



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**BALTI REGIOONI VÕRGUMODELITE PÕHJAL
PIIRKONNA PINGEJUHTIMISE
MODELLEERIMISE VÕIMEKUSE HINDAMINE**

**ASSESSMENT OF REGIONAL VOLTAGE REGULATION
MODELLING CAPABILITY BASED ON THE BALTIC
REGIONAL GRID MODELS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Robert Kuuba

Üliõpilaskood: 211901AAVM

Juhendajad: Kaasprofessor Jako Kilter
Eero Ülavere

Tallinn 2023

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.

“17” mai 2023

Autor: Robert Kuuba
(digiallkirjastatud)

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 20.....

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ Robert Kuuba____ (autori nimi)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Balti regiooni võrgumudelite põhjal piirkonna pingajuhtimise modelleerimise võimekuse hindamine.

(lõputöö pealkiri)

mille juhendajad on

Jako Kilter ja Eero Ülavere

(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni; üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni

1.2 i.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitseseadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

15.05.2023 (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

<i>Autor:</i> Robert Kuuba	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Balti regiooni võrgumudelite põhjal piirkonna pingejuhtimise modelleerimise võimekuse hindamine	
<i>Kuupäev:</i> 17.05.2023	103 lk (<i>lõputöö lehekülgede arv koos lisadega</i>)
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendajad:</i> kaasprofessor Jako Kilter, Eero Ülavere	
<i>Töö konsultant:</i> Kristjan Vilgo	
<i>Sisu kirjeldus:</i> <p>Kaheks väga oluliseks elektrivõrgu talitluskindluse tagamisega seotud tegevuseks on pingete juhtimine võrgus ja elektrivõrgu adekvaatne modelleerimine. Käesoleva lõputöö fookuseks on nende tegevuste ühisosa ehk pinge juhtimise modelleerimine ja analüüsimine. Töö eesmärgiks oli uurida Balti regiooni võrgumudelite põhjal, lähtudes IEC standardist 61970-600, kuidas on pinge juhtimist teostatud, eesmärgiga tuvastada nii mudelites pinge juhtimise kujutamise seotud probleeme kui ka puudusi standardis endas. Töö teoreetilises osas on esitatud ülevaade kasutatavatest pinge juhtimise meetoditest, ülevaade CIM andmemudelidest ja võrgumudelite olemusest ning IEC standardist 61970-600. Samuti on tehtud ülevaade sellest, kuidas töö alguses kirjeldatavad pinge juhtimise meetodid on IEC standardis kujutatud. Praktilise analüüsi osas on uuritud Balti eri võrgumudelite näitel, kas ja kuidas on neid pinge juhtimise meetodeid võrgumudelites rakendatud, ning analüüsi tulemusel tuvastada puudusi modelleerimise kui ka standardi enda juures ning on tehtud ka ettepanekuid võrgus pinge paremaks juhtimiseks.</p> <p>Töö tulemusena on tehtud ettepanekuid, mille elluviimisel suureneb Balti regioonis modelleerimise kvaliteet, muutub paremaks IEC 61970-600 standard ning võiks paraneda pinge juhtimise kvaliteet Balti regiooni võrkudes. Tähtsamate soovitude ja ettepanekutena tuuakse esile, et ülekandevõrguettevõtted võiks modelleerimisel kasutada rohkem standardis kirjeldatud atribuute ning parandada atribuutide kasutust. Standardis võiks olla STATCOMi ning sünkroonkompensaatorite modelleerimiseks eraldi klassid ja lisatud rohkem atribuute. Mudeli tulemustest lähtuvalt võiks olla põhjust kontrollida ka reaalse võrgu korrasolekut. Viimasest lähtuvalt kas parandada olukorda võrgus või siis muuta võrgumudelid reaalsusele vastavamaks.</p>	
<i>Märksõnad:</i> pinge juhtimine, võrgumudel, CIM, kompensator, trafo, sünkroonmasin	

ABSTRACT

<i>Author:</i> Robert Kuuba <i>Title:</i> Assessment of regional voltage regulation modelling capability based on the regional grid models	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Date:</i> 17.05.2023	103 pages (the number of thesis pages including appendices)
<i>University:</i> Tallinn University of Technology <i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Associate Professor Jako Kilter, Eero Ülavere <i>Consultant:</i> Kristjan Vilgo	
<p>Abstract:</p> <p>Two very important aspects in ensuring the operational reliability of the power grid are voltage control and the adequate modelling of the grid. The common denominator of the two, modelling of voltage control in the grid models, is the focus of the current thesis. This thesis aims to assess how the voltage control is performed in the Baltic grid models, based on IEC standard 61970-600, to find problems related to modelling and in the standard itself. In the theoretical part the overview is presented of the general methods used for voltage regulation, also for the CIM information model and an overview of the grid models, as well as the IEC 61970-700 standard. It shall be presented based on the standard; how different voltage control methods are modelled in grid models. In the practical analysis, that is based on different Baltic grid models, it is assessed if and how those methods are modelled, with aim of finding problems either in the modelling or in the standard itself.</p> <p>As a result, concrete proposals are made, which if acted upon, should increase the quality of the grid models in the Baltic region and the IEC 61970-600 standard should also become better and the quality of voltage control in the Baltics could improve as well. More important proposals for the TSOs would be to use more attributes in the modelling, while using them more correctly also. In the standard STATCOMs and synchronous compensators should have their own class for modelling and some new attributes could also be described in the standard. Based on the results the real state of the grid should be checked and based on the findings either improve the situation in the grid or to correct the grid models to better match the reality.</p>	
<i>Keywords:</i> voltage control, grid model, CIM, compensator, transformer, synchronous machine	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:

**Regiooni võrgumudelite põhjal
pingejuhtimise modelleerimise võimekuse
hindamine**

Lõputöö teema inglise keeles:

**Assessment of voltage regulation modelling
capability based on the regional grid models
Robert Kuuba, 211901AAVM**

Üliõpilane:

Eriala:

Lõputöö liik:

magistritöö

Lõputöö juhendaja:

kaasprofessor Jako Kilter

Lõputöö kaasjuhendaja:

Eero Ülavere, Elering, püsitalituse ekspert

(ettevõtte, amet ja kontakt)

Lõputöö ülesande kehtivusaeg:

2022/2023

2022/2023 Kevad

Lõputöö esitamise tähtaeg:

18.05.2023

_____(digiallkiri)_____
Üliõpilane (allkiri)

_____(digiallkiri)_____
Juhendaja (allkiri)

_____(digiallkiri)_____
Õppekava juht (allkiri)

_____(digiallkiri)_____
Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Eesmärgiga tagada elektrisüsteemi töökindlus erinevates talitlustes, nii normaal- kui ka avariilistes olukordades, on tarvilik vastavaid talitlusi adekvaatselt modelleerida ja analüüsida. Teostatavate analüüside tulemuste alusel hinnatakse võrgu töökindlust ja rakendatakse võimalikke parendavaid tegevusi töökindluse pidevaks tagamiseks.

Elektrivõrgu talitluse modelleerimiseks ja hindamiseks kasutatakse erinevaid tarkvarasid, milles on tavapäraselt kasutusel tarkvara eripärasid arvestavad mudelid ja põhimõtted. See tähendab, et üldjuhul on raskendatud erinevate mudelite ristkasutus ja väljakutse lahendamiseks on tarvis leida sobilikke lahendusi. Üheks lähenemisviisiks on andmevahetuse põhimõtete ühildamine. Selle tarvis on IEC koostanud CIM standardi (IEC 61970-600), mis võimaldab võrgu modelleerimist tööriistadest sõltumatut. Selleks, et analüüsid võrgumudelitega võimaldaksid saada võimalikult reaalsele olukorrale lähedasi tulemusi, on tarvilik tagada vastavate standardite ja andmemudelite piisav kvaliteet. Samuti on vajalik tagada konkreetsete võrgumudelite puhul nende korrektne kasutus. Näiteks kas CIM andmemodelis on piisavalt reguleeritud olukorrad, kus ühe sõlme pinget juhitakse rohkem kui ühe elemendi toel (nt trafo ja kondensaator).

Kokkuvõttes on pingajuhtimise modelleerimise uurimine vajalik selleks, et tagada võrgumudeli täpsus, mis omakorda on vajalik, et tagada lähteandmestiku usaldusväärsus, mille kaudu teha adekvaatsemaid otsuseid elektrisüsteemi planeerimisel ja juhtimisel. Seega on loodetavasti käesolev töö kasulik võrguga seotud ettevõtetele, aitamaks teha nende võrgumudel täpsemaks, mis omakorda aitab teha paremaid otsuseid elektrisüsteemi planeerimisel ja juhtimisel.

Varasemalt on kaudselt sarnast teemat uurinud TTÜ-s Karl Kürsa oma 2018. aastal tehtud magistritöös „Elektrijaotusvõrkude reaktiivvõimsuse reguleerimisvõimaluste ja mõjude analüüs. Sarnaselt tema tööle uuritakse ka käesolevas töös reaktiivvõimsuse juhtimist seoses pinge juhtimisega. Olulisteks erinevusteks on, et käesoleva töö fookus keskendub mitte vaid regiooni omavahel ühendatud põhivõrgule, ning et rõhuasetus pole mitte niivõrd reaktiivvõimsuse juhtimisvõimalustel, vaid justnimelt pinge juhtimise modelleerimisel ning hinnangu andmisel sellele, kas IEC standardis kasutatav lähenemisviis on selleks piisav.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on välja selgitada, kas CIM (IEC 61970-600) andemudel is kasutatav lähenemisviis kirjeldamaks pinge juhtimise seadistusi on piisav regiooni energiasüsteemi püsitalituse pinge juhtimise modelleerimiseks ja hindamiseks.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- Uurida standardist IEC 61970-600, millised võimalused on pinge juhtimiseks ette nähtud;
- Kasutades CimDesk tarkvara ning Pythoni programmeerimiskeelt analüüsida pingejuhtimist regiooni võrgumudelites;
- Vastavalt IEC 61970-600 standardile anda hinnang juhtimise piisavusest;
- Juhul kui töö tulemusena tuvastatakse puudusi, teha ettepanekuid, kuidas oleks võimalik IEC 61970-600 põhjal koostatud mudeli kvaliteeti tõsta pinge juhtimise alusel;

Kui tulemustest selgub, siis teha ettepanekuid, kuidas tulevikus tugevdada võrku viisil, et pinge juhtimine võrgus toimiks paremini.

4. Lähteandmed

Lõputöö teostamiseks vajalikud andmed on saadud Baltic RCC-lt. Kasutatud on regiooni võrgumudeleid CIM/CGMES standardis.

5. Uurimismeetodid

Lõputöös püstitatud ülesannete lahendamiseks on uuritud regiooni võrgumudeleid CIM/CGMES- standardi kohaselt CIMDesk tarkvarade abil, kasutades tööriistana ka Pythoni programmeerimiskeelt, uurides IEC 61970-600 standardi alusel pingejuhtimise modelleerimise võimekust ning analüüsides standardi rakendamist regiooni energiasüsteemide mudelites.

6. Graafiline osa

Graafilises osas tuuakse välja CIM andmemudel is olevate andmeklasside sõltuvuste skeemid ning tabelid, mis illustreerivad mudelites olevaid pinge juhtimisega seotud atribuute ning juhitavaid pingeid.

7. Töö struktuur

Loetelu töö peatükkidest koos alapeatükkide, punktide ja alapunktidega.

- Sissejuhatus;
- Teoreetiline osa;
 - Pinge juhtimisviisid regioonis ning kasutusel olevad modelleerimise põhimõtted;
 - Ülevaade elektrivõrgu modelleerimisest CIM andmemudelit kasutades;
 - Ülevaade kasutatud tarkvaradest;
- Mudelite analüüs;
- Analüüsi tulemustest tehtavad järeldused ja ettepanekud;
- Kokkuvõte.

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Lõputöös kasutatakse allikatena:

- IEC 61970-600 standardit;
- Baltikumi võrgumudeleid CIM/CGMES standardis;
- NEPLAN ja CIMDesk tarkvarade infomaterjale;
- Vajalikke CIM andmemudeli kohta käivaid infomaterjale;
- IEEE Explore ja Science Direct ja teisi teadusartikleid;
- Modelleerimist ja pingajuhtimist kirjeldavaid raamatuid ja allikaid.

9. Lõputöö konsultandid

Kristjan Vilgo - mudeli analüüs ja CIM standardi tehniline tugi.

10. Töö etapid ja ajakava

- Teoreetilise osa kirjutamise lõpetamine (15.02.2023);
- Modelleerimise teostamise lõpetamine (15.03.2023);
- Modelleerimise tulemuste kirjeldus tehtud (25.03.2023);
- Järelduste ja ettepanekute kirjutamine standardi parandamiseks (07.04.2023);
- Kokkuvõtte koostamine ning töö esimese versiooni juhendajale läbi vaatamiseks saatmine (12.04.2023);
- Juhendajale teiseks läbilugemiseks töö saatmine (01.05.2023);
- Töö lõplik versioon valmis lõplikuks esituseks (15.05.2023).

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
SISUKORD	10
JOONISED	13
TABELID	14
EESSÕNA	16
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	17
SISSEJUHATUS	18
1 ÜLEVAADE PINGE JUHTIMISEST JA VÕRGUMODELITEST	20
1.1 Pinge juhtimise meetodid võrgus	20
1.1.1 Pinge juhtimine sünkroongeneraatoritega	20
1.1.2 Pinge juhtimine trafodega	21
1.1.3 Pinge juhtimine põikikompensaatoritega	21
1.1.4 Pinge juhtimine sünkroonkompensaatoritega	22
1.1.5 SVC ja STATCOM-i kasutus pinge juhtimiseks	22
1.1.6 Alalisvooluühenduste kasutamine pinge juhtimiseks	23
1.2 Ühtne andmemudel ja võrgu modelleerimine	23
1.2.1 CIM andmemudeli olemus ja ajalugu	23
1.2.2 CIM-mudeli põhikasutusosalad	24
1.2.3 IGM ja CGM mudelid ning nende loomine	25
1.2.4 IEC 61970-600 standardi kirjeldus	27
1.2.5 CIM-andmemudeli haldamine UML-kujul	28
1.3 Pinge juhtimise meetodid standardis	28
1.3.1 Pinge juhtimine sünkroonjaamades	31
1.3.2 Pinge juhtimine trafodes	39
1.3.3 Pinge juhtimine põikikompensaatoritega	43
1.3.4 Pinge juhtimine sünkroonkompensaatoritega	47
1.3.5 SVC-de ja STATCOM-ide kasutus pinge juhtimiseks	47
1.3.6 Alalivooluühenduste kasutamine pinge juhtimiseks	49
1.4 Kasutatud tarkvarade ja tööriistade kirjeldused	52
2 ANALÜÜS PINGE JUHTIMISE MEETODITEST	54
2.1 Metoodika	54
2.2 Pinge juhtimine sünkroonjaamades	57
2.2.1 Pinge juhtimisest uuritud regioonide võrgumudelites	57

2.2.2 Atribuudid ja nende omadused ning väärtused regiooni mudelites.	
Sõlmedes olevate pingete väärtuste analüüs	58
2.2.3 Region A.....	58
2.2.4 Region B.....	62
2.2.5 Region C.....	66
2.3 Pinge juhtimine trafodega	68
2.3.1 Pinge juhtimisest uuritud regioonide võrgumudelites.....	68
2.3.2 Atribuudid ja nende omadused ning väärtused regiooni mudelites.	
Sõlmedes olevate pingete väärtuste analüüs	70
2.3.3 Region A.....	71
2.3.4 Region B.....	73
2.3.5 Region C.....	77
2.4 Pinge juhtimine põikikompensaatoritega	78
2.4.1 Pinge juhtimisest uuritud regioonide võrgumudelites.....	79
2.4.2 Atribuudid ja nende omadused ning väärtused regioonimudelites.	
Sõlmepingete analüüs	80
2.4.3 Region A.....	80
2.4.4 Region B.....	83
2.4.5 Region C.....	86
2.5 Pinge juhtimine sünkroonkompensaatoritega	87
2.5.1 Pinge juhtimisest uuritud regioonide võrgumudelites.....	87
2.5.2 Atribuudid ja nende analüüsid	88
2.6 SVC ja STATCOM-ide kasutus pinge juhtimiseks.....	89
2.7 Alalisvooluühenduste kasutamine pinge juhtimiseks	89
3 ANALÜÜSIST TEHTAVAD JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD	90
3.1 Pinge juhtimine sünkroonjaamades	90
3.1.1 Järeldused	90
3.1.2 Ettepanekud	91
3.2 Pinge juhtimine trafodes	92
3.2.1 Järeldused	92
3.2.2 Ettepanekud	93
3.3 Pinge juhtimine põikikompensaatoritega	94
3.3.1 Järeldused	94
3.3.2 Ettepanekud	95
3.4 Pinge juhtimine sünkroonkompensaatoritega	96
3.4.1 Järeldused	96
3.4.2 Ettepanekud	97
3.5 SVC ja STATCOM-ide kasutus pinge juhtimiseks.....	97

3.5.1 Järeldused	97
3.5.2 Ettepanekud	98
3.6 HVDC kasutus pinge juhtimiseks	98
3.6.1 Järeldused	98
3.6.2 Ettepanekud	98
KOKKUVÕTE	100
KASUTATUD ALLIKAD.....	102

JOONISED

Joonis 1.1 IGM ja CGM mudelite, nende vaheliste seoste ning nende baasil toimivate CGM teenuste skemaatiline kirjeldus [12]	26
Joonis 1.2 Reguleerivat kontrolli iseloomustav klassidiagramm [17]	29
Joonis 1.3 Mudelis kujutatava ergutussüsteemi omavahelised seosed ja muutujad [15]	34
Joonis 1.4 Üle-ergutuse piiraja dünaamika modelleerimisel kasutatavate klasside omavahelised seosed [15]	36
Joonis 1.5 Ala-ergutuse piiraja dünaamika klasside omavaheliste seoste diagramm mudelis [15]	38
Joonis 1.6 Klasside diagramm varustuse failis astmelülitite kohta [17]	40
Joonis 1.7 Põikikompensaatorite kujutus võrgumudelites [15]	43
Joonis 2.1 Skeemi osa astmelülitite mudelistruktuuri osast, kus võrgumudelite suhtes võimalike puudusi tuvastati seoses olemasoluga mudelites	70

TABELID

Tabel 1.1 RegulatingControl -iga seotud atribuutide loetelu koos kirjeldustega [16] ...	30
Tabel 1.2 RegulatingCondEq klassi atribuutide tabel koos kirjeldustega [16].....	30
Tabel 1.3 IdentifiedObject klassi atribuudid kirjeldustega [16]	31
Tabel 1.4 Sünkroonmasina atribuudid ja neilt päritavad klassid [16]	32
Tabel 1.5 ReactiveCapabilityCurve atribuudid koos kirjeldustega [16].....	33
Tabel 1.6 Curve klassi atribuudid ja nende kirjeldused [16].....	33
Tabel 1.7 AC1A ergutussüsteemi mudeli atribuudid ja nende kirjeldused [15]	35
Tabel 1.8 Üle- ergutussüsteemi atribuutide tabel koos kirjeldustega [15]	37
Tabel 1.9 Ala-ergutuse süsteemi atribuudid ja nende kirjeldused [16]	38
Tabel 1.10 Astmelüliti atribuudid mudelis koos kirjeldustega [15]	41
Tabel 1.11 Astmelüliti kontrolleri atribuudid koos kirjeldustega [15].....	42
Tabel 1.12 Astmelüliti graafiku atribuutide tabel koos kirjeldustega [15]	42
Tabel 1.13 Varustuse (EQ) profiilist saab suntkompensaator atribuudid kirjeldustega ja klassid, millele suntkompensaator viidata saab [15].....	44
Tabel 1.14 Suntkompensaatori atribuudid kirjeldustega püsitalitluse hüpoteesi profiilis [15].....	45
Tabel 1.15 NonLinearShuntCompensator ehk põikikondensaatorite atribuudid [15] ...	46
Tabel 1.16 Lineaarse põikikompensaatori atribuudid ja nende seletused [15]	46
Tabel 1.18 SVC atribuudid ja nende kirjeldused ja klassid, milledele SVC juures viidatakse [15]	48
Tabel 1.19 SVC kontrollrežiimi võimalikud variandid [16]	48
Tabel 1.20 ACDC muunduri atribuudid kirjelduste ja klassidega, millele selle juurest viidatakse [15]	49
Tabel 1.21 Sagedusmuunduri atribuudid ja nende kirjeldus lähtuvalt TC57CIM-is, mis lähtud uuritavast IEC standardist [18].....	51
Tabel 1.22 VsConverter atribuudid koos kirjeldustega ja sellega seotud klassid [15] .	52
Tabel 2.1 Regiooni A sünkroonmasinate pingega seotud seadeväärtused, millel puuduvad viited info mudelites pinge automaatset juhtimist võimaldavad seadeväärtused	58
Tabel 2.2 Sünkroonmasinate pinge juhtimisega seotud seadeväärtused regiooni A võrgumudelil, kus on olemas ka automaatset juhtimist võimaldavad seadeväärtused	59
Tabel 2.3 Regiooni B võrgumudeli sünkroonmasinate seadeväärtused, millel puuduvad viited automaatsele pinge juhtimisele.....	63
Tabel 2.4 Regiooni B võrgumudeli sünkroonmasinate seaded, millel on olemas automaatse pinge juhtimisega seonduvad seadeväärtused.....	64

Tabel 2.5 Regiooni B sünkroonmasinate reaktiivvõimsuskõvera kohta antud parameetrid	65
Tabel 2.6 Regiooni C võrgumudeli elektrijaamast pinge ja pinge juhtimisega seonduvad seadeväärtused	67
Tabel 2.7 Regiooni A astmelülitite atribuudid, millel puuduvad pinge automaatse juhtimisega mudelis seotud seadeväärtused	72
Tabel 2.8 . Regiooni A võrgumudeli astmelülitite seadeväärtused, millel on automaatse juhtimisega seotud seadeväärtused olemas ja sisse lülitatud	73
Tabel 2.9 Regiooni B 30 astmelülitit, millel puuduvad automaatset mudelis pinge juhtimist võimaldavad seadeväärtused, järjestatuna neutraalse pinge atribuudi väärtuse järgi	74
Tabel 2.10 Regiooni B astmelülitid, millel olemas pinge automaatse juhtimisega mudelis seonduvad seadeväärtused	77
Tabel 2.11 Regiooni C võrgumudeli astmelülitid seadeväärtustega	78
Tabel 2.12 Põikikondensaatorite atribuudid regiooni A võrgumudelis, millel puuduvad mudelis automaatset pinge juhtimist võimaldavad seadeväärtused	81
Tabel 2.13 Regiooni A võrgumudeli põikikompensaatorite seadeväärtused, kus on olemas mudelis automaatse pinge juhtimisega seotud seadeväärtused	82
Tabel 2.14 Regiooni B põikikompensaatorite atribuudid ja nende väärtused	84
Tabel 2.15 Regiooni B põikikompensaatorite atribuudid ja nende väärtused	86
Tabel 2.16 Regiooni C võrgumudeli suntkompensaatorid koos atribuutidega	87
Tabel 2.17 Regiooni A sünkroonkompensaatori atribuudid.....	88

EESSÕNA

Lõputöö teema sai valitud koos Baltic RCC IT halduri Kristjan Vilgoga, eesmärgiga leida teema, mis läheks osaliselt kokku autori enda töö ja huvidega ning mille tulemustest oleks potentsiaalselt kasu ka ettevõttele. Lõputöö koostamisel oli abiks Baltic RCC IT haldur Kristjan Vilgo ning ülikoolipoolne juhendaja Jako Kilter kui Eleringi-poolne juhendaja Eero Ülavere. Lisaks neile soovin siinkohal tänada kõiki teisi abistajaid ja nõuandjaid ning osapooli, kes lubasid lõputöös kasutada oma regiooni võrgumudeleid.

