antakse tootmiseseadme poolt TEADE kvaliteedimõõtmiste lõpetamise kohta EJK-le.	Kvaliteedimõõtmiste lõpetamise TEATE kättesaamisest tehakse kirjalik sissekanne. TESTI LÕPP	Katse alusel tuleb mõõta reaktiivvõimsuse hoidmise täpsust $Q=0$ Mvar talitlusel vastavalt Võrgueeskirja par. 18 lõige 10 p.1			
<p>Katsekava punktide 1-10 teostamine on lubatud vaid juhul, kui kvaliteedimõõtmised on tehtud, ning tootmiseseadme poolt esitatud kvaliteedimõõtmiste lühiaruanne on põhivõrguettevõtja poolt heaks kiidetud ning selle kohta on esitatud kirjalik teade elektrisüsteemi juhtimiskeskusele ja katsetuste teostajale. Kvaliteedimõõtmiste lühiaruande näidis on toodud käesoleva punktis 1.7. Kvaliteedimõõtmiste täismahus raport lisatakse lõplikku katsetuste aruande koosseisu. Katsete 1-10 algtingimuse juures nõutud aktiivvõimsuse miinimumväärtuse juures arvestatakse väljundvõimsuse 1 minuti keskmise suurusega liitumispunktis.</p>							

1	tootmiseadme töö keelatud / lubatud	Kõik tootmisüksused on töös, normaalolukord, $P \geq 50 \% P_n$	Kõik piirangud on maas / TESTI ALGUS	Väljundvõimsuse vähendamine ja taastamine peab toimuma sujuva reguleerimise abil, maksimaalse võimaliku kiirusega..			
1.1.		tootmiseadme annab vähemalt 5 minuti jooksul toodangut $P \geq 50 \% P_n$	EDASTADA SIGNAAL "tootmiseadme töö KEELATUD"				
1.2.		p.1.1. korraldusest on möödunud 11 min	EDASTADA SIGNAAL "tootmiseadme töö LUBATUD"				
1.3.		Peale korraldust p.1.2. on tootmiseadme saavutanud piiranguteta püsitalitluse ning tuuleoludele vastavat maksimaalset väljundvõimsust on antud 5 minutit.	TESTI LÖPP				
		2-e testi vahe vähemalt 5 minutit					
2	Väljundvõimsuse avariiline vähendamine	Kõik tootmisüksused on töös, normaalolukord, $P \geq 80 \% P_n$	Kõik piirangud on maas / TESTI ALGUS	Võimsuse avariiline vähendamine võib toimuda tootmiseadme võimsuslülitite väljalülitamise teel. Piirangute XX arv ja suurus sõltub tootmiseadme võimsusest ja konfiguratsioonist <i>Kui mahakoormamine toimub</i>			
2.1.		tootmiseadme annab vähemalt 5 minuti jooksul toodangut $P \geq 80 \% P_n$	tootmiseadme P avariiline piirang 0 % -SISSE				
2.2.		p.2.1. korraldusest on möödunud 11 min	TOOTMISSEADME P avariiline piirang 0 % -VÄLJA				

2.x.		Tootmiseseade annab vähemalt 5 minuti jooksul toodangut $P \geq 80\% P_n$	TOOTMISSEADME P avariiline piirang XX % -SISSE	võimsuslülitite lülitamise teel, võib väljundvõimsuse piiri alandada. Kui mahakoormuse kiirus sõltub väljundvõimsusest, tuleb lähtuda 80% nimivõimsusest või vahemikus 80%... 60% nimivõimsusest puhul lisama katsetulemusele imitatsiooni arvutusudelil, mis kinnitaks vastavust võrgueeskirjale.			
2.y.		p.2.x. korraldusest on möödunud 11 min	TOOTMISSEADME P avariiline piirang XX % -VÄLJA				
2.z.		Peale korraldust p.2.y on tootmiseseade saavutanud piiranguteta püsitalitluse ning ilmaoludele vastavat maksimaalset väljundvõimsust on antud 5 minutit.	TESTI LÕPP				
			2-e testi vahe vähemalt 5 minutit				