Lõputöö autori töökoht on Baltic RCC, insener ning CGM teenuse juht.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

SVC – staatiline reaktiivvõimsuse kompensaator (Static VAR Compensator)

STATCOM – staatiline sünkroonkompensaator (Static Compensator)

IGM – individuaalne võrgumudel (Individual Grid Model)

CGM – ühine võrgumudel (Common Grid Model)

CIM – ühtne andmemudel (Common Information Model)

RCC – regionaalse koordineerimise keskus (Regional Coordination Centre)

EQ – varustus (Equipment)

SSH – püsitalitluse hüpotees (Steady State Hypothesis)

SV – seisundimuutujad (State Variable)

HVDC – kõrgepingeline alalisvool (High Voltage Direct Current)

VSC – pingemuundur (Voltage Source Converter)

TSO – ülekandevõrguoperaator (Transmission System Operator)

UML – ühtne modelleerimiskeel (Unified Modeling Language)

SISSEJUHATUS

Elektrivõrgu talitluskindluse seisukohast on väga olulisel kohal kaks tegevust. Esimene on pingete juhtimine, st pinge hoidmine õigetes töövahemikes, garanteerimaks võrgu efektiivset tööd, seadmete ja isolatsiooni pingele vastupidamist ning kadude hoidmist võimalikult ja optimaalselt väiksena. Teiseks võtmetähtsusega tegevuseks elektrivõrgu üldise talitluskindluse tagamiseks on võrgutalitluste arvutamine ja elektrivõrgu töö modelleerimine erinevates režiimides. Seda on vaja teha nii operatiivse töö planeerimisel, tagamaks võrgu töökindlust erinevates olukordades ja režiimides, tuvastamaks võimalikke tekkivaid probleeme erinevates situatsioonides, et oleks võimalik ennetavalt vastu võtta otsuseid ja abimeetmeid kindlustamaks, et probleemid ei saaks realiseeruda või oleks vähemalt võimalik neid kiirelt ja efektiivselt lahendada. Võrgu modelleerimisel on eesmärgiks leida tööks optimaalne režiim, kus kaod oleksid võimalikult väikesed.

Olles veendunud kahe eelnimetatud tegevuse olulisuses, võime loogiliselt tuletada, et nende kahe tegevuse ühisosa ehk pinge juhtimise kujutamine võrgumudelites on samuti suure tähtsusega. Selle uurimisele keskendub ka käesolev magistritöö, kus uuritakse nii IEC 61970-600 standardi kui ühe konkreetse regiooni kolme võrgumodeli näitel, kuidas on pinge juhtimist võrgumudelites kujutatud. Kolme võrgumodeli uurimisel püütakse tuvastada puudusi nii modelleerimisel kui ka standardis endas, ja otsitakse lahendusi, kuidas regiooni elektrivõrgus oleks võimalik pinget paremini juhtida.

Töö esimeses osas kirjeldatakse tähtsamaid pinge juhtimise vahemikke ja loetletakse ning seletatakse lühidalt lahti tähtsamad pinge juhtimise meetodid seitsmes kategoorias seadmete järgi, mille juures juhtimist teostatakse. Seejärel kirjeldatakse andmemudelit, mille standardis võrgumudeleid kujutatakse ja võrgumodelite olemust. Samuti kirjeldatakse IEC standardit ja tehakse ülevaade kõigist seitsmest väljatoodud pinge juhtimise meetodist. Lisaks antakse ülevaade ka kõigist lõputöös kasutatud tarkvaradest ja tööriistadest.

Töö teises osas teostatakse praktiline analüüs, alustades metoodika kirjeldamisega. Kõiki seitset pinge juhtimise meetodit uuritakse eraldi ja kõigis kolmes regiooni võrgumodelis, uurides nende rakendamise olemasolu ja ulatust, kirjeldatud atribuute ja nende väärtusi ning pingete väärtusi nii võrgueeskirjade, juhtimise põhimõtete kuid ka juba kirjeldatud atribuutide kontekstis.

Töö kolmandas peatükis tehakse kokkuvõtlik arutelu analüüsi käigus teostatud iga pingejuhtimise meetodi kohta, arutledes puuduste ja tähelepanekute üle, mis analüüsi

käigus tuvastati. Seejärel tehakse iga meetodi puhul konkreetsed ettepanekud lähtuvalt kolmest kategooriast: ettepanekud standardi täiendamiseks ja parendamiseks, ettepanekud regiooni ülekandevõrguettevõtetele pinge juhtimise täpsemaks ja kvaliteetsemaks modelleerimiseks ning kolmandaks, juhul kui analüüsi põhjal on neid teha saab, ettepanekud ülekandevõrguettevõtetele selle kohta, kuidas pingeid elektrivõrkudes üldiselt paremini juhtida. Kusjuures tähtsaim kategooria, kust on oodata selgelt kõige rohkem ettepanekuid ja mis on ka töö fookuseks, on ettepanekud ülekandevõrguettevõtetele paremaks pinge juhtimise modelleerimiseks.

Töö tulemused on rakendatavad selleks, et Balti regiooni ülekandevõrguettevõtted saaksid oma mudelite kvaliteeti ja täpsust tõsta, ning saada nõuandeid, tuginedes teostatud analüüsi tulemustele, kuidas võiks olla võimalik võrgus pingete juhtimist paremini korraldada. Lisaks on töö tulemustes välja toodavad ettepanekud rakendatavad IEC 61970-600 standardi paremaks ja täpsemaks tegemisel.

1 ÜLEVAADE PINGE JUHTIMISEST JA VÕRGUMODELITEST

1.1 Pinge juhtimise meetodid võrgus

Töö esimese osana loetletakse kõik tähtsamad meetodid, mida tavapäraselt pinge juhtimiseks tänapäevaselt elektri ülekande- ja jaotusvõrkudes kasutatakse. Lisaks loetlemisele neid ka kirjeldatakse üldisel tasemel. Pingejuhtimise kirjeldamise meetodite defineerimisel juhendatakse sellest, läbi millise võrguelemendi pingejuhtimist teostatakse.

Esimesena on ära toodud mõningad tähtsamad pinge juhtimise vahemikud lähtuvalt Euroopa Komisjoni määrusest 2017/1485, millega on kehtestatud elektri ülekandesüsteemi käidueskiri [1]. Selles on sätestatud, et Balti regioonis on 110 kV pingeastmel vaja hoida pingeid vahemikus 0.90-1.118 s.ü. ja 330 kV pingeastmel 0.90-1.07 s.ü.

Põhilised seadmed pinge juhtimiseks võrgus on järgnevad [2]:

1. Sünkroongeneraatorid;
2. Trafod;
3. Põikikompensaatorid (reaktorid ja kondensaatorpatareid);
4. Sünkroonkompensaatorid;
5. Juhitavad vahelduvvoolusüsteemid;
6. Alalisvooluühendused .

1.1.1 Pinge juhtimine sünkroongeneraatoritega

Oluliseks viisiks pinge juhtimisel sünkroongeneraatoritega elektrijaama juures on selle teostamine läbi sünkroonmasina ergutuse juhtimise süsteemide. Generaatori elektromotoorjõud (E) sõltub ergutusvoolust. Lõplikku pinget generaatori klemmidel on võimalik avaldada $U = E - IZ$. Seoses koormusvoolu ja staatorivoolu suurenemisega suureneb ka pingelang staatori mähises. Sellega seoses tuleb suurendada ergutusvoolu, kompenseerimaks pingelangu, nii et lõplik pinge oleks soovitud väärtuse juures. Selle saavutamiseks on generaatorid varustatud ergutuse juhtimise ehk automaatse pingeregulaatoriga (AVR – *automatic voltage regulator*). Automaatne pingeregulaator

võrdleb lõplikku pinget referentspingega. Erinevust tuvastatud pinge ja etteantud referentspinge all nimetatakse veapingeks. Regulaator juhib seejärel generaatori ergutusvoolu, et veapinge kompenseerida. Sellega kaasnevalt on võimalik sünkroonmasinal toota ja tarbida reaktiivvõimsust ning omakorda läbi reaktiivvõimsuse tarbimise ja tootmise on võimalik elektrimasinal kontrollida vaadeldava sõlme pinget. [3] [4]

1.1.2 Pinge juhtimine trafodega

Üheks elektrivõrgu pinge juhtimise võimaluseks on trafode astmelülitid. Sel meetodil juhitakse liini pinget läbi trafo sekundaarmähise keerdude arvu suurendamise või vähendamise. Trafo alampoolse pinge on otseselt proportsionaalne alampinge mähise keerdude arvuga. Seega muutes keerdude arvu suhet mähistes on võimalik juhtida ka pinget trafo alammähisel. Astmelülititega trafosid saab jagada tööpõhimõttelt kaheks. Esimest tüüpi astmelülitite astmeid on võimalik vahetada vaid siis, kui trafo on välja lülitatud. Teist tüüpi trafodel on võimalik astet muuta ka koormuse all. Üldiselt on trafo astmelüliti eesmärgiks hoida pinget kindlas vahemikus. Sellega seoses on automaatselt reguleeruvatele astmelülititele loodud pingeregulaatorid, millel on sisse ehitatud loogika ja sellele vastavad teatud atribuudid pinge juhtimiseks. Esiteks pinge lähtepunkt („Voltage Set Point“), mis on pinge juhtimise baasiks ehk pingeks, mida astmelüliti hoida üritab. Järgmine atribuut on ribalaius („Bandwith“), mis kirjeldab ära vahemiku, mida peetakse pinge jaoks lubatavaks. Kolmandaks atribuudiks on ajaviide („Time Delay“) mis seadistab ära, kui kaua astmelüliti ootab astme ümberlülitamisega juhul kui pinge on olnud lubatavast vahemikust väljas. Kui vastav aeg on möödas, ja pinge pole lubatavasse vahemikku naasnud, teostab automaatika lülituse. [2] [3]

1.1.3 Pinge juhtimine põikikompensaatoritega

Põikireaktorid on põhimõtteliselt induktiivsed elemendid, mida paigutatakse ülikõrgepingega liinide otspunktidesse või alternatiivselt ka trafode sekundaarmähiste otstesse. Kui ülekandeliin pole koormatud või on kergelt koormatud, domineerib liini mahtuvus ja liini otspunktis muutub pinge kõrgemaks võrreldes liini algusega. Seda efekti tuntakse kui Ferranti efekti. Sellistes olukordades kasutatakse põikireaktoreid liini otspunktis. Põikireaktorid neelavad reaktiivvõimsust ja seeläbi pakuvad induktiivset kompenseerimist ning alandavad süsteemi pinget, vältimaks liiga kõrgeid pingeid. [2] [3]

Põikikondensaatoreid kasutatakse liinide otspunktides alajaamades ja tööstuslike koormuste lähedal. Enamus tööstuslikest koormustest vajavad induktiivset voolu ja sellega seoses muutub võimsustegur madalaks. Süsteemis tekib sellega seoses induktiivtakistusest põhjustatud pingelang. Põikikondensaatorite kasutamine aitab

kompenseerida induktiivset takistust ja sellega seoses vähendada sellega seotud pingelangu. Seega saab põikikompensaatoreid kasutada selleks, et kontrollida liini lõpus olevad pinged juhul kui koormus on suure induktiivsusega. [3]

1.1.4 Pinge juhtimine sünkroonkompensaatoritega

Sünkroonkompensaator on oma põhimõttelt üle- (või ka alaergutatud sõltuvalt sellest kas soovitakse reaktiivvõimsust toota või tarbida) ergutatud sünkroonmootor, millel pole aktiivkoormust. [4] Neid seadmeid kasutatakse elektrivõrgus pinge toetamiseks. [5] Sünkroonkompensaatorid suudavad nii tarbida kui toota reaktiivvõimsust ning sellega juhtida pinget [3]. Kui sünkroonmootor on ala-ergutatud, siis suudab see tarbida üleliigset reaktiivvõimsust ja juhul kui üle-ergutatud, toota seda juurde [6].

1.1.5 SVC ja STATCOM-i kasutus pinge juhtimiseks

Staatilised reaktiivvõimsuse kompensaatorid (SVC ehk „Static VAR Compensator“, mida kasutatakse ka siin töös edaspidi lühendina) on sõlmedesse ühendatud seadmed, mis juhivad seal tarbitavat või toodetavat reaktiivvõimsust toodangut. SVC-del on elektrivõrgus erinevaid olulisi rakendusi, kuid üks olulisematest on pinge juhtimine võrgus. SVC-d juhivad reaktiivvõimsuse toodangut ja tarbimist reaktiivtakistusega komponente vastavalt sisse või välja lülitades, kasutades selleks erinevaid võimalusi. See kategooria hõlmab endas [2]:

- Türistoridega juhitud reaktor (TCR ehk „*Thyristor controlled reactor*“) koos mehaaniliselt lülitatavate kondensaatoritega (FC ehk „*fixed capacitors*“);
- Türistoridega lülitatav kondensaator (TSC ehk „*Thyristor switched capacitors*“);
- Türistoridega juhitud reaktoreid kasutades kombinatsioonis mehhaaniliste või türistoridega lülitatavate kondensaatoritega.

Staatiline sünkroonkompensaator (STATCOM ehk STATic COMPensator) tagab varieeruva reaktiivvõimsuse (läbi selle, kas pinge faas on voolu faasist ees, mis tähendab et reaktiivvõimsust tarbitakse, või pinge faas on voolu faasist maas, millega seoses reaktiivvõimsust toodetakse), kuid seda ilma induktiivpoolide ja kondensaatoriteta reaktiivvõimsuse tootmiseks. Üldiselt on võimalik staatilisest sünkroonkompensaatorist mõelda kui reguleeritava juhtimisega sõlmest. Reaktiivvõimsuse tootmine saavutatakse läbi muunduri väljundi lattide juhtimise. STATCOM koosneb pinge allikaks olevast inverterist, mis kasutab GTO tüüpi türistore, tekitab vahelduva pinge allika inverterisse faasi edastava pingega ja on ühendatud liinile läbi järjestikuste induktiivpoolide. Juhul kui pinge inverteri pingemaalikal on suurem kui sõlmes olev pinge, genereerib STATCOM voolust ees olevat pinget. Vastupidisel juhul,

kui pinge jääb voolust maha, siis tarbitakse võrgust reaktiivvõimsust. Sellest vaatenurgast on STATCOM sarnane sünkroonse kompensaaatoriga, mis sellisel põhimõttel üritab pinget hoida õigel tasemel. [2] [4]

1.1.6 Alalisvooluühenduste kasutamine pinge juhtimiseks

Alalisvooluühendusi kasutatakse suurtes kogustes energia ülekandmiseks kaugel maa taha või läbi veekogude [2]. Samuti saab kasutada alalisvoolu ühendusi ühendamiseks kahte erinevat sünkroonset sagedusala [7]. Alalisvoolu liine ega vaheühendusi ei ehitata eesmärgiga, et pinget paremini juhtida, kuid nende olemasolu, mis võis olla põhjendatud kas elektri ülekandmisest kaugel maa taha või ühenduse loomiseks kahe erineva sünkroonala vahele, annab muunduri sõlmes võimalusi pinge juhtimiseks. Näiteks on kirjeldatud juhtumeid [8], kuidas pingemuunduritega alalisvooluühendusi (Voltage source converter ehk VSC) kasutades on võimalik läbi pulssjuhtimise PWM-i kasutades (PWM ehk pulse with modulation) juhtida alalisvooluühendusega sõlme pinget.

1.2 Ühtne andmemudel ja võrgu modelleerimine

1.2.1 CIM andmemudeli olemus ja ajalugu

Käesolevas alapeatükis antakse üldine kirjeldus CIM (Common Information Model ehk ühtne andmemudel) andmemudeli olemusest ja kasutusest. Samuti kirjeldatakse ühtse andmemudeli kujul koostatud võrgumudelit, selle komponente, kasutamise põhimõtteid ja rakenduse otstarbeid.

Ühtne andmemudel algas EPRI¹ projektist üheksakümnendatel juhtimiskeskuse rakenduste programmeerimisliidese projektis nimega CCAPI (*Control Center Application Programming Interfaces*). Sel ajal ühtne modelleerimiskeel [9] (*Unified Modeling Language*), objektorienteeritud keeled (*Object Oriented Languages*) ja internetiga seostatud tehnoloogiad polnud veel nii laialtlevinud kui tänapäeval [10]. Põhjuse eelnevalt mainitud projektide arendamiseks kui ka nendega seotud uuringuteks andsid suurenevad mured, mille allikaks olid erinevate tarnijaspetsiifiliste andmebaaside kasutamine kui ka takistused, mis seisnesid omavahelises konkurentsisis müüjate vahel, kes kasutasid oma toote spetsiifilisi rakendusliideseid erinevalt [10] [11].

¹ Electric Power Research Institute, mis on iseseisev mitte-tulunduslik energeetika uurimis- ja arendusasutus, asutatud Palo Altos Californias 1972. aastal [27]

Aja jooksul sai selgeks, et rakenduste vaheliste info ühene defineerimine on kriitilise tähtsusega. Kontseptsioon ühese informatsiooni mudeli omamisest sai määratletud kui fundamentaalse tähtsusega probleem, mis vajab tingimata lahendamist ja see oli ühtse andmemudeli loomise alguspunktiks. Ühtse andmemudeli võtmeidee on defineerida ühine keel eesmärgiga vahendada sõnumivahetust. [11]

Euroopas oli 2009. aasta selleks lähtepunktiks, mil CIM andmemudel võeti Euroopa ülekandevõrguoperaatorite ühise organisatsiooni ENTSO-E (*European Networks Transmission Operators for Electricity*) poolt kasutusse kui uue andmevahetuse standard, tagamaks Euroopa ülekandevõrkude vahelise andmestiku standardiseeritust. Mitmed elektrivõrgu opereerimisele ja plaanimisele seotud teenused olid kas juba muutunud või muutumas ühtse andmemudeliga ühilduvaks. Selle aja jooksul on propageerinud paljud ülemaailmsed eksperdid ühtse andmemudeli kasutamist eri projektides: Euroopa teadus- ja arendusprojektides, kommunaalteenustega seotud tarkvõrgu demonstratsioonides kui ka ettevõttesisestes kommunaalprojektides. ENTSO-e lõi 2011. aastal CIM14 põhjal CGMES-i (*Common Grid Model Exchange Specification*) ehk CIM andevahetuse standardi. 2014. aastal avaldati CIM16 põhjal versioon 2.4.15. CGMES on asendatud standardiga IEC tehnilistes spetsifikatsioonides IEC TS 61970-600-1 ja 61970-600-2. [10] [11]

1.2.2 CIM-mudeli põhikasutusala

Olles välja kasvanud oma algsest eesmärgist on ühtne andmemudel saanud palju enamaks, kui vaid andmemudel ja liidese määratlus, millisena see esialgu oli ette kujutatud. Alates algsest arendusest pole mitte ainult üldine eesmärgi ulatus ja modelleerimisparadigma muutunud, vaid ka põhirakendused on täienenud. Tänapäeval on ühtsel andmemudelil mitmeid erinevaid kasutusalasid, mis on järgmised: [11]

- Esimene ühtse andmemudeli peamine kasutusala seisneb andmemudeli kasutamisel suure topoloogia domeenina, pakkudes sõnavara vahetatavate ärisõnumite väljendamiseks erinevate süsteemisestest rakenduste vahel;
- Teise kasutusala fookuseks on topoloogiliste andmete vahetus, kasutades ühtset andmemudelit. Nii ülekande- kui jaotusvõrkudes on failid (niinimetatud ühtse andmemudeli poolt defineeritavate objektide alagrupid ja nende vahelised seosed kasutatuna spetsiifilistes kontekstides) määratletud elektrivõrgu andmete graafiku järjestamiseks CIM/XML kujul;
- Kolmas põhiline rakendusala on rangemalt seotud ühtse andmemudeli kujul olevate mudelite ja struktuuride kui ühise andmemudeli ja eeldefineeritud järjestuse tüüpidega. Liidese võrdlusmudeli (IRM - *Interface Reference Model*)

raames SIDM-süsteemide osa jaoks on olemas IEC 61968, kus on eelmääratletud protsessid ja kasulikud koormused, mida saab kasutada kavandina, et alustada standarditele vastavate protsesside ja XML skeemide loomisel;

- Neljas põhiline kasutusala käsitleb CIM-i kasutust turukommunikatsiooniks ja andmevahetuseks, hõlmates Euroopa- ja USA-tüüpi uusi objekte, mis laiendavad EMS-i (*Energy Management System*) algset eesmärki.

1.2.3 IGM ja CGM mudelid ning nende loomine.

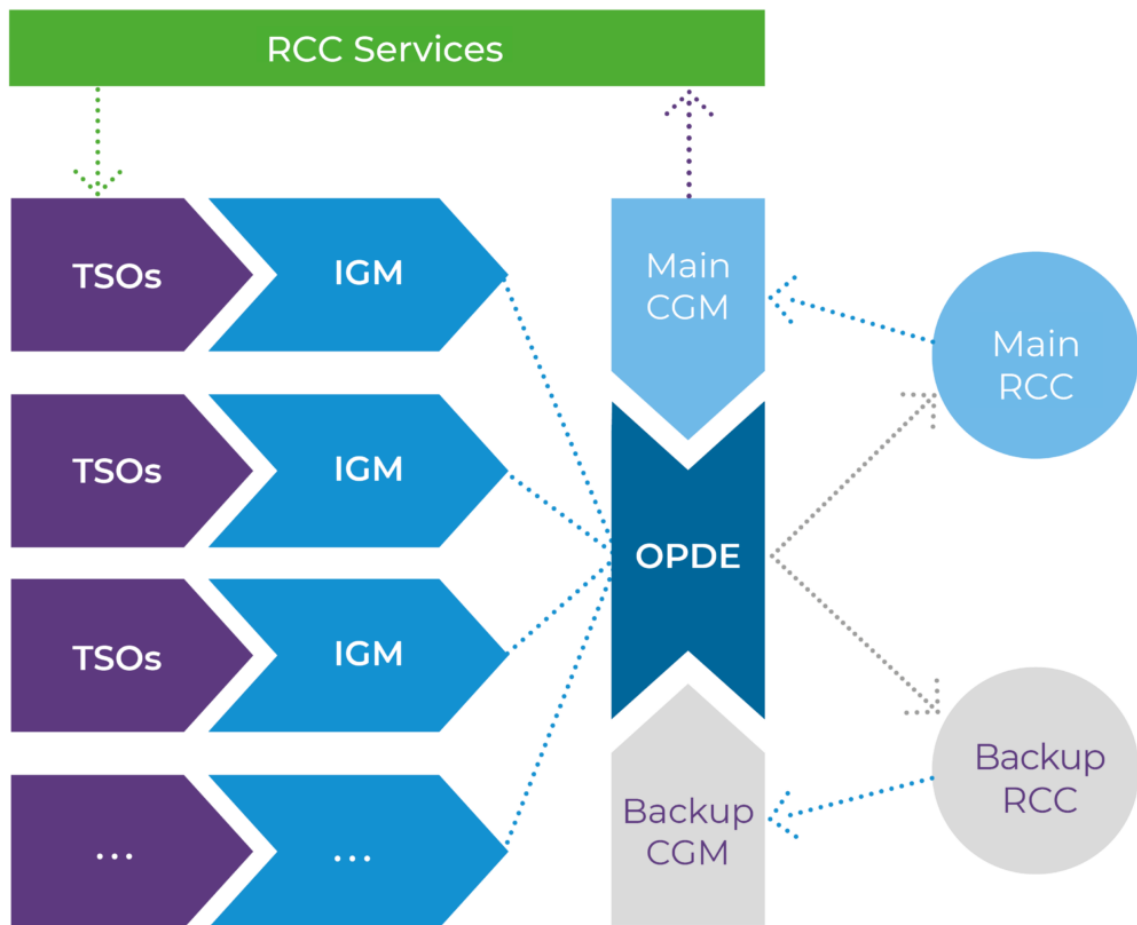
Järgnevalt kirjeldatakse CIM andmestruktuuri kujul eksisteerivate individuaalsete- ja ühiste võrgumudelite olemust, vajalikkust ja nende loomise protsessi lihtsustatud kujul. Võimaldamaks operatiivset koordineerimist ja kindlustamaks varustuskindlust üle-Euroopalisel tasemel, jagavad ülekandevõrguettevõtted informatsiooni regionaalsete koordineerimiste keskustega ehk RCC-dega (Regional Coordination Centre). Iga ülekandevõrguettevõtte avalikustab oma individuaalse võrgumudeli ehk IGM-i (Individual Grid Model), mis esindab detailset prognoosi oma elektrivõrgust. Hiljem RCC-d liidavad pea 40 põhivõrguettevõtte individuaalsed võrgumudelid loomaks üle-Euroopalist ühist võrgumodelit ehk CGM-d (Common Grid Model), mis esindaks üle-Euroopalise ulatusega elektrivõrku, mis koosneb ENTSO-E liikmesriikide elektrivõrgust. [12]

CGM teenus koosneb erinevatest ülesannetest, mida teostavad RCC-d [12]:

- Ülekandevõrkude poolt avalikustatud individuaalsete võrgumudelite kvaliteedi kontrollimine ja nende parendamise võimaldamine, tagamaks nende kvaliteedi ja võimalikkuse kriteeriumitele vastavust;
- Individuaalsete võrgumudelite liitmine ühisteks võrgumudeliteks;
- Ühise võrgumudeli parendamine.

CGM-teenus hõlmab harmoniseeritud andmestandardi CGMES (Common Grid Model Exchange Standard) kasutust, mis lubab elektrivõrgu täpset kujutamist. Failide vahetus on võimaldatud läbi Operatiivse Planeerimise Andmekeskonna ehk OPDE (Operational Planning Data Environment), mis on platvorm andmete vahetuseks ja sisaldab keskseid töö tegemiseks vajalikke rakendusi toetamaks regionaalsete koordineerimise keskuste teenuseid. Tänu sellele protsessile lõikavad kõik Euroopa ülekandevõrguettevõtted ja regionaalsed koordineerimiskeskused kasu sellest, et omavad sama ülevaadet üle-Euroopalisest elektrivõrgust ja vaadet võimsusvoogudest kõrgepingeliinidel. Lisaks

kasutatakse ühiseid võrgumudeleid nii ülekandevõrguettevõtete kui regionaalsete koordineerimiskeskuste poolt, et käitada enamikke oma teenuseid. Joonisel 1.1 on esitatud visuaalsel skeemil CGM-teenuse olulisim tööprotsess lihtsustatud kujul. [12]



Joonis 1.1 IGM ja CGM mudelite, nende vaheliste seoste ning nende baasil toimivate CGM teenuste skemaatiline kirjeldus [12]

CGM-teenus võimaldab toimida järgnevatel teenustel [12] [13]:

- koordineeritud võimsusarvutus ehk CCC (Coordinated Capacity Calculation),
- koordineeritud talitluskindluse analüüs ehk CSA (Coordinated Security Analysis),
- piirkondlike katkestuste plaanimise koordineerimine ehk OPC (Outage Planning Coordination)
- piirkondlike turusüsteemi piisavuse prognooside koostamine ja riskimaandamismeetmete ettevalmistamine ehk STA (Short-Term Adequacy).

CGM-teenust ja vastavaid mudeleid (sh individuaalsed võrgumudelid samades ajaraamistiketes, ilma milleta ühiste võrgumudelite kokkuliitmine võimalik pole) esitatakse erinevate ajaraamistike jaoks. Mõned neist ajaraamistiketest on tehtud kohustuslikeks, teiste kasutuse üle otsustatakse regionaalsemal tasandil. Toetatud ajaraamistikud on järgnevad [12]:

- Aasta-ette ehk Y-1
- Kuu-ette ehk M-1
- Nädal-ette ehk W-1
- Kaks-päeva-ette ehk D-2
- Päev-ette ehk D-1
- Päevasisene (*intraday*) ehk ID

1.2.4 IEC 61970-600 standardi kirjeldus

IEC 61970 on standard, mis käsitleb energiajuhtimissüsteemi rakendusprogrammi liidest (*EMS-API - Energy management system application programm interface*). Selle standardi osa 600, mida vaadeldakse käesolevas töös, käsitleb ühise võrgumudelite andmevahetuse standardit ehk CGMES-i (Common Grid Model Exchange Standard). Standardil IEC 61970-600 on kaks osa. Neist esimene ehk IEC 61970-600-1 kirjeldab CGMES struktuuri ja reegleid. Teine osa kirjeldab CGMES andmevahetuse profiilide spetsifikatsioone. Käesolevas lõputöös vaadeldakse mõlemat osa.

IEC 61970-600-1 osa sisaldab CGMES definitsiooni, defineerib põhireeglid ja rakenduse nõudmised, vastamaks kokku pandud ja liidetud mudelitega tööks vajalikele nõudmistele, et need sobiks vajalikeks vastavateks teenusteks. Dokument ei reguleeri ärilisi nõudmisi, tööprotsesse ega aplikatsioonide rakendamise mooduseid. Samas reguleerib dokument seda, kuidas olulisi CIM standardeid kasutatakse töötamiseks koos viisil, et spetsiifilised ärilised nõudmised saaks rahuldatud. [14]

Dokumendi eesmärk on saavutada edukas koostöö erinevate CGMES-i kasutatavate rakenduste vahel kõrgetasemelise sooritusega keskkonnas, kombineerituna vähima pingutusega viisil, et kõik vastavate ja oluliste äriliste protsesside nõudmised oleks rahuldatud. [14]

IEC 61970-600-2 defineerib profiilid, mis sisalduvad CGMES-is, mis põhinevad IEC 61970-450-seeriatel ja IEC 61968-13 profiilidel. See dokument viitab IEC 61970-450-seeriatele ja IEC 61968-13 failidele vaid juhtumitel, kui need on identsed. Kui viidatud profiile pole veel avaldatud, hõlmab dokument profiili kirjeldusi ja seotud piirangute definitsioone. Juhul kui CGMES fail loob piiranguid viidatud profiilile, siis ka neile piirangutele viidatakse antud dokumentides [15]. Käesolevas töös on rõhuasetus

eelkõige standardiosal IEC 61970-600-2, mille CGMES-is sisalduvatest failidest võetakse põhiline informatsioon selle kohta, kuidas on standardis reguleeritud pingejuhtimine.

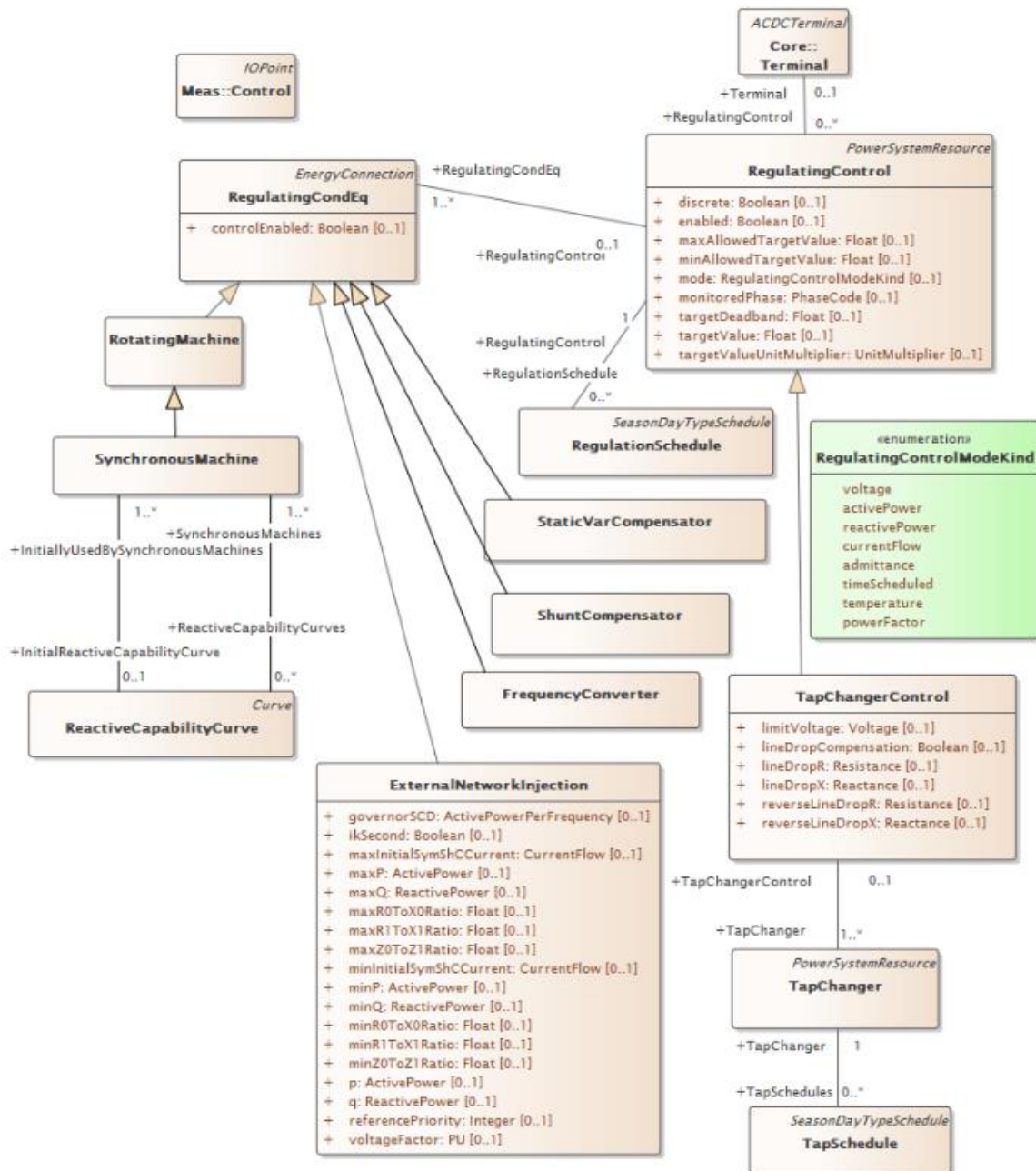
1.2.5 CIM-andmemudeli haldamine UML-kujul

Ühtne modelleerimiskeel (Unified Modeling Language) ehk UML objektihaldusgrupist ehk OMG-st (Object Management Group) lubab kasutajatel täpsustada, visualiseerida ja dokumenteerida tarkvara süsteeme. Kokku hõlmab see 12-t diagrammi tüüpi, mis lubab süsteemi disaini erinevaid aspekte visualiseerida. Ühise andmemudeli metamudel, mis on defineeritud CIM infrastruktuuri spetsifikatsioonis, on äärmiselt sarnane UML metamudelile. Kokkuvõttes võimaldab see kasutada standardseid ühtse modelleerimiskeele tööriistu, arendamiseks mistahes ühise andmemudeli standardis mudeleid ja skeeme. Täpsemalt on temaatikat käsitletud kirjanduses [16]

1.3 Pinge juhtimise meetodid standardis

Järgnevas alapeatükis vaadeldakse kõiki alapeatükis 1.1 kirjeldatud pinge juhtimisviiside kujutamist mudelis standardijärgselt, vastavalt IEC 61970-600-2 standardiosale, mis defineerib standardis kasutatavaid faile. Terve alljärgnev alapeatükk põhineb kahel allikal [15] [17] ehk IEC 61970-600-2 standardiosal ja TC57 poolt avalikustatud ühise modelleerimiskeele kujul olevas ühisel andmemudelil (ehk CIM-il), mille alusel standard IEC61970 on genereeritud. Nii UML diagramme kui ka kirjeldusi vaadatakse läbi Enterprise Architecti, kuvatakse struktuursemal ja lihtsamalt loetaval viisil.

Suures osas on nii pinge kui reaktiivvõimsuse juhtimisega seonduv ühises andmemudelis ja IEC standardis käsitletud **RegulatingControl** klassis. Selles klassis olevaid objekte ja nende vahelisi seoseid illustreerib järgnev diagramm joonisel 1.2.



Joonis 1.2 Reguleerivat kontrolli iseloomustav klassidiagramm [17]

RegulatingControl klass nagu juba mainitud, on oma olemuselt üsna läbiv klass oma atribuutidega paljude erinevate pingeuhtimise meetodite juurest, nagu nt elektrihaamades elektrimasinate pingeuhtimine, alajaamades trafode astmelülitite juures, ja ka mitmete teiste varasemalt kirjeldatud meetodite juures. Aja säästmise eesmärgil on **RegulatingControl** klassi atribuute kirjeldatud tabelis 1.1, vältimaks vajadust seda enamuste meetodite kirjeldamiseks uuesti teha. **RegulatingControl** ehk reguleeriv kontroll spetsifitseerib komplekti varustust, mis töötab koos, kontrollimaks elektrisüsteemi elemente, nagu pingeuhtimise või võimsusvoogu. [15]

Tabel 1.1 **RegulatingControl**-iga seotud atribuutide loetelu koos kirjeldustega [16]

Table 489 – Attributes of SteadyStateHypothesisProfile::RegulatingControl

name	mult	type	description
discrete	1..1	Boolean	The regulation is performed in a discrete mode. This applies to equipment with discrete controls, e.g. tap changers and shunt compensators.
enabled	1..1	Boolean	The flag tells if regulation is enabled.
targetDeadband	0..1	Float	This is a deadband used with discrete control to avoid excessive update of controls like tap changers and shunt compensator banks while regulating. The units of those appropriate for the mode. The attribute shall be a positive value or zero. If <code>RegulatingControl.discrete</code> is set to "false", the <code>RegulatingControl.targetDeadband</code> is to be ignored. Note that for instance, if the <code>targetValue</code> is 100 kV and the <code>targetDeadband</code> is 2 kV the range is from 99 to 101 kV.
targetValue	1..1	Float	The target value specified for case input. This value can be used for the target value without the use of schedules. The value has the units appropriate to the mode attribute.
targetValueUnitMultiplier	1..1	UnitMultiplier	Specify the multiplier for used for the <code>targetValue</code> .
maxAllowedTargetValue	0..1	Float	Maximum allowed target value (<code>RegulatingControl.targetValue</code>).
minAllowedTargetValue	0..1	Float	Minimum allowed target value (<code>RegulatingControl.targetValue</code>).
mRID	1..1	String	inherited from: <code>IdentifiedObject</code>

Teine sagedaselt kasutatav sarnane atribuutide klass paljude erinevate pingetuhtimise meetodite puhul on **RegulatingCondEq**, mis tähistab pingetuhtimist võimaldavaid seadmeid. Siin on tegemist mudelis pingetuhtida võimaldavate seadmetega sõlmedes, kus vastav seade seda teha saab. See klass annab seadmete kohta informatsiooni, kas seade võimaldab automaatselt pingetuhtida ja kas seade on töös või mitte. Vastavad atribuudid on kirjeldatud järgnevas tabelis 1.2.

Tabel 1.2 **RegulatingCondEq** klassi atribuutide tabel koos kirjeldustega [16]

Table 488 – Attributes of SteadyStateHypothesisProfile::RegulatingCondEq

name	mult	type	description
controlEnabled	1..1	Boolean	Specifies the regulation status of the equipment. True is regulating, false is not regulating.
inService	1..1	Boolean	inherited from: <code>Equipment</code>
mRID	1..1	String	inherited from: <code>IdentifiedObject</code>

Oluline klass, mis vajab kirjeldamist, on **IdentifiedObject**. Klass pole otseselt seotud pingetuhtimisega, vaid väga paljude mudelis kasutatavates klassides on identifitseerimisega seotud atribuute mainitud klassist ja sellest tulenevalt on mõistlik need atribuudid oma kirjeldustega välja tuua järgnevas tabelis 1.3.

Tabel 1.3 **IdentifiedObject** klassi atribuudid kirjeldustega [16]

Table 152 – Attributes of CoreEquipmentProfile::IdentifiedObject

name	mult	type	description
description	0..1	String	The description is a free human readable text describing or naming the object. It may be non unique and may not correlate to a naming hierarchy.
energyIdentCodeEic	0..1	String	(deprecated,European) The attribute is used for an exchange of the EIC code (Energy identification Code). The length of the string is 16 characters as defined by the EIC code. For details on EIC scheme please refer to ENTSO-E web site.
mRID	1..1	String	Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC 4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended. For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552, the mRID is mapped to rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.
name	1..1	String	The name is any free human readable and possibly non unique text naming the object.
shortName	0..1	String	(deprecated,European) The attribute is used for an exchange of a human readable short name with length of the string 12 characters maximum.

1.3.1 Pinge juhtimine sünkroonjaamades

Alustuseks uurime, kuidas sünkroonjaamu, täpsemalt väljendades sünkroonmasinaid, mudelis kujutatakse ja milliseid atribuute on sellele omistatud, et seejärel uurida, millised neist atribuutidest on päriselt seotud pinge juhtimisega.

SynchronousMachine ehk sünkroonmasin on mudelis elektro-mehhaaniline seade, mis opereerib sünkroonselt võrgu sagedusega. Järgnevalt on tabelis 1.4 ära toodud nii sünkroonmasina enda atribuudid kui ka klassid, millelt sünkroonmasin endale pärib.

Tabel 1.4 Sünkroonmasina atribuudid ja neilt päritavad klassid [16]

Table 264 – Attributes of CoreEquipmentProfile::SynchronousMachine

name	mult	type	description
maxQ	0..1	ReactivePower	Maximum reactive power limit. This is the maximum (nameplate) limit for the unit.
minQ	0..1	ReactivePower	Minimum reactive power limit for the unit.
qPercent	0..1	PerCent	Part of the coordinated reactive control that comes from this machine. The attribute is used as a participation factor not necessarily summing up to 100% for the participating devices in the control.
type	1..1	SynchronousMachineKind	Modes that this synchronous machine can operate in.
ratedPowerFactor	0..1	Float	inherited from: RotatingMachine
ratedS	0..1	ApparentPower	inherited from: RotatingMachine
ratedU	0..1	Voltage	inherited from: RotatingMachine
aggregate	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
normallyInService	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
energyIdentCodeEic	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
shortName	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject

Table 265 shows all association ends of SynchronousMachine with other classes.

Table 265 – Association ends of CoreEquipmentProfile::SynchronousMachine with other classes

mult from	name	mult to	type	description
1..*	InitialReactiveCapabilityCurve	0..1	ReactiveCapabilityCurve	The default reactive capability curve for use by a synchronous machine.
1..*	GeneratingUnit	0..1	GeneratingUnit	inherited from: RotatingMachine
0..*	RegulatingControl	0..1	RegulatingControl	inherited from: RegulatingCondEq
0..*	BaseVoltage	0..1	BaseVoltage	inherited from: ConductingEquipment
0..*	EquipmentContainer	0..1	EquipmentContainer	inherited from: Equipment

Juhul kui mudelis on pinget juhtimine lubatud, siis vastavalt eelnevale skeemile, teostatakse võrgumudeli elektrijaamades pöörlevate sünkroonmasinate juhtimist läbi klassi **RegulatingControl**.