Jrk. NR	NIMETUS	EELNEV OLUKORD/TINGIMUS	ELEKTRISÜSTEEMIJUHTIMISKESKUS US TEGEVUS	MÄRKUS	MÄRGE [OK/-]	KUUPÄEV [PP.KK.AA]	KELLAEG G [TT.MM]
3	Aktiivvõimsuse sujuv	Kõik tootmisüksused on töös, normaalolukord, $P \geq 80\% P_n$	maksimaalne lubatud $P=100\%$, TESTI ALGUS				

3.1.	reguleerimine, Sekundaar- reguleerimine	Tootmiseade annab vähemalt 5 minuti jooksul toodangut $P \geq 80 \% P_n$	SISESTADA P reguleerimise kiirus [MW/min] SISESTADA maksimaalne lubatud $P = 80 \% P_n$	Väljundvõimsuse vähendamine ja taastamine peab toimuma sujuva reguleerimise abil etteantud kiirusega. Testi jooksul ei tohi tootmiseadet sisse/välja lülituda.			
3.2.		p.3.1. korraldusest on möödunud 11 min	SISESTADA maksimaalne lubatud $P = 60 \% P_n$	Liitumispunktis saavutatakse SCADA kaudu edastatud sätevääruse lähedane väärtus. Lubatud hälve $\pm 5\%$ nimivõimsusest.			
3.3.		p.3.2. korraldusest on möödunud 11 min	SISESTADA maksimaalne lubatud $P = 40 \% P_n$				
3.4.		p.3.3. korraldusest on möödunud 11 min	SISESTADA maksimaalne lubatud $P = \text{MIN} \% P_n$				
3.5.		p.3.4. korraldusest on möödunud 11 min	SISESTADA maksimaalne lubatud $P = 100 \% P_n$				
3.6.		Peale korraldust p.3.5. on tootmiseade saavutanud piiranguteta püsitalitluse ning ilmaoludele vastavat maksimaalset väljundvõimsust on antud 5 minutit.	TESTI LÕPP				
			2-e testi vahe vähemalt 5 minutit				
4	Reaktiivvõimsuse reguleerimine	Kõik tootmisüksused on töös, normaalolukord, $P \geq 50 \% P_n$	Kõik piirangud on maas / TESTI ALGUS	Väljundvõimsust ei tohi piirata. Kõigi tuulikute töösolek peab			

4.1.	režiimil U=const	<p>Tootmiseade annab vähemalt 5 minuti jooksul toodangut $P \geq 50\% P_n$</p>	<p>TOOTMISSEADME juhtimine U=const- SISSE, säte U=XXX kV</p>	<p>olema tagatud vähemalt 50 % ajast igal pinge seadeväärtuse juures $P \geq 50\% P_n$. Pinge seadeväärtused XXX, YYY ja ZZZ määratakse EJK poolt.</p> <p>Reaalne katsekava kohandatakse vastavalt kokkulepitud juhtimissignaalidele.</p> <p>Kõigi kolme astme juures muudetakse EJK poolt võrgu pinget (KP või reaktori lülitamine või trafo astme muutmine). Katsetulemuste aruandes tuleb need muutused ja nende vastav tootmiseadme käitumine ära näidata.</p>			
4.1.		<p>Tootmiseade annab vähemalt 5 minuti jooksul toodangut $P \geq 50\% P_n$</p> <p>Peale 4.1 korraldust on möödunud mitte vähem kui 8 tundi</p>	<p>TOOTMISSEADME juhtimine U=const, säte U=YYY kV</p>				
4.3.		<p>Tootmiseade annab vähemalt 5 minuti jooksul toodangut $P \geq 50\% P_n$</p> <p>Peale 4.2 korraldust on möödunud mitte vähem kui 8 tundi</p>	<p>TOOTMISSEADME juhtimine U=const, säte U=ZZZ kV</p>				