Standardis on kirjeldatud laialdaselt erinevaid ergutusüsteeme, mille abil elektrijaamade generaatorite juures nõutavat pingetaset hoitakse. Oluline klass, mis on seotud regulatsiooniga elektrijaamade juurest, on **ReactiveCapabilityCurve**. See seade väärtus sätestab reaktiivvõimsuse vastavalt sünkroonmasina aktiivvõimsusele, seda nii generaatori kui mootori töörežiimil. Igale aktiivvõimsuse näidule antakse vastav

maksimaalne ja minimaalne reaktiivvõimsuse limiit. **ReactivityCapabilityCurve** atribuudid kirjeldustega on esitatud tabelis 1.5.

Tabel 1.5 **ReactiveCapabilityCurve** atribuudid koos kirjeldustega [16]

Table 225 – Attributes of CoreEquipmentProfile::ReactiveCapabilityCurve

name	mult	type	description
curveStyle	1..1	CurveStyle	inherited from: Curve
xUnit	1..1	UnitSymbol	inherited from: Curve
y1Unit	1..1	UnitSymbol	inherited from: Curve
y2Unit	0..1	UnitSymbol	inherited from: Curve
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
energyIdentCodeEic	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
shortName	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject

Nagu selgub, siis **ReactiveCapabilityCurve** pärib oma olulisimad atribuudid objektiklassilt **Curve**. **Curve** on mitmete rakendustega funktsionaalne iseseisva muutujana (X-teljel) ja sõltuva muutuja (Y-teljel) vahel. **Curve** atribuudid on toodud järgnevalt tabelis 1.6.

Tabel 1.6 **Curve** klassi atribuudid ja nende kirjeldused [16]

Table 76 – Attributes of CoreEquipmentProfile::Curve

name	mult	type	description
curveStyle	1..1	CurveStyle	The style or shape of the curve.
xUnit	1..1	UnitSymbol	The X-axis units of measure.
y1Unit	1..1	UnitSymbol	The Y1-axis units of measure.
y2Unit	0..1	UnitSymbol	The Y2-axis units of measure.
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
energyIdentCodeEic	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
shortName	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject

Ergutuse käsitlemine algab standardi alapeatükk 14.3.3.9 juurest standardis [15]. Nimetatud mudeli dünaamika osa enesest IGM-ide ehk individuaalsete võrgumudelite koosseisus üles ei laeta, ja seega käesoleva töö praktilises osas ergutust eraldi analüüsida pole võimalik. Kuid kuna see siiski on seotud elektrimasina pinge juhtimise ja selle võimaldamisega, on vastavalt standardile toodud teatav ülevaade sellest, kuidas see standardijärgselt peaks mudelis kujutatud olema. Ergutussüsteemi mudel annab

sünkroonmasina mudelile väljapinge. Parameetrid on erinevad igale erinevale ergutussüsteemi mudelile ja samadel parameetri nimel võib olla erinevates mudelites eri tähendus.

Järgneval joonisel 1.3, mis on võetud kõnealusest standardist, on ergutussüsteemi omavahelisi seoseid ja muutujaid visualiseeritud ning muutujaid on ka kirjeldatud.

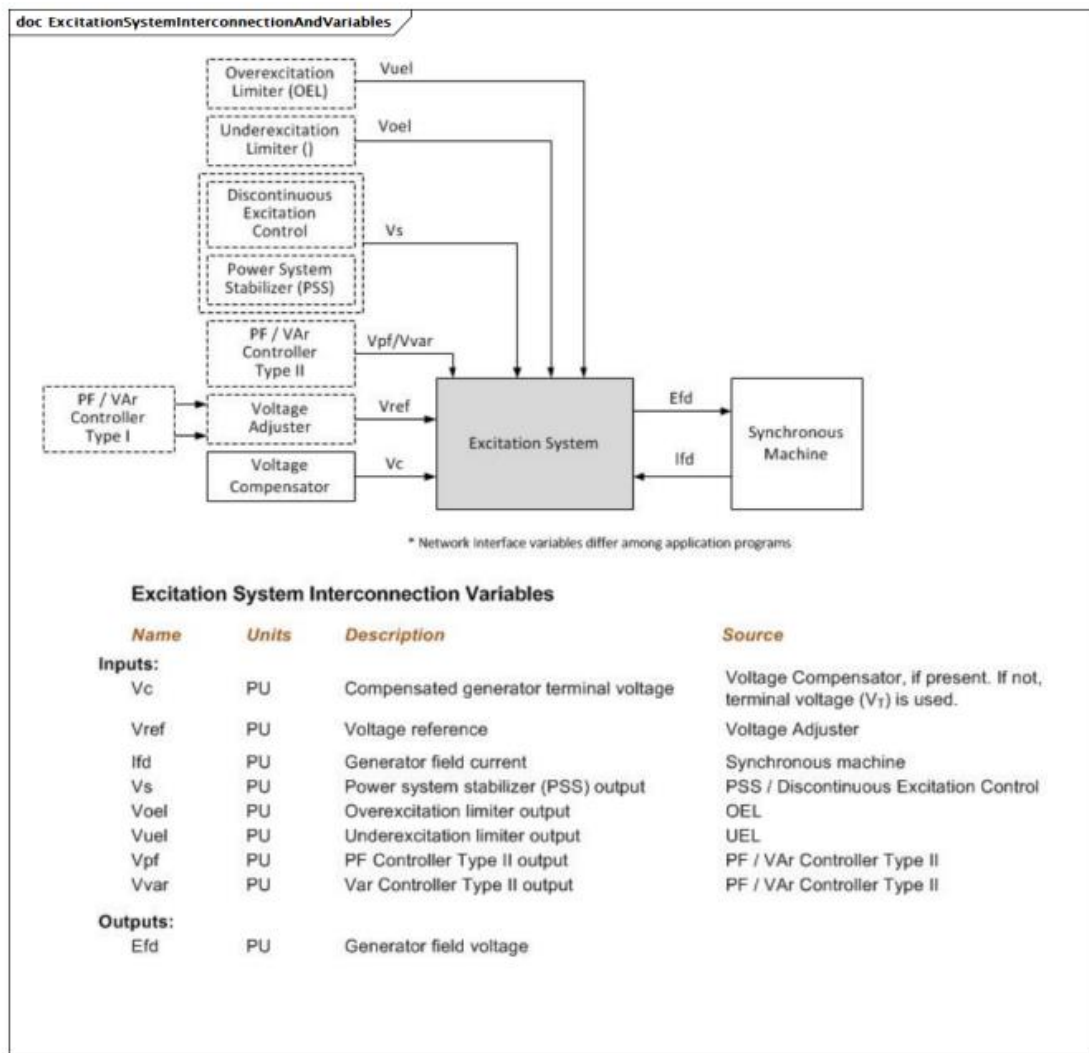


Figure 139 – ExcitationSystemInterconnectionAndVariables

Joonis 1.3 Mudelis kujutatava ergutussüsteemi omavahelised seosed ja muutujad [15]

Ergutussüsteemide tüüpe on arvukalt ja sellest tulenevalt võib nendega seotud muutujate koosseis piiratud ulatuses üksteisest erineda. Käesolevas töös ei ole mõistlik neist igaühte detailselt kirjeldada ja keskendutud on ainult standardis olevale esimesele näitele tüübiga AC1A. Vastavalt IEEE standardile 421.5:2005 esindab tüüp AC1A mudel

ergutussüsteemi, mis koosneb vaheldi peaergutist koos mittejuhitavate alalditega. Sellega seotud atribuutidest ja nende kirjeldustest on alljärgnevas tabelis 1.7.

Tabel 1.7 AC1A ergutussüsteemi mudeli atribuudid ja nende kirjeldused [15]

name	mult	type	description
tb	1..1	Seconds	Voltage regulator time constant (TB) (≥ 0). Typical value = 0.
tc	1..1	Seconds	Voltage regulator time constant (TC) (≥ 0). Typical value = 0.
ka	1..1	PU	Voltage regulator gain (KA) (> 0). Typical value = 400.
ta	1..1	Seconds	Voltage regulator time constant (TA) (> 0). Typical value = 0,02.
vamax	1..1	PU	Maximum voltage regulator output (VAMAX) (> 0). Typical value = 14,5.
vamin	1..1	PU	Minimum voltage regulator output (VAMIN) (< 0). Typical value = -14,5.
te	1..1	Seconds	Exciter time constant, integration rate associated with exciter control (TE) (> 0). Typical value = 0,8.
kf	1..1	PU	Excitation control system stabilizer gains (KF) (≥ 0). Typical value = 0,03.
tf	1..1	Seconds	Excitation control system stabilizer time constant (TF) (> 0). Typical value = 1.
kc	1..1	PU	Rectifier loading factor proportional to commutating reactance (KC) (≥ 0). Typical value = 0,2.
kd	1..1	PU	Demagnetizing factor, a function of exciter alternator reactances (KD) (≥ 0). Typical value = 0,38.
ke	1..1	PU	Exciter constant related to self-excited field (KE). Typical value = 1.
ve1	1..1	PU	Exciter alternator output voltages back of commutating reactance at which saturation is defined (VE1) (> 0). Typical value = 4,18.
seve1	1..1	Float	Exciter saturation function value at the corresponding exciter voltage, VE1, back of commutating reactance (SE[VE1]) (≥ 0). Typical value = 0,1.
ve2	1..1	PU	Exciter alternator output voltages back of commutating reactance at which saturation is defined (VE2) (> 0). Typical value = 3,14.
seve2	1..1	Float	Exciter saturation function value at the corresponding exciter voltage, VE2, back of commutating reactance (SE[VE2]) (≥ 0). Typical value = 0,03.
vrmax	1..1	PU	Maximum voltage regulator outputs (VRMAX) (> 0). Typical value = 6,03.
vrmin	1..1	PU	Minimum voltage regulator outputs (VRMIN) (< 0). Typical value = -5,43.
enabled	1..1	Boolean	inherited from: DynamicsFunctionBlock
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject

Standardi järgselt on kirjeldatud ka üle-ergutuse ja ala-ergutuse piirajate dünaamika mudelis. Üle-ergutuse piirajaid (overexcitation limiters ehk OEL) nimetatakse ka maksimaalse ergutuse piirajateks ja väljavoolu piirajateks. Pingekollapsi võimalus häiritud elektrisüsteemis suurendab selliste piirajate modelleerimise tähtsust. Seda tehakse uurimaks mudelites olevaid elektrimasinaid, mis töötavad raskendatud tingimustes pika aja jooksul, näiteks kui toimub pingekollaps või süsteemi saarestumine. Järgneval joonisel 1.4 on klasside diagramm üle-ergutuse piirajate dünaamika süsteemi klasside omavaheliste seoste kohta.

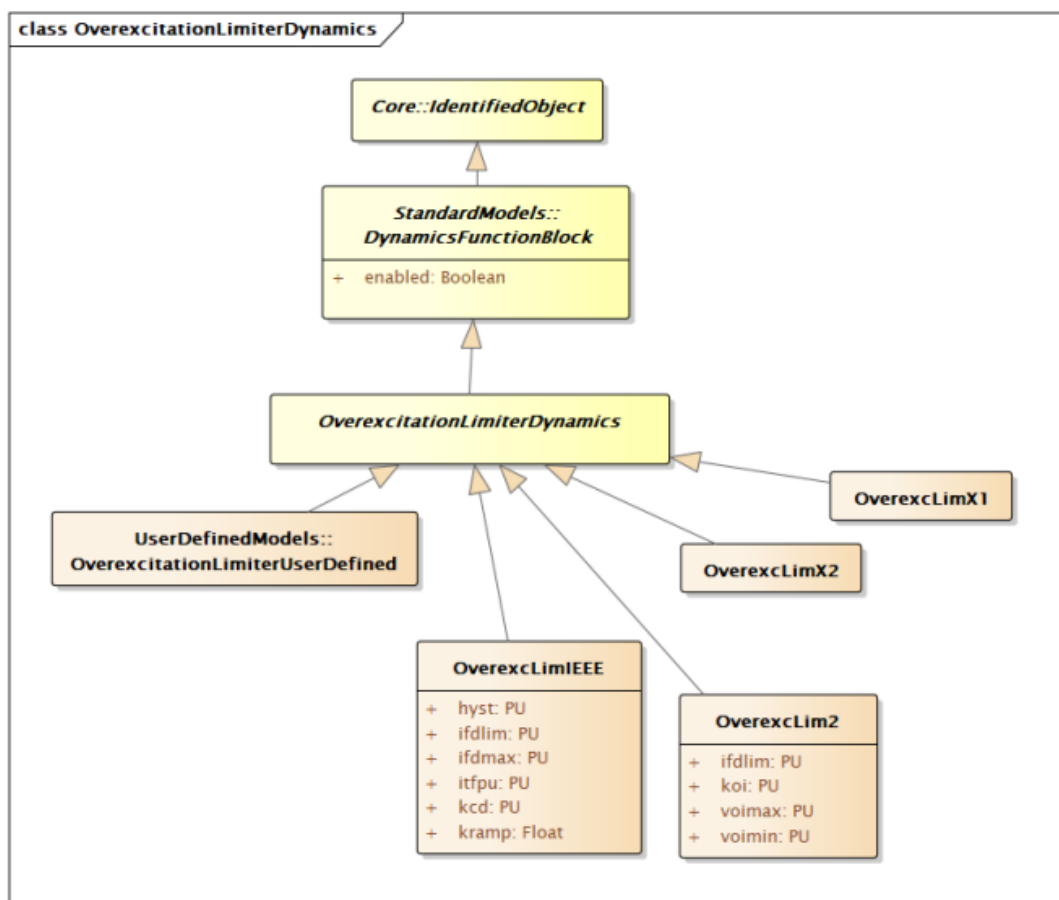


Figure 178 – Class diagram **OverexcitationLimiterDynamics::OverexcitationLimiterDynamics**

Joonis 1.4 Üle-ergutuse piiraja dünaamika modelleerimisel kasutatavate klasside omavahelised seosed [15]

Järgnevalt teeme ülevaate ka üle-ergutuse piiraja dünaamikat kirjeldatavatest muutujatest ja nende kirjeldustest tabelis 1.8.

Tabel 1.8 Üle-ergutussüsteemi atribuutide tabel koos kirjeldustega [15]

Table 870 – Attributes of OverexcitationLimiterDynamics::OverexclimIEEE

name	mult	type	description
itfpu	1..1	PU	OEL timed field current limiter pickup level (ITFPU). Typical value = 1,05.
ifdmax	1..1	PU	OEL instantaneous field current limit (IFDMAX). Typical value = 1,5.
ifdlim	1..1	PU	OEL timed field current limit (IFDLIM). Typical value = 1,05.
hyst	1..1	PU	OEL pickup/drop-out hysteresis (HYST). Typical value = 0,03.
kcd	1..1	PU	OEL cooldown gain (KCD). Typical value = 1.
kramp	1..1	Float	OEL ramped limit rate (KRAMP). Unit = PU / s. Typical value = 10.
enabled	1..1	Boolean	inherited from: DynamicsFunctionBlock
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject

Ala-ergutuse piirajad (UEL - underexcitation limiter) käituvad ergutuse võimendajatena. UEL tüüpiliselt tajub kas sünkroonmasina pingest ja voolust või kombinatsiooni aktiiv- ja reaktiivvõimsusest. Mõned UEL-id kasutavad ära temperatuuri või rõhu rekaliibreerimise võimet, mille puhul UEL-i karakteristik nihkub sõltuvalt generaatorit jahutava gaasi temperatuurist või rõhust [15]. Alljärgneval klasside diagrammil joonisel 1.5 on toodud välja ala-ergutuse piiraja dünaamika klasside omavahelised seosed mudelis.

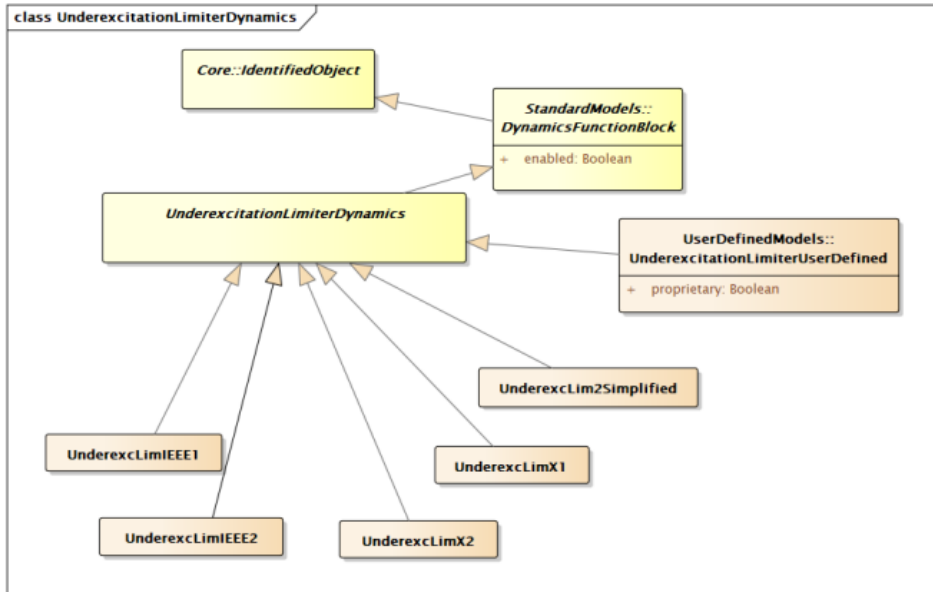


Figure 184 – Class diagram UnderexcitationLimiterDynamics:: UnderexcitationLimiterDynamics

Joonis 1.5 Ala-ergutuse piiraja dünaamika klasside omavaheliste seoste diagramm mudelis [15]

Ala-ergutusega seotud atribuutide tabel ja nende kirjeldused on toodud alljärgnevas tabelis 1.9.

Tabel 1.9 Ala-ergutuse süsteemi atribuudid ja nende kirjeldused [16]

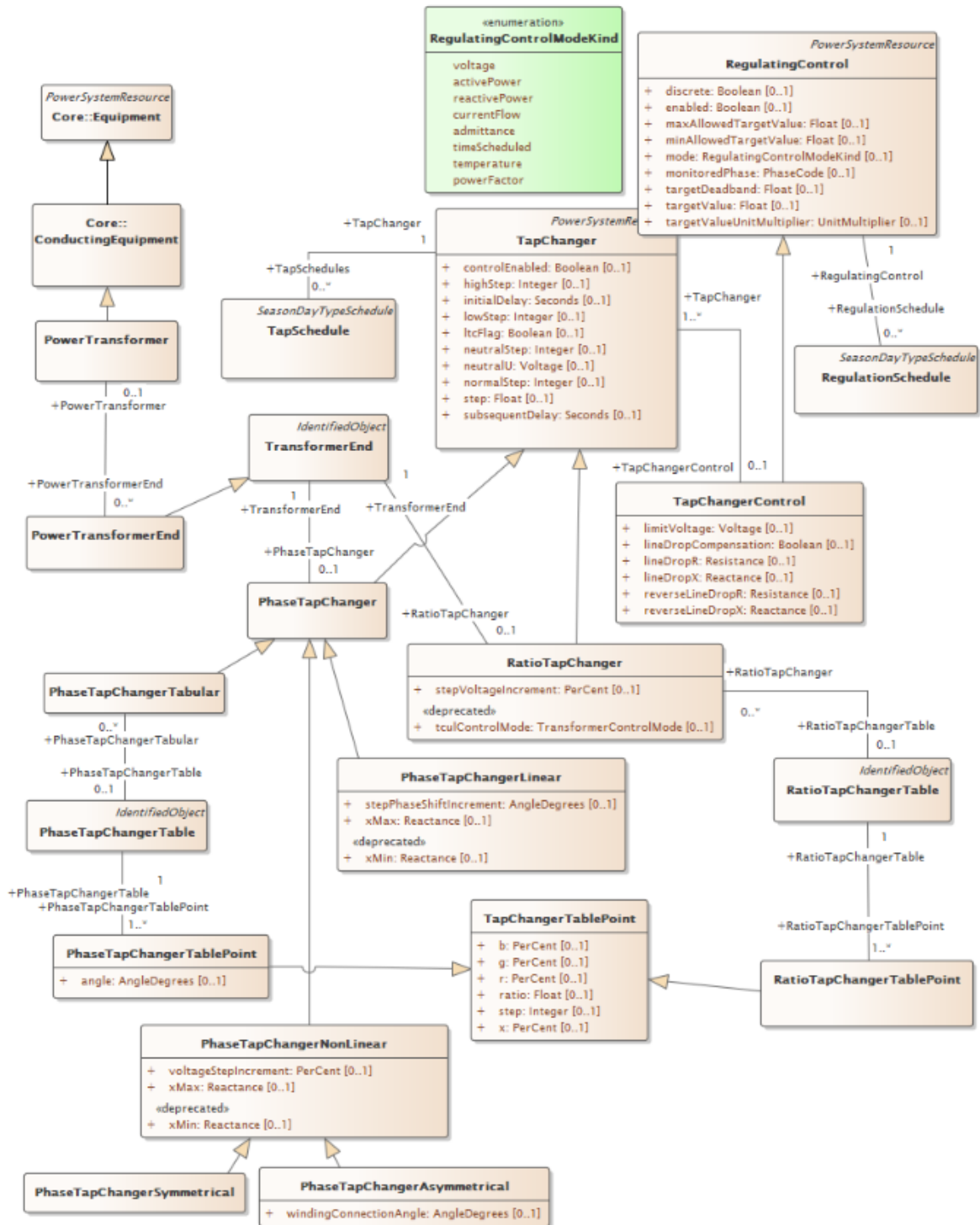
Table 880 – Attributes of UnderexcitationLimiterDynamics::UnderexcLimIEEE1

name	mult	type	description
kur	1..1	PU	UEL radius setting (KUR). Typical value = 1,95.
kuc	1..1	PU	UEL centre setting (KUC). Typical value = 1,38.
kuf	1..1	PU	UEL excitation system stabilizer gain (KUF). Typical value = 3,3.
vurmax	1..1	PU	UEL maximum limit for radius phasor magnitude (VURMAX). Typical value = 5,8.
vucmax	1..1	PU	UEL maximum limit for operating point phasor magnitude (VUCMAX). Typical value = 5,8.
kui	1..1	PU	UEL integral gain (KUI). Typical value = 0.
kul	1..1	PU	UEL proportional gain (KUL). Typical value = 100.
vuimax	1..1	PU	UEL integrator output maximum limit (VUIMAX) (> UnderexcLimIEEE1.vuimin).
vuimin	1..1	PU	UEL integrator output minimum limit (VUIMIN) (< UnderexcLimIEEE1.vuimax).
tu1	1..1	Seconds	UEL lead time constant (TU1) (>= 0). Typical value = 0.
tu2	1..1	Seconds	UEL lag time constant (TU2) (>= 0). Typical value = 0,05.
tu3	1..1	Seconds	UEL lead time constant (TU3) (>= 0). Typical value = 0.
tu4	1..1	Seconds	UEL lag time constant (TU4) (>= 0). Typical value = 0.
vulmax	1..1	PU	UEL output maximum limit (VULMAX) (> UnderexcLimIEEE1.vulmin). Typical value = 18.
vulmin	1..1	PU	UEL output minimum limit (VULMIN) (< UnderexcLimIEEE1.vulmax). Typical value = -18.
enabled	1..1	Boolean	inherited from: DynamicsFunctionBlock
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject

Lisaks saab käsitletud ka automaatse ergutusregulaatori (eesti k lüh AER, inglise k AVR ehk automatic voltage regulator) käsitust mudelist. Kusjuures AER-i roll on ära märgitud ka standardis teiste oluliste pingeregulaatorite juures, näiteks suntkompensaatorite juures on väljatoodud AER-i ajaviide. Konkreetsemalt on AER standardis kirjeldatud mitme erineva ergutussüsteemi mudeli juures nagu nt AC8B ja ST7B ergutussüsteemide mudelid. AC8B juures kirjeldab standard, kuidas AVR koosneb mudelis PID kontrolleriist koos erinevate konstantidega, sh proportsionaalne, integraalne ja tuletuslik konstant.

1.3.2 Pinge juhtimine trafodes

Pinge juhtimist võimaldavateks mehhanismideks trafodes on astmelülitid. Trafo astmelülititega seotud klasside diagramm on vastavalt standardile esitatud joonisel 1.7. Siin päritakse tähtsamad seadeväärtused **TapChangerControl** klassist, mis omakorda pärib oma tähtsamad atribuudid **RegulatingControl** klassist, mille tööpõhimõtteid on juba eelnevalt kirjeldatud. Astmelülitite ehk **TapChangerite** klassi atribuuditest ja vahelised seosed teiste klassidega on toodud joonisel 1.6.



TapChanger : Class diagram

Joonis 1.6 Klasside diagramm varustuse failis astmelülitite kohta [17]

Astmelülitite all mõistetakse mudelis mehhanismi, mille abil muudetakse trafo mähisel trafo astet. Järgnevas tabelis 1.10 loetletakse kõik astmelülitite atribuudid koos kirjeldustega.

Tabel 1.10 Astmelüliti atribuudid mudelis koos kirjeldustega [15]

Table 266 – Attributes of CoreEquipmentProfile::TapChanger

name	mult	type	description
highStep	1..1	Integer	Highest possible tap step position, advance from neutral. The attribute shall be greater than lowStep.
lowStep	1..1	Integer	Lowest possible tap step position, retard from neutral.
ltcFlag	1..1	Boolean	Specifies whether or not a TapChanger has load tap changing capabilities.
neutralStep	1..1	Integer	The neutral tap step position for this winding. The attribute shall be equal to or greater than lowStep and equal or less than highStep. It is the step position where the voltage is neutralU when the other terminals of the transformer are at the ratedU. If there are other tap changers on the transformer those taps are kept constant at their neutralStep.
neutralU	1..1	Voltage	Voltage at which the winding operates at the neutral tap setting. It is the voltage at the terminal of the PowerTransformerEnd associated with the tap changer when all tap changers on the transformer are at their neutralStep position. Normally neutralU of the tap changer is the same as ratedU of the PowerTransformerEnd, but it can differ in special cases such as when the tapping mechanism is separate from the winding more common on lower voltage transformers. This attribute is not relevant for PhaseTapChangerAsymmetrical, PhaseTapChangerSymmetrical and PhaseTapChangerLinear.
normalStep	1..1	Integer	The tap step position used in "normal" network operation for this winding. For a "Fixed" tap changer indicates the current physical tap setting. The attribute shall be equal to or greater than lowStep and equal to or less than highStep.
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
energyIdentCodeEic	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
shortName	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject

Oluline on ka astmelüliti kontrollid (eesti terminoloogias pingeregulaator). Astmelüliti kontrollid ehk pingeregulaator kirjeldab astmelülitele omast käitumist, kuidas pinge liini lõpus sõltub koormuse tasemest ja pinge languse kompenseerimisest läbi astme vastava muutmise. Astmelüliti kontrollidega seotud atribuudid oma kirjeldustega on esitatud tabelis 1.11. Tabelist on näha, et kõik tähtsamad parameetrid päritakse **RegulatingControl** klassist. Vastavate atribuutide kirjeldused on päritud **RegulatingControl** juurest ja kirjeldatud juba peatüki 1.3 alguses tabelis 1.1.

Tabel 1.11 Astmelüli kontrolleri atribuudid koos kirjeldustega [15]

Table 498 – Attributes of SteadyStateHypothesisProfile::TapChangerControl

name	mult	type	description
discrete	1..1	Boolean	inherited from: RegulatingControl
enabled	1..1	Boolean	inherited from: RegulatingControl
targetDeadband	0..1	Float	inherited from: RegulatingControl
targetValue	1..1	Float	inherited from: RegulatingControl
targetValueUnitMultiplier	1..1	UnitMultiplier	inherited from: RegulatingControl
maxAllowedTargetValue	0..1	Float	inherited from: RegulatingControl
minAllowedTargetValue	0..1	Float	inherited from: RegulatingControl
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject

Pinge reguleerimise seisukohast on oluline ka astmete graafik, ehk kuidas muudetakse trafo astmeid graafikus. Vastava graafiku atribuutide tabel 1.12 on järgnev.

Tabel 1.12 Astmelüli graafiku atribuutide tabel koos kirjeldustega [15]

Table 9 – Attributes of CoreEquipmentProfile::TapSchedule

name	mult	type	description
timeStep	1..1	Seconds	inherited from: RegularIntervalSchedule
endTime	1..1	DateTime	inherited from: RegularIntervalSchedule
startTime	1..1	DateTime	inherited from: BasicIntervalSchedule
value1Unit	1..1	UnitSymbol	inherited from: BasicIntervalSchedule
value2Unit	0..1	UnitSymbol	inherited from: BasicIntervalSchedule
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
energyIdentCodeEic	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
shortName	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject

1.3.3 Pinge juhtimine põikikompensaatoritega

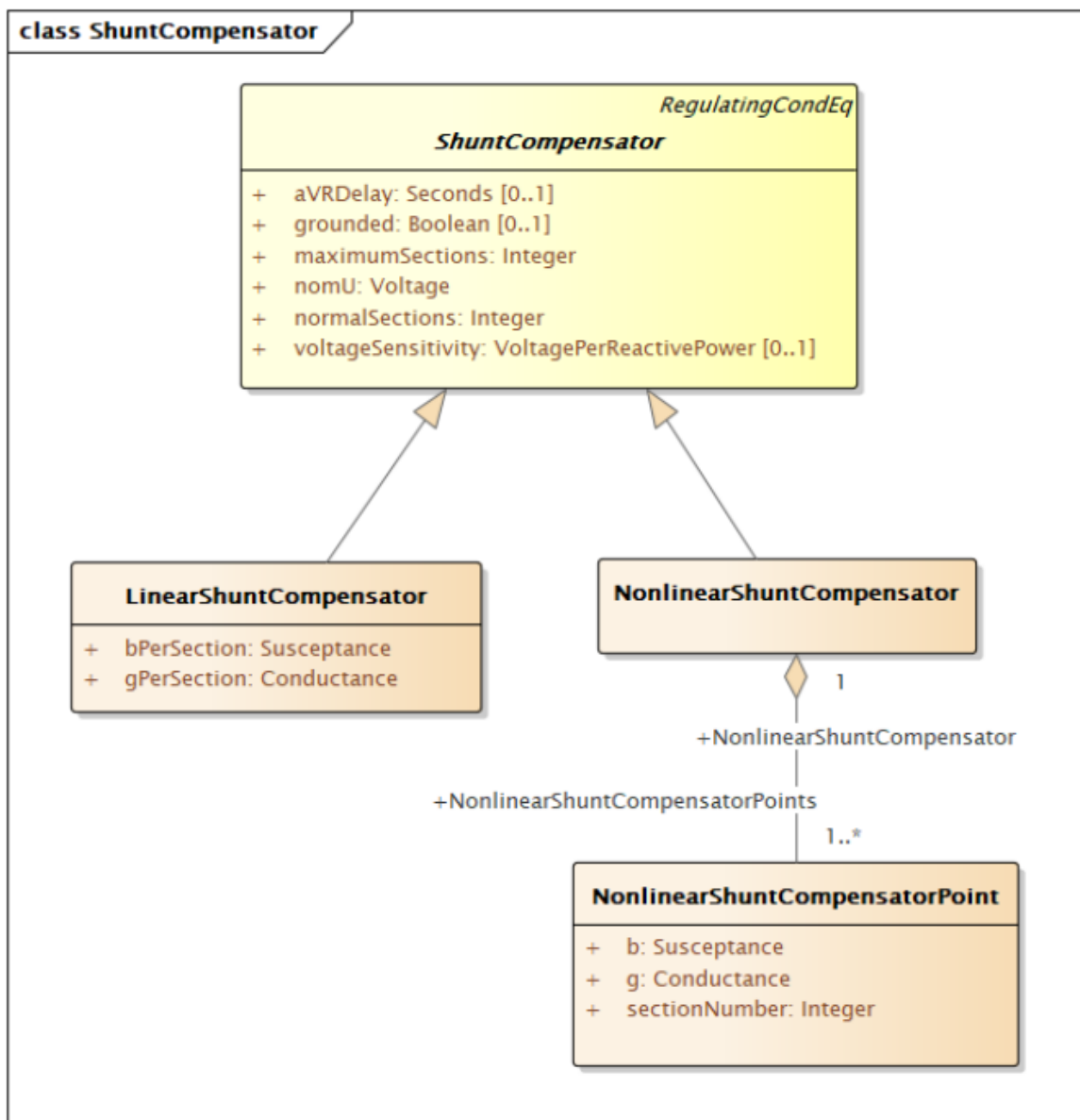


Figure 20 – Class diagram CoreEquipmentProfile::ShuntCompensator

Joonis 1.7 Põikikompensaatorite kujutus võrgumudelites [15]

Põikikompensaatorite vahelisi seoseid iseloomustab ülalolev skeem joonisel 1.7. Standardist selgub, et klassidena pole võrgumudelil nimeliselt eristust reaktorite ja kondensaatorite vahel, vaid on ühendnimetus „suntkompensaator“. Vastavalt standardile **ShuntCompensator** on suntkondensaator või -reaktor -või lülitatav pank suntkondensaatoritest või reaktoritest. Suntkompensaatori sektsioon on individuaalne kondensaator või reaktor. Selle struktuuriüksuse all on nii põiki- kui pikikondensaatorid kui ka -reaktorid. Negatiivne väärtus **bPerSection** juures näitab, et kompensaator töötab reaktorina. Suntkompensaatori atribuudid varustuse (EQ – equipment) profiilis on

esitatud koos klassidega tabelis 1.13, millele suntkompensaator standardi järgselt viidata saab.

Tabel 1.13 Varustuse (EQ) profiilist saab suntkompensaator atribuudid kirjeldustega ja klassid, millele suntkompensaator viidata saab [15]

Table 243 – Attributes of CoreEquipmentProfile::ShuntCompensator

name	mult	type	description
aVRDelay	0..1	Seconds	An automatic voltage regulation delay (aVRDelay) which is the time delay from a change in voltage to when the capacitor is allowed to change state. This filters out temporary changes in voltage.
grounded	0..1	Boolean	Used for Yn and Zn connections. True if the neutral is solidly grounded.
maximumSections	1..1	Integer	The maximum number of sections that may be switched in.
nomU	1..1	Voltage	The voltage at which the nominal reactive power may be calculated. This should normally be within 10 % of the voltage at which the capacitor is connected to the network.
normalSections	1..1	Integer	The normal number of sections switched in. The value shall be between zero and ShuntCompensator.maximumSections.
voltageSensitivity	0..1	VoltagePerReactivePower	Voltage sensitivity required for the device to regulate the bus voltage, in voltage/reactive power.
aggregate	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
normallyInService	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
energyIdentCodeEic	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
shortName	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject

Table 244 shows all association ends of ShuntCompensator with other classes.

Table 244 – Association ends of CoreEquipmentProfile::ShuntCompensator with other classes

mult from	name	mult to	type	description
0..*	RegulatingControl	0..1	RegulatingControl	inherited from: RegulatingCondEq
0..*	BaseVoltage	0..1	BaseVoltage	inherited from: ConductingEquipment
0..*	EquipmentContainer	0..1	EquipmentContainer	inherited from: Equipment

Nagu selgub, siis ka kõik suntkompensaatorid saavad viidata **RegulatingControl**-ile, mille seadistused määravad olulisel määral kas ja kuidas vastaval seadmel mudelis pinget on võimalik juhtida. **RegulatingControl**-i sai kirjeldatud varasemalt, mistõttu seda siin ei korrata.

Järgnevalt on ära toodud ka suntkompensaatori atribuudid püsitalitluse hüpoteesi (SSH ehk steady state hypothesis) profiilist tabelis 1.14.

Tabel 1.14 Suntkompensaatori atribuudid kirjeldustega püsitalitluse hüpoteesi profiilis [15]

Table 491 – Attributes of SteadyStateHypothesisProfile::ShuntCompensator

name	mult	type	description
sections	1..1	Float	<p>Shunt compensator sections in use. Starting value for steady state solution. The attribute shall be a positive value or zero. Non integer values are allowed to support continuous variables. The reasons for continuous value are to support study cases where no discrete shunt compensators has yet been designed, a solutions where a narrow voltage band force the sections to oscillate or accommodate for a continuous solution as input.</p> <p>For LinearShuntCompensator the value shall be between zero and ShuntCompensator.maximumSections. At value zero the shunt compensator conductance and admittance is zero. Linear interpolation of conductance and admittance between the previous and next integer section is applied in case of non-integer values.</p> <p>For NonlinearShuntCompensator-s shall only be set to one of the NonlinearShuntCompensatorPoint.sectionNumber. There is no interpolation between NonlinearShuntCompensatorPoint-s.</p>
controlEnabled	1..1	Boolean	inherited from: RegulatingCondEq
inService	1..1	Boolean	inherited from: Equipment
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject

Esmalt saab kirjeldatud **NonLinearShuntCompensator** ehk mittelineaarse põikikompensaatori atribuute tabelist 1.15.

Tabel 1.15 **NonLinearShuntCompensator** ehk pöikikondensaatorite atribuudid [15]

Table 173 – Attributes of CoreEquipmentProfile::NonlinearShuntCompensator

name	mult	type	description
aVRDelay	0..1	Seconds	inherited from: ShuntCompensator
grounded	0..1	Boolean	inherited from: ShuntCompensator
maximumSections	1..1	Integer	inherited from: ShuntCompensator
nomU	1..1	Voltage	inherited from: ShuntCompensator
normalSections	1..1	Integer	inherited from: ShuntCompensator
voltageSensitivity	0..1	VoltagePerReactivePower	inherited from: ShuntCompensator
aggregate	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
normallyInService	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
energyIdentCodeEic	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
shortName	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject

LinearShuntCompensator ehk lineaarne pöikikompensaator, millel on sektsioonid võrdsete juhtivustega seeriates. Selle atribuudid on esitatud tabelis 1.16.

Tabel 1.16 Lineaarse pöikikompensaatori atribuudid ja nende seletused [15]

Table 159 – Attributes of CoreEquipmentProfile::LinearShuntCompensator

name	mult	type	description
bPerSection	1..1	Susceptance	Positive sequence shunt (charging) susceptance per section.
gPerSection	1..1	Conductance	Positive sequence shunt (charging) conductance per section.
aVRDelay	0..1	Seconds	inherited from: ShuntCompensator
grounded	0..1	Boolean	inherited from: ShuntCompensator
maximumSections	1..1	Integer	inherited from: ShuntCompensator
nomU	1..1	Voltage	inherited from: ShuntCompensator
normalSections	1..1	Integer	inherited from: ShuntCompensator
voltageSensitivity	0..1	VoltagePerReactivePower	inherited from: ShuntCompensator
aggregate	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
normallyInService	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
energyIdentCodeEic	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
shortName	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject

1.3.4 Pinge juhtimine sünkroonkompensaatoritega

Sünkroonkompensaatoritega pinge juhtimine pole vastavalt standardile mudelis kirjeldatud eraldi objektina, vaid on mudelis sünkroonmasina alaliigina. Sünkroonmasina atribuute on varasemalt kirjeldatud, mistõttu seda siin uuesti ei tehta. Standardis tuuakse välja, et sünkroonkompensaator on üks juhtumitest, kus sünkroonmasinat ei vaadelda koos tootva üksusega (**GeneratingUnit**), sest sünkroonkompensaatoril puudub võimalus aktiivvõimsust toota ja et sünkroonmasina kasutamisel sünkroonkompensaatorina tohib vaid kasutada sünkroonmasina tüüpi „condenser“ ehk kondensaator ning teised valikud pole lubatud.

1.3.5 SVC-de ja STATCOM-ide kasutus pinge juhtimiseks

SVC-na ehk staatilise VAR kompensaatorina mõistetakse standardi järgselt mudelis seadet, mis varustab võrku varieeruvat ja kontrollitavat reaktiivvõimsust. Tavaliselt koosneb SVC trafost, filtrist, türistoridega juhitavast reaktorist ja türistoridega lülitatavatest kondensaatori harudest. SVC võib opereerida fikseeritud reaktiivvõimsuse väljaandmise või pinge juhtimise režiimil. Pinge juhtimisel on SVC väljund proportsionaalne pinge kaldumisega kontrollitavas sõlmes, võrreldes pinge lähtepunktiga, ja kui pinge juhitavas sõlmes võrdub pinge lähtepunktiga, on SVC väljundis on reaktiivvõimsus null. SVC atribuudid koos kirjeldustega on esitatud tabelis 1.18 ja sisaldab samuti klasse, mille juurde SVC juurest viidatakse. **SVCControlMode** atribuudi võimalikud väärtused on järgnevalt tabelis 1.19.

Tabel 1.17 SVC atribuudid ja nende kirjeldused ja klassid, milledele SVC juures viidatakse [15]

Table 248 – Attributes of CoreEquipmentProfile::StaticVarCompensator

name	mult	type	description
capacitiveRating	1..1	Reactance	Capacitive reactance at maximum capacitive reactive power. Shall always be positive.
inductiveRating	1..1	Reactance	Inductive reactance at maximum inductive reactive power. Shall always be negative.
slope	1..1	VoltagePerReactivePower	The characteristics slope of an SVC defines how the reactive power output changes in proportion to the difference between the regulated bus voltage and the voltage setpoint. The attribute shall be a positive value or zero.
sVCControlMode	0..1	SVCControlMode	(deprecated) SVC control mode.
voltageSetPoint	0..1	Voltage	(deprecated) The reactive power output of the SVC is proportional to the difference between the voltage at the regulated bus and the voltage setpoint. When the regulated bus voltage is equal to the voltage setpoint, the reactive power output is zero.
aggregate	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
normallyInService	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
energyIdentCodeEic	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
shortName	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject

Table 249 shows all association ends of StaticVarCompensator with other classes.

Table 249 – Association ends of CoreEquipmentProfile::StaticVarCompensator with other classes

mult from	name	mult to	type	description
0..*	RegulatingControl	0..1	RegulatingControl	inherited from: RegulatingCondEq
0..*	BaseVoltage	0..1	BaseVoltage	inherited from: ConductingEquipment
0..*	EquipmentContainer	0..1	EquipmentContainer	inherited from: Equipment

Tabel 1.18 SVC kontrollrežiimi võimalikud variandid [16]

Table 306 – Literals of CoreEquipmentProfile::SVCControlMode

literal	value	description
reactivePower		Reactive power control.
voltage		Voltage control.

STATCOMi ehk staatilist kompensaatorit eraldi ei tundu olevat standardijärgselt kirjeldatud. Võimalik, et tegu on standardi puudusega, sest STATCOM ei leia standardis ühelgi kujul ära märkimist standardis.

1.3.6 Alalivooluühenduste kasutamine pinge juhtimiseks

Standardi järgselt on mudelis pinge juhtimisega seotud ACDC muundur võimalusega, kuidas HVDC ühenduse juures on võimalik pinget juhtida. ACDC muundurii näol on tegemist seadmega (millel on ühendus iga pinge faasi jaoks, mis koos juhtimis seadmetega, sh tähtsamate kaitse- ja lülitamisega seotud seadmete, alalisvoolu kondensaatorite, faasi reaktorite ning muu seadmestikuga), mida kasutatakse vahelduvvoolu muundamisel alalisvooluks ja vastupidi. **ACDCConverter** parameetrid on järgnevalt toodud tabelis 1.20 koos klassidega, millele ACDC muunduri juures viidatakse.

Tabel 1.19 ACDC muunduri atribuudid kirjelduste ja klassidega, millele selle juurest viidatakse [15]

Table 16 – Attributes of CoreEquipmentProfile::ACDCConverter

name	mult	type	description
baseS	0..1	ApparentPower	Base apparent power of the converter pole. The attribute shall be a positive value.
idleLoss	0..1	ActivePower	Active power loss in pole at no power transfer. It is converter's configuration data used in power flow. The attribute shall be a positive value.
maxUdc	0..1	Voltage	The maximum voltage on the DC side at which the converter should operate. It is converter's configuration data used in power flow. The attribute shall be a positive value.
minUdc	0..1	Voltage	The minimum voltage on the DC side at which the converter should operate. It is converter's configuration data used in power flow. The attribute shall be a positive value.
numberOfValves	0..1	Integer	Number of valves in the converter. Used in loss calculations.
ratedUdc	0..1	Voltage	Rated converter DC voltage, also called UdN. The attribute shall be a positive value. It is converter's configuration data used in power flow. For instance a bipolar HVDC link with value 200 kV has a 400kV difference between the dc lines.
resistiveLoss	0..1	Resistance	It is converter's configuration data used in power flow. Refer to poleLossP. The attribute shall be a positive value.
switchingLoss	0..1	ActivePowerPerCurrentFlow	Switching losses, relative to the base apparent power 'baseS'. Refer to poleLossP. The attribute shall be a positive value.
valveU0	0..1	Voltage	Valve threshold voltage, also called Uvalve. Forward voltage drop when the valve is conducting. Used in loss calculations, i.e. the switchLoss depend on numberOfValves * valveU0.
maxP	0..1	ActivePower	Maximum active power limit. The value is overwritten by values of VsCapabilityCurve, if present.

minP	0..1	ActivePower	Minimum active power limit. The value is overwritten by values of VsCapabilityCurve, if present.
aggregate	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
normallyInService	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
energyIdentCodeEic	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
shortName	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject

Table 17 shows all association ends of ACDCConverter with other classes.