4.4.		Peale 4.3 korraldust on möödunud mitte vähem kui 8 tundi	TOOTMISSEADME juhtimine U=const- VÄLJA				
4.5.		Peale korraldust p.4.4 on tootmiseseade saavutanud normaaltalitluse reaktiivvõimsuse (Q=0 Mvar) ning talitleb 5 minutit..	TESTI LÕPP				
				2-e testi vahe vähemalt 5 minutit			
5	<p>Tootmiseseadme P/Q karakteristiku mõõtmine liitumispunktis</p> <p>Jätkub järgmisel leheküljel ...</p>	Kõik tootmisüksused on töös, normaalolukord , $P \geq 80 \% P_n$	Kõik piirangud on maas / TESTI ALGUS	Väljundvõimsuse vähendamine ja taastamine peab toimuma sujuva reguleerimise abil etteantud kiirusega. Testi jooksul ei tohi tootmiseseade sisse/välja lülitada.			
5.1.		tootmiseseade annab vähemalt 5 minuti jooksul toodangut $P \geq 80 \% P_n$	TOOTMISSEADME juhtimine Q=const - SISSE TOOTMISSEADME seadeväärtus Q SISESTADA + Q _{MAX}				
5.2.		p.5.1. korraldusest on möödunud 11 min	TOOTMISSEADME seadeväärtus Q SISESTADA - Q _{MAX}				

5.3.		p.5.2. korraldusest on möödunud 11 min	SISESTADA maksimaalne lubatud $P = 80 \% P_n$ TOOTMISSEADME seadeväärtus $Q = - Q_{MAX}$				
5.4.		p.5.3. korraldusest on möödunud 11 min	TOOTMISSEADME seadeväärtus Q SISESTADA + Q_{MAX}				
Jrk. NR	NIMETUS	EELNEV OLUKORD/TINGIMUS	ELEKTRISÜSTEEMIJUHTIMISKESKUS S TEGEVUS	MÄRKUS	MÄRGE [OK/-]	KUUPÄEV [PP.KK.AA]	KELLAAEG G [TT.MM]
5.5.	... jätkub Tootmiseseade P/Q	p.5.4. korraldusest on möödunud 11 min	SISESTADA maksimaalne lubatud $P = 70 \% P_n$ TOOTMISSEADME seadeväärtus $Q = +Q_{MAX}$	Väljundvõimsuse vähendamine ja taastamine peab toimuma sujuva reguleerimise abil etteantud kiirusega. Testi jooksul ei tohi tootmiseseade sisse/välja lülituda.			
5.6.	karakteristiku möötmise liitumispunktis	p.5.5. korraldusest on möödunud 11 min	TOOTMISSEADME seadeväärtus Q SISESTADA - Q_{MAX}				
5.7.		p.5.6. korraldusest on möödunud 11 min	SISESTADA maksimaalne lubatud $P = 60 \% P_n$ TOOTMISSEADME seadeväärtus $Q = -Q_{MAX}$				

5.8.		p.5.7. korraldusest on möödunud 11 min	TOOTMISSEADME seadeväärtus Q SISESTADA +Q _{MAX}			
5.9.		p.5.8. korraldusest on möödunud 11 min	SISESTADA maksimaalne lubatud P = 50 % P _n TOOTMISSEADME seadeväärtus Q = +Q _{MAX}			
5.10.		p.5.9. korraldusest on möödunud 11 min	TOOTMISSEADME seadeväärtus Q SISESTADA - Q _{MAX}			
5.11.		p.5.10. korraldusest on möödunud 11 min	SISESTADA maksimaalne lubatud P = 40 % P _n TOOTMISSEADME seadeväärtus Q = -Q _{MAX}			
5.12.		p.5.11. korraldusest on möödunud 11 min	TOOTMISSEADME seadeväärtus Q SISESTADA +Q _{MAX}			
5.13.		p.5.12. korraldusest on möödunud 11 min	SISESTADA maksimaalne lubatud P = 30 % P _n TOOTMISSEADME seadeväärtus Q = +Q _{MAX}			
5.14.		p.5.13. korraldusest on möödunud 11 min	TOOTMISSEADME seadeväärtus Q SISESTADA -Q _{MAX}			