**Table 17 – Association ends of CoreEquipmentProfile::
ACDCConverter with other classes**

mult from	name	mult to	type	description
0..*	PccTerminal	0..1	Terminal	Point of common coupling terminal for this converter DC side. It is typically the terminal on the power transformer (or switch) closest to the AC network.
0..*	BaseVoltage	0..1	BaseVoltage	inherited from: ConductingEquipment
0..*	EquipmentContainer	0..1	EquipmentContainer	inherited from: Equipment

Tabel 1.20 Sagedusmuunduri atribuudid ja nende kirjeldus lähtuvalt TC57CIM-is, mis lähtud uuritavast IEC standardist [18]

FrequencyConverter : Public Class
 Created: 08.05.2008 14:13:19
 Modified: 18.03.2019 20:57:45

Project:
 Advanced:

A device to convert from one frequency to another (e.g., frequency F1 to F2) comprises a pair of FrequencyConverter instances. One converts from F1 to DC, the other converts the DC to F2.

Attribute
<p>Public Frequency frequency</p> <p>Details:</p> <p>Notes: Frequency on the AC side.</p>
<p>Public ActivePower maxP</p> <p>Details:</p> <p>Notes: The maximum active power on the DC side at which the frequency converter should operate.</p>
<p>Public Voltage maxU</p> <p>Details:</p> <p>Notes: The maximum voltage on the DC side at which the frequency converter should operate.</p>
<p>Public ActivePower minP</p> <p>Details:</p> <p>Notes: The minimum active power on the DC side at which the frequency converter should operate.</p>
<p>Public Voltage minU</p> <p>Details:</p> <p>Notes: The minimum voltage on the DC side at which the frequency converter should operate.</p>

T57CIM keskkonnast on võimalik leida sagedusmuundur **FrequencyConverter**, millel on viide ka **RegulatingControl** klassile. Viimase atribuudid on kirjeldatud tabelis 1.21. Selle käsitluses on sagedusmuunduri all tegu seadmega, mis muundab ühe sageduse teiseks: ühes ühe sagedusega vahelduvvooluks ja teises alalisvool teise sagedusega vahelduvvooluks. [17]

Standardis on defineeritud **VsConverter** ehk alalisvoolu poolel olev pingesallika muundur, mis pärib enamuse oma atribuutidest **ACDCConverter**- klassilt. Selle atribuudid kui ka klassid, milledele selle juurest viidatakse, on esitatud tabelis 1.22.

Tabel 1.21 VsConverter atribuudid koos kirjeldustega ja sellega seotud klassid [15]

Table 284 – Attributes of CoreEquipmentProfile::VsConverter

name	mult	type	description
maxModulationIndex	0..1	Float	The maximum quotient between the AC converter voltage (Uc) and DC voltage (Ud). A factor typically less than 1. It is converter's configuration data used in power flow.
baseS	0..1	ApparentPower	inherited from: ACDCCConverter
idleLoss	0..1	ActivePower	inherited from: ACDCCConverter
maxUdc	0..1	Voltage	inherited from: ACDCCConverter
minUdc	0..1	Voltage	inherited from: ACDCCConverter
numberOfValves	0..1	Integer	inherited from: ACDCCConverter
ratedUdc	0..1	Voltage	inherited from: ACDCCConverter
resistiveLoss	0..1	Resistance	inherited from: ACDCCConverter
switchingLoss	0..1	ActivePowerPerCurrentFlow	inherited from: ACDCCConverter
valveU0	0..1	Voltage	inherited from: ACDCCConverter
maxP	0..1	ActivePower	inherited from: ACDCCConverter
minP	0..1	ActivePower	inherited from: ACDCCConverter
aggregate	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
normallyInService	0..1	Boolean	inherited from: Equipment
description	0..1	String	inherited from: IdentifiedObject
energyIdentCodeEic	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject
mRID	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
name	1..1	String	inherited from: IdentifiedObject
shortName	0..1	String	(deprecated,European) inherited from: IdentifiedObject

Table 285 shows all association ends of VsConverter with other classes.

Table 285 – Association ends of CoreEquipmentProfile::VsConverter with other classes

mult from	name	mult to	type	description
0..*	CapabilityCurve	0..1	VsCapabilityCurve	Capability curve of this converter.
0..*	PccTerminal	0..1	Terminal	inherited from: ACDCCConverter
0..*	BaseVoltage	0..1	BaseVoltage	inherited from: ConductingEquipment
0..*	EquipmentContainer	0..1	EquipmentContainer	inherited from: Equipment

1.4 Kasutatud tarkvarade ja tööriistade kirjeldused

Käesoleva lõputöö teostamiseks on kasutatud erinevaid tarkvarasid ja tööriistu eri viisidel, millega seoses on vajalik neist anda teatav ülevaade, mis sisaldab tarkvarade/tööriistade kirjeldust, kui ka ülevaadet sellest, millises ulatuses ning millisel viisil on seda käesoleva töö teostamiseks kasutatud. Nagu varasemalt kirjeldatud, keskendub töö eelkõige Balti regiooni kolme riigi iseseisva võrgumudeli ehk IGM-i ja selles sisalduvate failide uurimisele lähtuvalt IEC standardist, (mis kirjeldab mudelis

elektrisüsteemi ülesehitust, topoloogiat ja talitlust). Selleks, et võrgumudelite sisu uurida, kasutatakse mitut erinevat võimalust, neid erinevas ulatuses ja erinevatel eesmärkidel.

Esimene kasutatud võimalus mudelite uurimiseks on tarkvara CIMDesk (CIM data engineering solution kit), loodud Power Info LCC poolt lepinguga UCTE-ga, mis peale ENTSO-E loomist ENTSO-E-le kandus. CIMdesk on loodud pakkumaks integreeritud andmetega tegelemiseks sobilikku keskkonda, mis on toetatud CIM-andmemudeli kujul olevate mudelite andmete vahetuseks. CIMDeski on kohaldatud toetama CGMESi ja kasutatakse peamiselt CGMES-i standardile vastavate andmete valideerimiseks. [18] CIMdeski on kasutatud mudeli struktuuri uurimisel, nägemaks milliseid mudeli klasse eri failid võrgumudelites sisaldavad, ja kus asuvad võrgumudelites täpsemalt käesoleva lõputöö jaoks huvi pakkuvad objektid ning millised atribuudid seal näha on.

Teiseks äärmiselt oluliseks mooduseks on olnud Pythoni skriptide kasutamine PyCharm keskkonnas. Python ise on üldkasutatav kõrgetasemeline programmeerimiskeel, mis on sobilik skriptide loomiseks ja on seotud tugevalt objektorienteeritud programmeerimisega [19]. Pythonit kasutatakse käesolevas töös läbi IDE (Integrated Development Environment) PyCharmi, mis on platvormi Pythonis arendamiseks tänapäeval eri platvormides ja mis omab erinevaid funktsioone, mis suurendavad efektiivsust Pythoniga programmeerimisel [20]. Välja toomist väärrib ka Pandase teek, mis on olnud oluline tööriist andmemudeli struktuuride kasutamisel, mis on kiire, paindlik ja kergesti kasutatav moodul ja tööriist Pythoni programmeerimiskeeles andmete analüüsiks ning töötlemiseks [21].

Protsessina näeb selle kasutamine välja järgmiselt. Esmalt on kasutatud käesoleva lõputöö konsultandi Kristjan Vilgo poolt loodud lähtekoodi RDF_PARSER võrgumudelite PyCharmis sisse lugemiseks ja analüüsiks kättesaavaks tegemisel [22]. Seejärel on loodud lähtekood lõputöö autori enda poolt, kasutades selleks juba kirjeldatud Pandase teeki, et teha võrgumudelid päringud kõikide pingestuuringuga seotud leitavate objektide kohta, mudelis olevate võrgusõlmede ja nende pingete kohta ning loodud lähtekoodi abil tabelid, kus on vastavalt päritud info analüüsiks sobival viisil ühiste tunnuste abil omavahel vastavusse viidud. Arvutustarkvaras Microsoft Excel toimub viimaste andmete lõplik analüüs ja töötlemine.

Viimase tööriistana saab kirjeldatud Enerprise Architect-i, mida kasutatakse UML kujul CIM andmemudeliga töötamisel, mille põhjal on ka IEC 61970 standard genereeritud. Enterprise Architect-i põhjal on tegu tööriistaga, mida saab kasutada erinevate süsteemide, tarkvarade, protsesside ja arhitektuuride visualiseerimiseks, analüüsiks, modelleerimiseks ning hooldamiseks [23].

2 ANALÜÜS PINGE JUHTIMISE MEETODITEST

Teises ja töö seisukohast tähtsaimas peatükis toimub Balti regiooni võrgumodelite analüüs lähtuvalt peamistest pingemuutuste viisidest, mis on kirjeldatud peatükis 1.1. Oluliseks referentsiks on peatükis 1.3 väljatoodud informatsioon neist juhtimisviisidest standardis IEC 61970-600. Peatüki esimeses osas kirjeldatakse meetodikat, millest lähtuvalt uuritakse ja analüüsitakse pingemuutuste meetodite, -mehhanismide ja vastavate seadmete kujutamist regiooni eri võrgumodelites. Seejärel on alapeatükid iga pingemuutuste viisi modelleerimise uurimise jaoks, kus teostatakse arutlev analüüs ja tuuakse välja tähtsamad tulemused. Tulemuste põhjal järelduste ja ettepanekute tegemine jäetakse viimasesse ehk kolmandasse põhipeatükki.

2.1 Metoodika

Siin on kirjeldatud täpsemalt protsessi, mille käigus uuritakse pingemuutuste meetodeid ja neid võimaldavaid seadmeid kolmes regiooni võrgumodelis. Protsess on oma olemuselt koosnev kahest etapist, kusjuures mõlemas etapis vastavalt meetodikale käiakse järjekorras läbi regioonide A, B ja C võrgumodelid. Teine etapp jaguneb omakorda kahte ossa. Struktuurist selgemaks arusaamiseks on siinjuures punktadena välja toodud meetodiline kavand.

1. Etapp 1 – Pingemuutuste juhtimise meetodi rakendamise olemasolu võrgumodelis ja seotud andmete asukohad võrgumodelite struktuurides:
 - a. (Regiooni) A võrgumudel,
 - b. B võrgumudel,
 - c. C võrgumudel.
2. Etapp 2 - Pingemuutuste juhtimisega seotud atribuutide, nende omaduste ja väärtuste analüüs ning analüüs seadmete poolt reguleeritavate sõlmepingete suhtes:
 - a. A võrgumudel:
 - i. (Mudelise pingemuutuste automaatset juhtimist võimaldavad) seadeväärtused puuduvad,
 - ii. Seadeväärtused olemas.
 - b. B võrgumudel:
 - i. Seadeväärtused puuduvad,
 - ii. Seadeväärtused olemas.
 - c. C võrgumudel:
 - i. Seadeväärtused puuduvad,
 - ii. Seadeväärtused olemas.

Siin saavad nii etapid kui ka nende etappide faasid selgemalt lahti kirjeldatud. Esimeses etapis vaadeldakse, kas vastavat pingajuhtimise meetodit on üldse rakendatud kolme regiooni võrgumudelil. Kui on rakendatud, uuritakse edasi, kui laialdaselt ehk et kui palju instantse meetodi rakendusest eksisteerib vastava regiooni võrgumudelites. Näiteks kui palju on eri mudelites kirjeldatud astmelüliteid või siis teise pingajuhtimise meetodi näitel, kui palju on eri mudelites mingit tüüpi kompensatoreid. Esimeses etapis vaadeldakse lisaks ka, et millistes mudeli struktuuri osades on vastava meetodiga seotud seadmed ja nende parameetrid, kui ka ülejäänud nende seadmete opereerimise ning pinge juhtimisega seotud atribuudid kirjeldatud ja kas esineb erinevusi selles aspektis nii võrgumudelite endi kui standardi vahel.

Teises etapis uuritakse, eeldusel et vastav pingajuhtimise meetod on rakendatud, kuidas võrgumudelil pinge juhtimist on kujutatud. Analüüsis soovitakse teada, millised on vastavad kirjeldavad atribuudid ja kas need atribuudid ning nende väärtused on vastavuses standardis kirjeldatuga. Samuti seda, kas nende atribuutide puhul on erinevusi erinevate regioonide võrgumudelite vahel. Eesmärk on aru saada, kui palju ja milliseid atribuute kasutakse ning kuidas, milliseid ei kasutata, ja kas nende kasutamises eri võrgumudelites on erisusi. Peatükis 3 üritatakse nende põhjal vastata, et kas neid atribuute oleks võimalik kasutada rohkem või paremini või kas standardis võiks olla kirjeldatud rohkem atribuute, et võrgumudelites oleks rohkem vajalikku informatsiooni, mis aitaks paremini modelleerida. Hiljem analüüsitakse seadmete poolt juhitavate sõlmede pingeid, hindamaks seda, kas need pinged vastavad võrgueeskirjadele ja põhivõrguettevõtete poolt kokku lepitud pinge juhtimise põhimõtetele. Samuti seda, kas need on vastavuses pinget juhtivate seadmete seadeväärtustega, ja juhul kui on olemas mudelis automaatset juhtimist võimaldavad seadeväärtused, analüüsitakse ka reguleeritava pinge sihtseadeväärtusi ning nende vastavust nii eelkirjeldatud põhimõtetele kui võrdlust mudeli tulemustes olevate vastavate sõlmede pingete väärtustega.

Kirjeldatud etappi teostatakse kahes faasis. Esimeses faasis vaadeldakse kõiki pinge juhtimise meetodiga seotud seadmeid, millel puuduvad pinge automaatse reguleerimisega seotud viited ja informatsioon juhtimise kohta. Viimane on võrgumudelil üks võtmetähtsusega tegur pinge juhtimise kvaliteetsel modelleerimisel. Teises faasis vaadeldakse seadmeid, millel on olemas viited ja informatsioon pinge automaatse juhtimise kohta võrgumudelites, et analüüsida automaatse pinge juhtimisega seotud seadeväärtusi, omades konteksti nende seadmete ülejäänud atribuutide väärtustest.

Käesoleva töö teostamiseks on uuritud vaatluse all olevate TSO võrgueeskirju ja pinge juhtimise põhimõtteid. Selle käigus selgitati välja, et kõigis kolmes regioonis kehtib üldine põhimõtte, et pinged peavad jääma püsitalitluses 0.9 ja 1.1-kordse nimipinge vahele [1]. Mõneti raskem oli välja selgitada, mis on operatiivses töös soovitatavad nimipinged 110 kV ja 330 kV pinge astmetel. Regiooni A juures selgus, et üldiselt hoitakse 330 kV astmel alajaamades pingeid 355-357 kV juures, sest nii on välja kujunenud praktika ja ettevõtte esindaja ei viidanud ühelegi kirjalikule allikale [24]. Regioonis B hoitakse peamistel 330 kV lattidel 354 ± 5 kV, ja kõikides teistes alajaamades lähtuvalt sellest, et reaktiivvõimsuse ülekanne liinides oleks võimalikult väike, viidates kinnistele sisedokumentidele [25]. Regiooni C kohta ei ole õnnestunud vastavat infot saada. 110 kV taseme kohta õnnestus välja selgitada, et regioonis A hoitakse pinget üldiselt võimalusel 117-119 kV ümbruses [24]. Regiooni B kohta sai selgitatud, et võrgus hoitakse pinget vahemikus 118-123 kV [25].

Arvestada tuleb, et perioodil, mil mudelid uuriti, oli regiooni B võrgumudelid toodang ja tarbimine kõikidel aegadel pidevalt konstantne ja seetõttu ei peegeldanud realsust objektiivselt. See ei võimalda regiooni B võrgumudeleid võrrelda võrdsetel alustel regioonide A ja C võrgumudelitega. Täpsemaid võrgumudelid toodanguid ja tarbimisi välja ei tooda, sest need võiksid muuta regioonide tuvastamise suhteliselt kergeks. Küll aga saab lisatud info, et mudelite puhul on tegu normaalskeemidega, kus ei arvestatud katkestusi ja muid talitluslikke piiranguid. Et regioonid on ühtses sünkroonallas ja kehtivad ühe aja kohta, siis kokku liidetuna võivad mõningal määral muutuda koormuste jagunemine ning modelleeritavad pinged.

Oluline on välja tuua, et siinkirjeldatud metoodika ei fikseeri samasugust uurimise ja analüüsi protsessi kõikide pinge juhtimise meetodite modelleerimise kohta. Seoses sellega, et pingejuhtimise meetodid on erinevad ja seega erineb nende kujutamine mudelites, saab erinev olema ka teatud punktides nende uurimise ja analüüsimise metoodika. Üldistelt põhimõtetest soovitakse toimida järgides kirjeldatud etappe, kuid see, kuidas see neis etappides teostatakse, võib, sõltuvalt uuritavast pinge juhtimise meetodist, mõneti varieeruda.

Kokkuvõttes lähtutakse eelkõige sellest, kuidas saada võimalikult ammendavad vastused uurimisküsimustele, mille põhjal oleks võimalik teha pädevaid järeldusi ja vastavalt võimalustele ka ettepanekuid käesoleva töö järgmises ehk 3. põhipeatükis. Nendeks põhiküsimusteks on lühidalt ja kokkuvõtvalt järgnevad. Esiteks, kas standardis on pinge juhtimise meetodite kirjeldus ammendavalt ja kvaliteetsel viisil seletatud ning kas on võimalik teha ettepanekuid regiooni võrgumudelid tulemustest lähtuvalt selle kohta, kuidas standardit parandada. Teiseks üritada vastata küsimusele, kui hästi on

pinge juhtimist regiooni võrgumudelites kirjeldatud, ja võimalusel teha põhjendatud ettepanekuid, kuidas seda veel paremini oleks võimalik teha. Kolmandaks uurimusküsimuseks on hinnata, kas regioonides, mida võrgumudelid kirjeldavad, oleks võimalik pingetuhtimist paremini korraldada, nt läbi tuleviku võrguinvesteeringute. Viimane kohaldub vaid juhul, kui tulemuste põhjal selle tegemine võimalikuks osutub.

2.2 Pinge juhtimine sünkroonjaamades

Atribuutide definitsioonid kui ka erinevate klasside vahelised seosed on kirjeldatud käesoleva töö peatükis 1.3, seda just pingetuhtimist üldisemalt puudutavate klasside ja atribuutide osas. Peatükis 1.3.1 on käsitletud pinge juhtimist standardjärgselt sünkroonjaamades.

2.2.1 Pinge juhtimisest uuritud regioonide võrgumudelites

Regiooni A võrgumudelil on elektrijaamad esindatud sünkroonmasinate klassis (**SynchronousMachine**), mida on kokku kirjeldatud 54 tükki. Sünkroonmasinaid on võimalik mudeli struktuuris leida varustuse ehk EQ failis geograafilise regiooni, sealt edasi alageograafiliseregiooni alt, mille alt vastavalt alajaamade all on võimalik valida **VoltageLevel**, ja selle alt **SynchronousMachine**, juhul kui vastavas alajaamas on tootev jaam. Neist 51-l on saadaval automaatne juhtimine, mis tähendab, et nende juures on pinge automaatne juhtimine võimalik. Tuleks eristada, et on olukordi kus ühes sõlmes võib olla mitu generaatorit, sest eri sõlmi oli kokku 36. **RegulatingControl** oli neist antud 33 sõlmes, ehk 3 sõlmes olid need 3 generaatorit, mille juures juhtimist ei toimu. **RegulatingControl** enesest on mudelistruktuuris endiselt leitav otse SSH failist.

Regiooni B võrgumudelil on kokku 70 sünkroonmasinat. EQ failist (mis põhineb standardis kirjeldatud profiilil, edaspidi töös „fail“) on võimalik need leida geograafilise regiooni alt, valides alageograafiline regioon, vastava piirkonna alt alajaamad, alajaamaalt jaotisest **VoltageLevel** vastava pingetaseme alt leida sünkroonmasin (**SynchronousMachine**). 66-l juhul on leitav regiooni B võrgumudelil ka **ReactiveCapabilityCurve** seadeväärtused ehk siis seadeväärtused reaktiivvõimekuse kõverate kohta. See on oluline erinevus võrreldes A ja C võrgumudelitega, kus vastavaid seadeväärtusi mudelis leida polnud võimalik. SSH failist on võimalik leida seadeväärtused **RegulatingControl** kohta sünkroonmasinate jaoks, millel need olemas on, ja sünkroonmasinate eelduslikud seadeväärtused selle kohta, missugustel võimsustel peaks sünkroonmasinad töötama ja kas nende automaatne juhtimine on lubatud või mitte.

Regiooni C võrgumudel on kokku 44 elektri jaama sünkroonmasina kujul (**SynchronousMachine**). Mudeli struktuuris on võimalik neid leida EQ ehk varustuse profiilis alageograafilise regiooni alt (**SubGeographicalRegion**), valides alajaamad, ja vastava konkreetse alajaama alt pinget taseme (**VoltageLevel**), seejärel vastava pingetaseme alt sünkroonmasina. SSH faili alt on kõigi nende 44 elektri jaama kohta kättesaadavad ka üldised seadeväärtused **SynchronousMachine** all ja samuti seadeväärtused seoses automaatse juhtimisega (**RegulatingControl**).

2.2.2 Atribuudid ja nende omadused ning väärtused regiooni mudelites. Sõlmedes olevate pingete väärtuste analüüs

2.2.3 Region A

Esimesena on siin ära toodud kõigi regioon A võrgumudeli 54 sünkroonmasina üldised pinget ja pinget juhtimisega seonduvad seadeväärtused. Vastavalt metodikale saab kõigepealt analüüsitud sünkroonmasinaid, millel puuduvad viited pinget automaatseks juhtimiseks võrgumudelites, ja alles seejärel analüüsitakse sünkroonmasinaid, millel on olemas vastavad seadeväärtused. Tabelis 2.1 on toodud regiooni A sünkroonmasinad, millel vastavad seadeväärtused puuduvad, aga need on pingestamata ja koormamata.

Tabel 2.1 Regiooni A sünkroonmasinate pingega seotud seadeväärtused, millel puuduvad viited info mudelites pinget automaatset juhtimist võimaldavad seadeväärtused

	Equipment.aggregate	RegulatingControlEqRegulatingControl	RegulatingControlEqcontrolEnabled	RotatingMachine.p	RotatingMachine.q	RotatingMachine.ratedS	RotatingMachine.ratedU	SynchronousMachine.initialReactiveCapabilityCurve	SynchronousMachine.maxQ	SynchronousMachine.minQ	SynchronousMachine.pPerCent	SynchronousMachine.voltageRegulationRange	SVoltageV
137		false	0,00	0,00	65,00		57,25	-2,00	100,00				0,00
138		false	0,00	0,00	125,00		75,00	0,00	100,00				0,00
141		false	0,00	0,00	10,00		0,00	0,00	100,00				0,00

Regiooni A sünkroonmasinate seadeväärtused, kus on olemas ka **RegulatingControl** ehk võimalus pinget mudelis automaatselt juhtida, on esitatud tabelis 2.2.

Tabel 2.2 Sünkroonmasinate pinge juhtimisega seotud seadeväärtused regiooni A võrgumudelis, kus on olemas ka automaatset juhtimist võimaldavad seadeväärtused

ID	Equipment.aggregate	RegulatingControl.q	RegulatingControl.p	RotatingMachine.p	RotatingMachine.q	RotatingMachine.ratedS	RotatingMachine.ratedU	SynchronousMachine.initialReactiveCapa	SynchronousMachine.maxQ	SynchronousMachine.minQ	RegulatingControl.voltageRegulation	RegulatingControl.iscrete	RegulatingControl.enabled	RegulatingControl.targetDroopband	RegulatingControl.targetValue	SWVoltagev
101	53b9854e	true	-38,00	-18,40	67,00			19,20	-19,20		false	true	0,00	357,50	356,78	
108	82a7530c	true	-78,10	-16,46	268,00			120,00	-40,00		false	true	0,00	355,60	355,60	
109	82a7530c	true	0,00	-16,46	268,00			120,00	-40,00		false	true	0,00	355,60	355,60	
110	82a7530c	true	0,00	0,00	268,00			120,00	-40,00		false	true	0,00	355,60	355,60	
111	82a7530c	true	0,00	0,00	268,00			120,00	-40,00		false	true	0,00	355,60	355,60	
112	82a7532a	false	0,00	0,00	180,00			140,00	-40,00		false	false	0,00	354,50	354,50	
113	82a7532a	true	0,00	0,00	353,00			184,00	-90,00		false	false	0,00	354,50	354,50	
114	82a7532a	true	0,00	0,00	353,00			184,00	-90,00		false	false	0,00	354,50	354,50	
115	82a7532a	true	0,00	58,15	524,00			100,00	-125,00		false	false	0,00	354,50	354,50	
138	0c3f0a53	true	0,00	0,00	76,36			30,50	-30,50		false	true	0,00	118,60	120,07	
128	7582a971	true	-34,90	25,00	56,25			40,00	-25,00		false	true	0,00	118,60	119,84	
140	7582a971	true	0,00	0,00	24,44			10,00	-5,00		false	true	0,00	118,60	119,84	
127	c5ac19fd	true	0,00	0,00	247,00			150,00	-58,00		false	true	0,00	118,20	119,66	
137	c5ac19fd	false	0,00	0,00	93,18			74,50	-33,50		false	true	0,00	118,20	119,66	
126	82a75380	true	0,00	0,00	247,00			150,00	-58,00		false	true	0,00	118,20	119,66	
136	82a75380	false	0,00	0,00	25,53			20,80	-13,00		false	true	0,00	118,20	119,66	
124	1723127e	true	0,00	0,00	15,00			10,00	-10,00		false	true	0,00	118,30	119,42	
125	1723127e	false	-15,80	10,00	21,00			10,00	-10,00		false	true	0,00	118,30	119,42	
148	f75ab49b	true	-15,00	7,26	8,00			2,40	-2,40		false	true	0,00	118,30	119,33	
142	c7f8be19	true	0,00	0,00	11,90			5,00	-5,00		false	true	0,00	118,40	119,12	
134	158e5662	true	-36,00	17,44	54,45			21,50	-21,50		false	true	0,00	118,50	119,03	
143	7a402bb0	true	0,00	0,00	29,30			15,00	-15,00		false	true	0,00	118,40	119,01	
144	3691edff	true	-20,30	17,40	30,57			23,80	-17,40		false	true	0,00	118,10	118,71	
116	82a75332	true	-23,00	4,00	29,50			18,00	-4,00		false	true	0,00	117,90	118,51	
117	82a75332	true	-21,00	4,00	29,50			18,00	-4,00		false	true	0,00	117,90	118,51	
118	82a75332	true	0,00	0,00	29,50			18,00	-4,00		false	true	0,00	117,90	118,51	
119	82a75332	true	0,00	0,00	29,50			18,00	-4,00		false	true	0,00	117,90	118,51	
104	82a752f3	true	-11,00	-5,33	34,00			16,50	-13,50		false	true	0,00	119,30	118,23	
132	82a7539c	true	-5,00	-2,42	17,00			7,70	-6,30		false	true	0,00	119,30	118,21	
107	2f2ca239	true	0,00	0,00	7,50			1,00	-1,00		false	true	0,00	118,20	118,20	
122	2f2ca239	true	-5,00	1,93	7,50			7,00	-7,00		false	true	0,00	118,20	118,20	
123	82a75302	true	0,00	-1,93	31,25			10,00	-9,00		false	true	0,00	118,20	118,20	
102	82a752e9	true	-11,00	5,33	44,00			22,00	-18,00		false	true	0,00	117,80	117,92	
99	82a752db	true	-10,00	-1,09	29,04			8,40	-8,40		false	true	0,00	117,90	117,90	
103	82a752ee	true	-5,00	0,09	24,00			12,10	-9,90		false	true	0,00	117,90	117,90	
105	82a752f8	true	-18,50	8,60	24,70			8,60	-8,60		false	true	0,00	117,70	117,87	
129	89b5ae57	true	-6,00	-2,10	44,00			22,00	-18,00		false	true	0,00	117,80	117,80	
149	291c2555	true	0,00	0,00	32,70			13,00	-13,00		false	true	0,00	118,00	117,62	
131	82a75397	true	-3,00	-1,45	16,00			7,70	-6,30		false	true	0,00	117,70	117,60	
130	82a75392	true	-12,00	-0,19	56,00			6,00	-9,00		false	true	0,00	117,50	117,50	
135	0bede804	true	0,00	0,00	76,36			30,50	-30,50		false	true	0,00	116,00	117,29	
100	82a752e0	true	-27,00	-13,08	73,50			10,45	-10,45		false	true	0,00	119,10	117,28	
133	c10ed7a1	true	-7,00	1,94	15,00			13,80	-13,80		false	true	0,20	117,10	117,10	
141	97368234	true	-27,00	13,08	76,00			30,00	-30,00		false	true	0,00	116,34	116,94	
147	5fd6b33e	true	0,00	0,00	74,30			25,00	-25,00		false	true	0,20	117,10	116,90	
139	e2a34b60	true	0,00	0,00	65,45			26,15	-26,15		false	true	0,20	118,00	116,38	
106	82a752fd	true	-26,00	-7,40	52,25			16,00	-16,00		false	true	0,00	114,80	114,80	
146	aa641c13	true	0,00	0,00	68,72			27,46	-27,46		false	true	0,20	118,00	114,29	
120	82a75340	true	0,00	8,05	125,00			95,00	-55,00		false	true	0,00	114,20	114,20	
121	82a75340	true	-14,60	8,05	125,00			90,00	-55,00		false	true	0,00	114,20	114,20	
145	82a75307	false	0,00	0,00	268,00			0,00	-110,00		false	false	0,00	15,35	0,00	

Esiteks on võimalik osutada atribuudi **Equipment.aggregate** puudevatele seadeväärtustele. Mudelis on atribuudi **Equipment.aggregate** seadeväärtused puudu kõikidel juhtudel, ehk puudub info selle kohta, kas sünkroonmasinaid on mudelis agregeeritult kokku pandud või on need modelleeritud eraldi. Nagu juba öeldud, kolmel juhul on puudu seadeväärtused automaatse regulatsiooni kohta. Isegi kui selle

olemasolu ei saa täiesti kindlalt puudusena välja tuua, võiks see siiski olemas olla. Puudu on ka reaktiivvõimsuskõverale vastavad viited, mis reaalsuses tähendabki seda, et reaktiivvõimsuskõveraga seonduv informatsioon pole võrgumudelis sünkroonmasinate kohta esitatud. Probleemina võiks veel esile tuua, et puudu on ka info selle kohta, mis on **ratedU** ehk sünkroonmasina nimipinge. See ei luba nende mudelite analüüsimisel kindlalt tagada, et mudeli seadeväärtused ja tulemuslikud pinged (kasutatud **SvVoltage.v** atribuudi tähenduses) vastavad sünkroonmasina juures kirjeldatud nimipinge astmele ning juhul kui nt sihtpinge (kasutatud **RegulatingControl.targetValue** atribuudi tähenduses) või tulemusliku pinge pingeaste peaks erinema, on raske kindlaks teha, kumma pingeaste oli õige. Samuti juhtudel, kui automaatse juhtimisega seotud seadeväärtused on puudu, teeb see raskemaks tuvastamise, millistel juhtudel on tulemusliku pinge väärtus potentsiaalselt usaldusväärne ja millistel mitte. Puudu on ka atribuut **voltageRegulationRange** seadeväärtused ehk informatsioon selle kohta, mitme protsendi ulatuses on võimalik pinget oma nimipingest juhtida.

Seadeväärtuste vaatlemisel jääb silma, et mõningatel juhtudel, sõltumata võimekusest pinget mudelis automaatselt juhtida, on see funktsioon teatud juhtudel välja lülitatud. 51-st sünkroonmasinast on 5-l juhul reguleeriv kontroll keelatud. Teine oluline tähelepanek on, et siin nimistus paistab olevat ka sünkroonmasinaid, mis tegelikult toimivad sünkroonsete kondensaatoritena ja seega saab neid käsitletud veel eraldi alapeatükis, kus on juttu sünkroonsetest kompensatoritest pinge juhtijatena. Väita saab seda tulenevalt sellest, et siin nimistus on 4 sünkroonmasinat, mille seadistuses puudub aktiivkoormus, samas aga reaktiivvõimsust toodetakse või tarbitakse. Ka siin on endiselt puudu atribuudi **ratedU** ehk nimipinge väärtused. Puudu on viited reaktiivvõimsuskõverale, mis on kindlasti probleem. Diskreetne kontroll on kõikidel juhtudel keelatud, mis lähtuvalt standardist on õige seadeväärtus, sest see peaks olema lubatud vaid suntkompensatoritel ja astmelülitel. Veel on vaja ära märkida, et **targetDeadband** on kõikidel juhtudel 0, mis olemuslikult tähendab, et alati kui pinge väärtus lattel erineb kasvõi vähegi tuntaval määral pinge sihtväärtusest, toimib aktiivne pinge juhtimine, et pinget sihtväärtusele lähemale saada. Siin oleks põhjust lähemalt uurida, kas taoline lähenemine ei pruugi reaalsuses probleeme tekitada üle juhtimisega. Uurides pinge sihtväärtust võib näha suhteliselt varieeruvaid väärtusi. 330 kV pinge astmel vähem varieeruv, olles enamuses 354-355 kV läheduses, ühel juhul ka kõrgemal ehk 357.5 kV juures. 110 kV pingeastmel on võrdlemisi suur osa 118 kV lähedal, samas on ka madalamaid seadeväärtuse väärtusi nt 116 kV lähedal ja mõningastel juhtudel isegi 114 kV läheduses, mis tundub kummaliselt väikese seadeväärtuseväärtusena. Ühel juhul on generaatori seadeväärtuse väärtus kõigest 15.35 kV, mis võib osutada valele seadeväärtuseväärtusele, mis oli madalamal pingeastmel, nagu uurimisel selgus. Siin tuleb arvestada, et raske on teha

kaugeleulatuvaid järeldusi võrgu regionaalseid iseärasusi süvitsi teadmata, ja ilma informatsioonita, mis põhimõtetel teatud sõlmedes generaatoreid teatud pingetele seadistatakse. Seega on siinkohal raske osutada kindlatele vigadele modelleerimisel, sest erandid võivad reaalsuses olla põhjendatud.

Võrgumudelites on analüüsitud sünkroonmasinate pingeid. Vastavaid pingeid on võimalik otsida kahel viisil. Juhul kui **RegulatingControl** klassi seadeväärtused on olemas, saab tulemusliku pinget leida alati sõlme kohta, kus pinget reguleeriv seade pinget päriselt juhib ja probleeme tavaliselt ei teki. Sellisel juhul leitakse tulemuslikud pinged läbi sünkroonmasina reguleeriva kontrolli seadeväärtuste abil, sobitades omavahel reguleeriva kontrolli seadeväärtuse viide sõlme terminalile (**RegulatingControl.Terminal**), mida reguleeritakse, ja seejärel sobitades terminali ühe atribuudi topoloogilise sõlme ID (**Terminal.TopologicalNode**) järgi SV failis oleva pinget topoloogilise sõlme aadressiga (**SvVoltage.TopologicalNode**). Sel meetodil leitud pinget väärtuse pingete ühtib seadeväärtuse pingestme pinget väärtusega kõikidel juhtudel, juhul kui vastav sõlm on pingestatud.

Juhul kui **RegulatingControl** klassi seadeväärtused puuduvad, pole võimalik sel viisil leida terminali aadressi (**RegulatingControl.Terminal**). Sel juhul on võimalik kasutada sünkroonmasina enda ID-d ja ühitada see terminali atribuudi (**Terminal.ConductingEquipment**) aadressiga, mis võimaldab leida seadme terminali, ning sealt edasi leida pinget vastavalt terminali topoloogilise sõlme aadressi järgi SV failist. Lähtudes eeldusest, et sünkroonmasina kohta on mudelis antud juhtitavaks sõlmeks sama sõlm, kus konkreetne seade asub, peaks pinged mõlemal meetodil langema kokku. Kuna võrgumudelites seadme poolt juhitav sõlm võib sageli erineda sõlmest, kus pinget juhtiv seade asub, siis praktikas sellistel juhtudel see nii pole.

Järeldus, mida saab siit kaasa võtta, ei mõjuta märkimisväärselt regiooni A võrgumudeli analüüsi hetketulemusi, sest ainsad 3 sünkroonmasinat, millel ei olnud vastavaid seadeväärtusi, olid pingestamata. Kuid ülejäänud regioonide võrgumudelite analüüsi tulemustes on vaja arvestada, et sünkroonmasinatel, mis on pingestatud, kuid ei oma automaatse juhtimisega seotud informatsiooni, tuleb pingete analüüsi suhtuda teatud skepsisega. Seda sellepärast, et leitud tulemuslikud pinged ei pruugi vastata reaalsuses võrgumudeli sõlmede pingetele, mille pingeid sünkroonmasinad päriselt reguleerima oleks pidanud. Eelkõige just seetõttu, et kui tekib olukord, kus reguleeritav sõlm on erinev seadme asukoha sõlmest, aga reguleeriva kontrolliga seotud seadeväärtused puuduvad, tekib olukord, kus nähtavad pinged ei pruugi olla alati usaldusväärsed, seda just olukordades, kus reguleeritav sõlm on teine, aga automaatse juhtimisega seotud seadeväärtused on mudelis puudu.

Siit liigume uuesti tagasi regiooni A võrgumudeli sünkroonmasinate juurde, millel on olemas pinge automaatse juhtimisega seotud seadeväärtused. Analüüsidest pinge väärtusi ei ole võimalik täheldada erilisi anomaaliaid. Kõikidel juhtudel, vastavalt kasutatud esimesele meetodile pingete väärtuste leidmisel reguleeriva kontrolli seadeväärtuste alusel, ühtivad kõik pingete väärtused kenasti seadeväärtuse pingeastmetega. Kõik seadeväärtused vastavad kehtivatele pinge reguleerimis eeskirjadele ja põhimõtetele vastavatel väärtustel ning seda on ka pingeväärtused ise, jäädes 330 kV pingeastmel vahemikku 358-354 kV ja 110 kV pingeastmel 120-114 kV. Kusjuures tulemuslik pinge ei erine seadeväärtusest reeglina rohkem kui 2 kV. Erandiks on üks juhtum, kus see erinevus on 3.7 kV, 110 kV pingeastmel, mis ilmselt on probleemiks, arvestades, et pinge automaatne juhtimine oli sisse lülitatud. Kui viimast siiski mitte arvestada, siis teisi puudusi pingeanalüüsist välja ei tule.

2.2.4 Region B

Järgnevalt vaatleme regiooni B võrgumudeli atribuute ja seadeväärtuste väärtusi. Esimesena saab taaskord vaadeldud sünkroonmasinaid, millel puuduvad automaatse juhtimisega seotud seadeväärtused. 70-st mudelis kirjeldatud sünkroonmasinast on selliseid 15. Võrgumudelis B on pinge juhtimise vaatenurgast sünkroonmasinaid modelleeritud mitmest vaatenurgast paremini kui võrgumudelis A. Nimelt on olemas informatsioon selle kohta, kas sünkroonmasinad on agregeeritud või mitte. Käesolevas töös selgus, et agregeeritud sünkroonmasinaid B võrgumudelis pole. Olemas on ka viited reaktiivvõimsuskõverale, mille kohta on mudelis andmed esitatud. Automaatse pinge juhtimiseta 15st sünkroonmasinast puudub vaid ühel viited reaktiivvõimsuskõveraga seotud andmetele. Lisaks on ka **voltageRegulationRange** kohta olemas parameetrid. Negatiivne tähelepanek on, et need on kõikidel juhtudel 0.0, mis viitab justkui sellele, et mudelis olevate sünkroonmasinate väljundpinget pole võimalik juhtida, kuid päris kindlasti ei tohiks see tõsi olla. Analüüsidest sünkroonmasinate pingeid selgub, et üks neist on pingeastmel 33 kV ja kõik ülejäänud pingeastmel 20 kV. Need on ka toodud atribuudi **ratedU** all, mis on positiivne, arvestades et nii regiooni A kui C võrgumudelis pole teadmata põhjusel ühelgi sünkroonmasinal see atribuut kirjeldatud. Juba eelnevalt kirjeldatud probleemidele seoses tulemuslike pingete leidmisel sõlmedele tuleb hoiatada, et võimatu on täielikult garanteerida, et saadud väärtused vastavad tegelikke reguleeritud sõlmede pingete väärtustele. 33 kV sünkroonmasin on kusjuures natuke alla üle 1.1-kordse nimipinge ehk 34.5 kV, mis on sobilik väärtus. Kõikide 20 kV pingeastmel olevate sünkroonmasinate pingeväärtused jäävad 21 ja 22 kV vahele, mis üldiselt vastab kehtivatele võrgu eeskirjadele kui ka pinge juhtimise põhimõtetele. Kuna puuduvad automaatse pinge juhtimisega seotud seadeväärtused, pole võimalik hinnata pingete seadeväärtuse väärtusi ega võrrelda neid tulemuslike pingetega. Kõik

võrgumudel B sünkroonmasinate pinge juhtimisega seotud atribuudid on toodud tabelis 2.3.

Tabel 2.3 Regiooni B võrgumudeli sünkroonmasinate seadeväärtused, millel puuduvad viited automaatsele pinge juhtimisele

	Equipment.aggregate	RegulatingControl	RegulatingControl.enabled	RotatingMachine.p	RotatingMachine.q	RotatingMachine.ratedS	RotatingMachine.ratedU	SynchronousMachine.InitialResistiveCapabilityCurve	SynchronousMachine.maxQ	SynchronousMachine.minQ	SynchronousMachine.pfCent	SynchronousMachine.voltageRegulationRange	SVoltage
50	false	false	-8,10	-1,00	20,33	33	2bc30af0-fc5b-4c10-t	2,00	-2,00	0,10	0,00	34,54	
53	false	false	-9,96	-0,50	25,00	20	e5fca7f2-4597-43c4-8	10,70	-10,70	0,10	0,00	21,57	
55	false	false	-9,74	-1,00	24,44	20		1,00	-1,00	0,10	0,00	21,88	
58	false	false	-10,62	-1,00	26,67	20	5a8b83b2-e4e4-4083	2,00	-2,00	0,10	0,00	21,82	
60	false	false	-3,54	-1,00	8,89	20	b267a1a6-bb21-4614	2,00	-2,00	0,10	0,00	21,08	
62	false	false	-7,97	-0,50	20,00	20	7f5f4fa3-f024-4a50-9	1,00	-1,00	0,10	0,00	21,74	
63	false	false	-17,26	-1,00	43,33	20	0008aa32-9357-40d6-	2,00	-2,00	0,10	0,00	21,98	
69	false	false	-3,05	-0,10	7,67	20	0cba3bc3-64bf-4354-	1,00	-1,00	0,10	0,00	21,65	
70	false	false	-3,54	-0,50	8,89	20	e44acc85-beb6-4f98-	1,00	-1,00	0,10	0,00	21,74	
73	false	false	-10,62	-0,50	26,67	20	befacc8b-291e-424a-	1,00	-1,00	0,10	0,00	21,70	
78	false	false	-10,62	-1,00	26,67	20	67a9da1b-a0c7-4990-	2,00	-2,00	0,10	0,00	21,66	
79	false	false	-3,54	-1,00	8,89	20	e02f9de3-2442-4501-	1,00	-1,00	0,10	0,00	22,01	
86	false	false	-3,05	-0,10	7,67	20	7eb67e4e-18c2-4853	1,00	-1,00	0,10	0,00	21,65	
100	false	false	-5,31	-1,00	13,33	20	aed7b22f-357a-427a-	1,00	-1,00	0,10	0,00	21,88	
111	false	false	-10,95	-0,50	27,50	20	a80dd926-6ee1-43f1-	10,70	-10,70	0,10	0,00	21,57	

Järgnevalt vaatleme regiooni B võrgumudeli sünkroonmasinaid, millel on olemas automaatse pinge juhtimisega seotud seadeväärtused. Selliseid on kirjeldatud 70st sünkroonmasinast kokku 55. Kusjuures kõikidel juhtudel on automaatne juhtimine ka sisse lülitatud. Diskreetne kontroll on väljas, mis on sünkroonmasina puhul pinge juhtimise juures kohane. Samuti on kõikidel juhtudel olemas sünkroonmasinate nimipinged. 55st juhust kolmel on puudu viited reaktiivvõimsuskõveraga seotud informatsioonile. Puudu on atribuudi **Deadband** seadeväärtused ehk sünkroonmasina pinget reguleeritakse kõikidel juhtudel kui väljundpinge seadeväärtusest vähegi erineb, mis võib viia ülejuhtimiseni. Tabelis 2.4 on toodud kõik sünkroonmasinad, millel võrgumudelil on olemas pinge automaatse juhtimisega seotud seadeväärtused.