5.15.	p.5.14. korraldusest on möödunud 11 min	SISESTADA maksimaalne lubatud $P = 20 \% P_n$ TOOTMISSEADME seadeväärtus $Q = -Q_{MAX}$				
5.16.	p.5.15. korraldusest on möödunud 11 min	TOOTMISSEADME seadeväärtus Q SISESTADA $+Q_{MAX}$				
5.17.	p.5.16. korraldusest on möödunud 11 min	SISESTADA maksimaalne lubatud $P = 10 \% P_n$ TOOTMISSEADME seadeväärtus $Q = +Q_{MAX}$				
5.18.	p.5.17. korraldusest on möödunud 11 min	TOOTMISSEADME seadeväärtus Q SISESTADA $-Q_{MAX}$				
5.19.	p.5.18. korraldusest on möödunud 11 min	SISESTADA maksimaalne lubatud $P = 100 \% P_n$ (P piirang välja) TOOTMISSEADME juhtimine $Q = \text{const} - \text{VÄLJA}$				
5.20.	Peale korraldust p.4.4 on tootmiseseade saavutanud normaalitalitluse reaktiivvõimsuse ($Q=0$ Mvar) ning talitleb 5 minutit..	TESTI LÕPP				

		2-e testi vahe vähemalt 5 minutit
--	--	-----------------------------------

Jrk. NR	NIMETUS	EELNEV OLUKORD/TINGIMUS	ELEKTRISÜSTEEMIJUHTIMISKESKUS S TEGEVUS	MÄRKUS	MÄRGE [OK/-]	KUUPÄEV [PP.KK.AA]	KELLAAEG [TT.MM]
6	Reaktiivvõimsuse reguleerimine	Kõik tootmisüksused on töös, normaalolukord, $P \geq 20\% P_n$	Kõik piirangud on maas / TESTI ALGUS	Testi jooksul ei tohi tootmiseseade sisse/välja lülituda.			
6.1	Q=const	Tootmiseseade annab vähemalt 5 minuti jooksul toodangut $P \geq 20\% P_n$	TOOTMISSEADME juhtimine Q=const - SISSE TOOTMISSEADME seadeväärtus Q SISESTADA $Q = +\frac{1}{2} Q_{MAX}$	Seadeväärtuse hoidmise täpsus liitumispunktis +/- 10 % P_n -st Reaalne katsekava kohandatakse vastavalt kokkulepitud juhtimissignaalidele. Kõigi kolme astme juures muudetakse EJK poolt võrgus pinget (KP või reaktori lülitamine või trafo astme muutmine). Katsetulemuste aruandes tuleb need muutused ja nendele vastav tootmiseseade käitumine ära näidata.			
6.2		p.6.1. korraldusest on möödunud 60 min	TOOTMISSEADME seadeväärtus Q SISESTADA $Q = -\frac{1}{2} Q_{MAX}$				

6.3		p.6.2. korraldusest on möödunud 60 min	TOOTMISSEADME juhtimine Q=const - VÄLJA			
6.4		Peale korraldust p.6.3. on tootmiseseade saavutanud normaalitalitluse reaktiivvõimsuse (Q=0 Mvar) ning talitleb 5 minutit..	TESTI LÕPP			
			2-e testi vahe vähemalt 5 minutit			
7	Lühiajaline võrguühenduse katkemine	Kõik tootmisüksused on töös, normaalolukord, $P \geq 50\% P_n$	Kõik piirangud on maas / TESTI ALGUS	Enne VL väljalülitamist peavad kõik inverterid olema töös ning peale VL sisselülitamist uuesti võrku lülituma.		
7.1.		Tootmiseseade annab vähemalt 5 minuti jooksul toodangut $P \geq 50\% P_n$	Tootmiseseadme VL VÄLJA			
7.2		p.7.1. korraldusest on möödunud 10 sekundit	Tootmiseseadme VL SISSE			
7.3		Peale korraldust p.7.2. on tootmiseseade saavutanud piiranguteta püsitalitluse ning ilmaoludele vastavat maksimaalset väljundvõimsust on antud 5 minutit.	TESTI LÕPP			
			2-e testi vahe vähemalt 5 minutit			

8	Lühiajaline võrguühenduse katkemine ilma keskse juhtimissüsteemita	Kõik tootmisüksused on töös, $P \geq 50\% P_n$ Eelnevalt on tööst välja viidud tootmisseadme juhtimisarvuti.	Kõik piirangud on maas / TESTI ALGUS	Enne VL väljalülitamist peavad kõik inverterid olema töös ning peale VL sisselülitamist uuesti võrku lülituma.			
8.1.	juhtimissüsteemita	Tootmisseade annab vähemalt 5 minuti jooksul toodangut $P \geq 50\% P_n$	Tootmisseadme VL VÄLJA				
8.2		p.8.1. korraldusest on möödunud 10 sekundit	Tootmisseadme VL SISSE				
8.3		Peale korraldust p.8.2. on tootmisseade saavutanud piiranguteta püsitalitluse ning ilmaoludele vastavat maksimaalset väljundvõimsust on antud 5 minutit.	TESTI LÖPP				

2-e testi vahe vähemalt 5 minutit

Jrk. NR	NIMETUS	EELNEV OLUKORD/TINGIMUS	ELEKTRISÜSTEEMIJUHTIMISKESKUS TEGEVUS	MÄRKUS	MÄRGE [OK/-]	KUUPÄEV [PP.KK.AA]	KELLAAEG [TT.MM]
9.1	Talitus ilma keskse juhtimissüsteem	TEADE tootmisseadme poolt, et jaama juhtimisarvuti on tööst välja viidud.	TESTI ALGUS [katse ajal ei tohi käsklusi anda / EJK ei sekku]	Teisi katsetusi tootmisseadmes samal ajal ei tohi teostada.			

9.2	ita 24 h	24 tundi peale punkti 9.1 teate saamist antakse tootmiseseadme poolt uus TEADE, et jaama juhtimisarvuti on töösse viidud.	[katse ajal ei tohi käsklusi anda / EJK ei sekku] KATSE LÕPP				
				2-e testi vahe vähemalt 5 minutit			
10	Primaar-reguleerimine	Kõik tootmisüksused on töös, normaalolukord , $P \geq 40 \% P_n$ Primaarreguleerimise katse peab toimuma koostöös EJK-ga. Kõik juhtimiskäsud ja edastamise ajad peavad olema esitatud raportis.	Primaarreguleerimise aktiveerimise ja seadistamise signaalid edastab elektrisüsteemi juhtimiskeskus.	Täpsem katsekava tuleb eelnevalt kooskõlastada põhivõrguettevõtja ga.			
11	Lisakatsed vastavalt vajadusele			Lisakatsed, mis tõestavad tootmiseseadme vastavust tehnilisele võimekusele (näiteks FACTS seadmete testimine jms)			
12	PINGELOHU LÄBIMISE VÕIME katse	Katse toimumisest teavitatakse eelnevalt tootmiseseadme omanikku.		Katse teostab põhivõrguettevõtja. Lühise pikkus kuni 250 ms; Katse teostamiseks vajalik lühis (1f-m; 2f-m või 3f) teostatakse liitumispunktis või sellele võimalikult lähedal			