Tabel 2.4 Regiooni B võrgumudeli sünkroonmasinate seaded, millel on olemas automaatse pinge juhtimisega seonduvad seadeväärtused

ID	Equipment	RegulatingControl	RegulatingControlEnabled	RotatingMachine.p	RotatingMachine.q	RotatingMachine.ratedS	SynchronousMachine.ratedU	SynchronousMachine.capacity	SynchronousMachine.xd	SynchronousMachine.xd2	SynchronousMachine.xd	RegulationRange	RegulatingControlDiscrete	RegulatingControlEnabl	RegulatingControlTarget	V _{ref}	SWoltage
46	false	57771880-38	true	0,00	0,00	211,11	15		165,00	-0,01	0,00	false	true		354,02	354,02	
49	false	8fb8aae4-9b	true	-771,53	-432,06	238,89	15	4efd402c-779a-4	165,00	-76,00	0,00	false	true		354,02	354,02	
51	false	1eaf556d-e9	true	-101,96	58,49	200,00	15		165,00	-0,01	0,00	false	true		354,02	354,02	
60	false	25a39961-17	true	-101,96	58,49	200,00	15	48965d4c-57f1-4	165,00	-76,00	0,00	false	true		354,02	354,02	
63	false	a32232b0-c2	true	-154,90	58,84	388,89	18	6a565012-83b2-4	275,00	-185,00	0,00	false	true		354,02	354,02	
73	false	46139a4e-8e	true	-95,15	58,49	238,89	15	40a7529f-0d46-4	165,00	-76,00	0,00	false	true		354,02	354,02	
76	false	db432eb8-33	true	-111,96	58,49	211,11	15	fabf540e-5ab5-4	165,00	-73,00	0,00	false	true		354,02	354,02	
78	false	b7da897a-4f	true	-111,96	58,49	211,11	15	1daf1e28-ec0f-4	165,00	-73,00	0,00	false	true		354,02	354,02	
94	false	d4f456ad-20	true	0,00	0,00	211,11	15	5af951f5-df9b-4	165,00	-76,00	0,00	false	true		354,02	354,02	
95	false	079f4b44-e8	true	0,00	0,00	200,00	15		165,00	-0,01	0,00	false	true		354,02	354,02	
44	false	497ba280-8f	true	-13,28	65,27	33,33	10	dfe5f334-8df1-4	10,00	-10,00	0,00	false	true		118,01	118,01	
65	false	de8f1383-5a	true	-11,90	-29,43	29,87	10	197364d6-fde2-4	21,50	-16,70	0,00	false	true		118,01	118,01	
55	false	70491670-9d	true	-5,54	0,15	11,11	35	fdbb403e-c544-4	5,00	-5,00	0,00	false	true		37,55	37,55	
61	false	ec6739f1-a4	true	-5,54	0,18	11,11	35	fb6c1709-0a2e-4	5,00	-5,00	0,00	false	true		37,55	37,55	
64	false	244786bf-f2	true	-4,42	4,27	11,11	15	992951f8-5690-4	8,90	-2,90	0,00	false	true		16,09	16,09	
85	false	c18bc077-6f	true	-3,59	3,70	9,02	15	c0665e89-cbaa-4	6,98	-3,73	0,00	false	true		16,09	16,09	
54	false	e87d8531-66	true	-11,06	1,80	27,78	10	8a9d5f2a-de9e-4	10,00	-10,00	0,00	false	true		10,73	10,73	
72	false	3e0fa7f9-a2	true	-23,01	-0,54	57,77	10	f01e43a4-469d-4	37,40	-22,90	0,00	false	true		10,73	10,73	
87	false	ac461152-64	true	-13,28	1,28	33,33	10	29f00aad-cf2f-4	10,00	-10,00	0,00	false	true		10,73	10,73	
88	false	4b9c8d2f-4d	true	-4,43	25,44	11,11	10	b8e0167e-ce6f-4	10,30	-6,10	0,00	false	true		10,73	10,73	
98	false	d197d4a7-d2	true	-11,06	27,43	27,78	10	cd2fda40-9cb4-4	10,00	-10,00	0,00	false	true		10,73	10,73	
48	false	ef1f4d5f-54	true	-14,60	4,89	36,67	6	efd0aefc-f4a3-4	27,00	-10,00	0,00	false	true		6,44	6,44	
56	false	f700a464-10	true	-16,38	4,91	41,11	6	fe43099e-7831-4	27,00	-14,00	0,00	false	true		6,44	6,44	
58	false	51eb0667-ee	true	-5,31	4,89	13,33	6	e529db33-878f-4	12,00	-8,00	0,00	false	true		6,44	6,44	
75	false	5ae105ee-b8	true	-7,54	4,89	13,33	6	4adeb6c4-3244-4	12,00	-8,00	0,00	false	true		6,44	6,44	
91	false	d9a238f0-fe	true	-5,31	4,89	13,33	6	3c0fae30-1844-4	12,00	-8,00	0,00	false	true		6,44	6,44	
52	false	945d52a1-f4	true	0,00	0,00	200,00	15	b108f7bf-e672-4	165,00	-76,00	0,00	false	true		354,02	0,00	
68	false	2b43a51f-40	true	0,00	0,00	122,22	10	7ff1647e-3bde-4	75,00	-30,00	0,00	false	true		118,01	0,00	
45	false	6d5d242b-cc	true	0,00	0,00	13,47	15	2b08331a-bcfc-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
47	false	239c9d45-37	true	0,00	0,00	13,47	15	b2ebbb52d-67db-	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
50	false	d8bb6c5e-f6	true	0,00	0,00	13,47	15	7e887eb0-7546-	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
53	false	10460b4e-9c	true	0,00	0,00	13,47	15	c1988c32-3a93-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
57	false	0bd7b3ab-5c	true	0,00	0,00	13,47	15	8006780f-5088-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
59	false	f159fd4e-ac	true	0,00	0,00	13,47	15	56dadf4c-adb6-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
62	false	505e9407-13	true	0,00	0,00	13,47	15	28a673aa-90fe-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
66	false	d19e6a5b-f9	true	0,00	0,00	13,47	15	4daa5abe-ca36-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
67	false	b9d16f0b-52	true	0,00	0,00	13,47	15	b34d2656-f8ab-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
69	false	058c76c6-25	true	0,00	0,00	13,47	15	2f27277a-92d0-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
70	false	cf484f81-1f4	true	0,00	0,00	13,47	15	149ab368-bf33-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
71	false	9f34a526-6bf	true	0,00	0,00	13,47	15	afe4c9ee-b308-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
74	false	e3aed1e1-b2	true	0,00	0,00	13,47	15	c8d647f5-7dbf-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
77	false	495fb05f-0f3	true	0,00	0,00	13,47	15	8775be74-7237-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
79	false	543f7bf9-97	true	0,00	0,00	13,47	15	4086f4f7-e867-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
80	false	cdb2fa67-e5	true	0,00	0,00	13,47	15	45f29d5d-c6eb-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
81	false	811edf4c-f2	true	0,00	0,00	13,47	15	6126eb0a-1f3c-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
82	false	38941648-80	true	0,00	0,00	13,47	15	1719eb51-5527-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
83	false	6c0a7493-cb	true	0,00	0,00	13,47	15	326680b0-99ca-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
84	false	3977e407-4e	true	0,00	0,00	13,47	15	30b5bfa5-41dc-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
86	false	0cfa8b48-fd	true	0,00	0,00	13,47	15	16c0a1ab-a178-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
89	false	e9c748a5-98	true	0,00	0,00	13,47	15	21bf5970-8ec5-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
90	false	857771d5-45	true	0,00	0,00	13,47	15	9b1d66bc-9dc3-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
92	false	20f53013-d9	true	0,00	0,00	13,47	15	2f8da900-b6f7-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
93	false	56b58a90-b0	true	0,00	0,00	13,47	15	61ac924a-1f73-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
96	false	4c84beea-a1	true	0,00	0,00	13,47	15	3a041c50-e98f-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	
97	false	2e495ff3-8a	true	0,00	0,00	13,47	15	37ee5cae-319b-4	10,00	-5,85	0,00	false	true		16,09	0,00	

Järgnevalt info seoses pingete analüüsiga. 55st sünkroonmasinast 11 opereerib 330 kV nimipingel, kõigest 3 on 110 kV nimipingel, 2 on 35 kV nimipingel, 29 nimipingel 15 kV, 5 on nimipingel 10 kV ja 5 nimipingel 6 kV. Tervelt 29 sünkroonmasinat paistavad olevad pingestamata. Kusjuures kõik nähtavad pingete väärtused paistavad olevat vastavuses võrgueeskirjade ja kehtivate juhtimise põhimõtetega. Millegipärast ühegi pingestatud sünkroonmasina pinge seadeväärtuseks olev väärtus ei erine vähimalgi määral tulemuslikust pingest, mis ei tundu realistlik. Samuti jääb silma vähemalt näiline vastuolu, et kõikidel juhtudel, kui sünkroonmasina seadeväärtus ja tulemuslik pinge on

pingeastmel 330 või 110 kV, on sünkroonmasina nimipinge tegelikkuses väiksem, vahemikus 6-35 kV. Tuleneb see sellest, et seadme poolt reguleeritav sõlm ja seadme enda sõlm on erinevad, sest kui vaadelda nimipinge erinevust lõplikust pingest, kui see on võetud seadme enda terminali järgi, siis pingeastmed ühtivad kõikidel juhtudel. Siiski see näitab probleemi, et seadeväärtuses kasutatakse ülekandevõrgu pinget, mitte aga sünkroonmasina tegelikku nimipinget ja viitab, et võrgumudelil neil juhtudel ei pruugi olla modelleeritud trafosid sünkroonmasina ja ülekandevõrgu vahele. Tõenäoliselt võib eeldada, et sarnane probleem on ka regiooni A ja C võrgumudelites, kus sünkroonmasinate nimipingete atribuute pole ühelgi juhul kirjeldatud ning vastav kontroll on seega keerukam.

Tabel 2.5 Regiooni B sünkroonmasinate reaktiivvõimsuskõvera kohta antud parameetrid

ID	RegulatingConductorEnabled	RotatingMachine.p	RotatingMachine.q	RotatingMachine.ratedPowerFactor	SynchronousMachineInitialReactivityCurve	CurveData.xvalue	CurveData.yvalue	CurveData.zvalue	
0	true	-13,28	65,27	0,95	33,33	dfef5334-	30,00	-2,00	2,00
1	true	0,00	0,00	0,95	13,47	2b08331a-	9,70	-5,85	6,94
2	true	0,00	0,00	0,95	13,47	b2ebb52d-	0,00	-5,85	10,00
3	true	-14,60	4,89	0,95	36,67	efd0aecf-	28,00	-10,00	19,00
4	true	-771,53	-432,06	0,95	238,89	4efd402c-	60,00	-76,00	165,00
5	false	-8,10	-1,00	0,95	20,33	2bc30af0-	0,00	-2,00	2,00
6	true	0,00	0,00	0,95	13,47	7e887eb0-	9,70	-5,85	6,94
7	false	-9,96	-0,50	0,95	25,00	e5fca7f2-	0,00	-0,10	0,10
8	true	0,00	0,00	0,95	200,00	b108f7bf-	40,00	-76,00	165,00
9	true	0,00	0,00	0,95	13,47	c1988c32-	0,00	-5,85	10,00
10	true	-11,06	1,80	0,95	27,78	8a9d5f2a-	0,00	-10,00	10,00
11	false	-10,62	-1,00	0,95	26,67	5a8b83b2-	0,00	-2,00	2,00
12	true	-5,54	0,15	0,95	11,11	fdbb403e-	0,00	-5,00	5,00
13	false	-3,54	-1,00	0,95	8,89	b267a1a6-	0,00	-2,00	2,00
14	true	-16,38	4,91	0,95	41,11	fe43099e-	0,00	-11,00	27,00
15	false	-7,97	-0,50	0,95	20,00	7f5f4fa3-f	0,00	-1,00	1,00
16	false	-17,26	-1,00	0,95	43,33	0008aa32-	39,00	-0,10	0,10
17	true	0,00	0,00	0,95	13,47	8006780f-	12,13	-0,10	0,10
18	true	-5,31	4,89	0,95	13,33	e529db33-	12,00	-5,00	9,00
19	true	0,00	0,00	0,95	13,47	56dadfc4-	0,00	-5,85	10,00
20	true	-101,96	58,49	0,95	200,00	48965d4c-	40,00	-76,00	165,00
21	true	-5,54	0,18	0,95	11,11	fb6c1709-	10,00	-2,00	2,00
22	false	-3,05	-0,10	0,95	7,67	0cba3bcb-	0,00	-1,00	1,00
23	false	-3,54	-0,50	0,95	8,89	e44acc85-	0,00	-1,00	1,00
24	true	0,00	0,00	0,95	13,47	28a673aa-	9,70	-5,85	6,94
25	true	-154,90	58,84	0,95	388,89	6a565012-	350,00	-150,00	195,00
26	false	-10,62	-0,50	0,95	26,67	befacc8b-	0,00	-1,00	1,00
27	true	-4,42	4,27	0,95	11,11	992951f8-	5,00	-1,45	4,45
28	true	-11,90	-29,43	0,95	29,87	197364d6-	21,50	-12,90	16,10
29	true	0,00	0,00	0,95	13,47	4daa5abe-	9,70	-5,85	6,94

Lisaks on tabelis 2.5 toodud ka reaktiivvõimsuskõvera andmed. Antud töös ei keskenduta põhjalikult sellele, kas reaktiivvõimsuskõvera kohta esitatud andmetes on

vastuolusid või kvaliteediprobleeme nt seoses võimsuspiirangute või tegelike võimsusväärtustega. Eesmärgiks on vaid näidata, missugusel kujul neid mudelis esitatakse ja seda, et need on regiooni B võrgumudeli jaoks vähemalt olemas, kui tuua esile ka probleemi, et neid regioonide A ja C võrgumudelites pole. 65st instantsist esitatakse esimesed 30.

2.2.5 Region C

Vaatleme regiooni C võrgumudelis elektrijaamas pinge juhtimisega seotud atribuute, mis on esitatud tabelis 2.6. Regiooni C võrgumudelis on kirjeldatud 44 sünkroonmasinat, millest kõikidel on olemas automaatse juhtimisega seotud atribuudid. Osade kohta on põhivõrguettevõtte kaudu teada info [26], et need on agregeeritud, kuid võrgumudelis vastav informatsioon puudub ja see on probleem. Positiivsena saab esile tuua, et kõikide sünkroonmasinate juures on kirjeldatud automaatse pinge juhtimisega seotud seadeväärtused. Tegu on kolmest vaadeldava regiooni võrgumudelitest ainsaga, kus see nii on. Kahjuks peab tõdema, et vähemalt selle töö analüüsi põhjal näib, et tervikut vaadates on sünkroonmasinate juurest pinge juhtimist modelleeritud võrgumudelis C teistest regioonidest halvemini. Enamikul regiooni C sünkroonmasinatest on automaatne juhtimine võrgumudelis keelatud, hoolimata automaatse pinge juhtimisega seotud seadeväärtuste olemasolust. Paljudel juhtudel võib see olla põhjendatud, sest koormus on niivõrd madal, et pinge automaatne juhtimine pole teostatav. Suurema võimsusega üksustes on see lubatud ja see on hea. Samas on sünkroonmasinaid, millel on samuti arvestatavad koormused (20-40 MW), kus pinge automaatne juhtimine võiks lubatud olla, et tulemus vastaks paremini reaalsusele. Teise tähelepanuväärse asjaoluna on vaja märkida, et enamikel üksustel puudub mudelis reaktiivvõimsuse tootmine, sest mudeli reaktiivvõimsuse limiidid on seadistatud nullilähedaseks. Kuna reaktiivvõimsuse tootmise ja tarbimise juhtimine on reaalsuses võtmetähtsusega, siis mudelis nullilähedased reaktiivvõimsuse limiidid ei võimalda elektrijaamades pinge juhtimist modelleerida. Positiivne on, et pinge juhtimisega seotud seadeväärtused on olemas ja neid on võimalik analüüsida ja võrrelda tulemuslike pingetega. Seoses sellega, et sõlmepingete määramiseks on võimalik kasutada reguleeriva kontrolli atribuuti, on võimalik tagada, et SV failist on võetud õiged sõlmepingete väärtused. Negatiivne on aga see, et puudu on sünkroonmasina nimipingete väärtused, viited reaktiivvõimsuskõveratele ja pinge juhtimise ulatuse atribuudi väärtus. Kõikidel juhtudel on reguleeriv kontroll seadistatud diskreetseks, mis on õige seadistus. Puudub **deadband** atribuudi väärtus, nagu ka regiooni A ja B võrgumudelites, mis võib tekitada probleemi, juhul kui mudelis pinge automaatne juhtimine on sisse lülitatud, seoses suure tundlikkusega, aga muudel juhtudel probleemi olla ei pruugi.

Tabel 2.6 Regiooni C võrgumudeli elektriyaamast pinge ja pinge juhtimisega seonduvad seadeväärtused

ID	Equipment.aggregate	RegulatingControlRegulatingControl	RegulatingControlControlEnabled	RotatingMachine.p	RotatingMachine.q	RotatingMachine.ratedS	SynchronousMachine.ratedU	SynchronousMachine.inertia	SynchronousMachine.maxQ	SynchronousMachine.minQ	RegulatingControl.voltageRegulationRange	RegulatingControl.discrete	RegulatingControl.enabled	RegulatingControl.targetValue	S.voltage
43	5f61dafd-ba	false	0,00	0,00	700,00			0,00	0,00		false	false		350,42	350,42
0	5ed64cc4-ba	true	-875,00	250,49	980,00			500,00	-500,00		false	true		350,00	350,00
1	06b69b75-ba	true	-300,00	173,58	440,00			300,00	-300,00		false	true		350,00	350,00
22	47868df3-ba	false	-8,03	0,00	30,00			0,00	0,00		false	false		118,72	118,72
42	4a1992b3-ba	false	-1,10	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		118,37	118,37
21	705f62c9-ba	false	-0,36	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		118,18	118,18
12	76256fe2-ba	false	-1,40	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		117,53	117,53
14	58872b70-ba	false	-2,38	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		117,53	117,53
36	eaf4b007-ba	false	-0,36	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		117,49	117,49
40	953f1049-ba	false	-0,60	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		117,43	117,43
13	416b34e3-ba	false	-1,81	0,00	20,00			0,00	0,00		false	false		117,42	117,42
33	0f17e112-ba	false	-0,38	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		117,34	117,34
41	366020b8-ba	false	-1,10	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		117,25	117,25
34	deb9bb8f-ba	false	-0,30	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		117,15	117,15
32	954920fb-ba	false	-0,66	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		117,08	117,08
2	8ebf5225-ba	true	-76,80	21,77	82,00			60,00	-30,00		false	true		117,00	117,00
7	37bcd9d9-ba	true	-163,20	38,41	220,00			100,00	-50,00		false	true		117,00	117,00
3	7da4b01f-ba	false	0,00	0,00	60,00			0,00	0,00		false	false		116,95	116,95
11	ec88a792-ba	false	-0,69	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		116,94	116,94
39	f1b05946-ba	false	-22,87	0,00	65,00			0,00	0,00		false	false		116,83	116,83
20	96d60e2f-ba	false	-0,41	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		116,81	116,81
16	dba7f2c5-ba	false	-0,99	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		116,78	116,78
17	74f6026f-ba	false	-0,30	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		116,73	116,73
30	97370356-ba	false	-0,60	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		116,70	116,70
5	cc96d3e2-ba	false	-19,14	0,00	62,00			0,00	0,00		false	false		116,69	116,69
35	d4edf597-ba	false	-38,86	0,00	120,00			0,00	0,00		false	false		116,69	116,69
9	085271e1-ba	false	-0,69	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		116,66	116,66
31	cd9c0243-ba	false	-0,41	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		116,65	116,65
6	4de359c3-ba	false	0,00	0,00	410,00			0,00	0,00		false	false		116,64	116,64
28	991ed17d-ba	false	-0,30	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		116,64	116,64
4	4137d072-ba	false	-7,00	0,00	20,00			0,00	0,00		false	false		116,57	116,57
15	10d95b4c-ba	false	-1,51	0,00	15,00			0,00	0,00		false	false		116,54	116,54
37	515491e5-ba	false	-15,90	0,00	30,00			0,00	0,00		false	false		116,48	116,48
8	81fcbeed-ba	false	-0,99	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		116,47	116,47
38	6d27ae2c-ba	false	-1,84	0,00	15,00			0,00	0,00		false	false		116,46	116,46
19	4675ecbb-ba	false	-0,99	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		116,39	116,39
18	8194d0a1-ba	false	-0,30	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		116,35	116,35
23	7f876f15-ba	false	-1,10	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		116,28	116,28
29	05f1e530-ba	false	-0,79	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		115,64	115,64
25	597da1f9-ba	false	-1,18	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		115,54	115,54
24	2f185f17-ba	false	-1,23	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		115,26	115,26
10	e944f13e-ba	false	-0,36	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		115,21	115,21
27	13d8bc8f-ba	false	-1,92	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		114,93	114,93
26	745f6a60-ba	false	-0,38	0,00	10,00			0,00	0,00		false	false		114,60	114,60

Pingete analüüsi kohta saab öelda, et nii seadeväärtuse pingete kui tulemuslike pingete väärtused paistavad olema vastavuses võrgueeskirjade ja pinge juhtimise kokkulepitud põhimõtetega. Kolm sünkroonmasinat on seadistatud 330 kV pinge astmele, ülejäänud 41 omakorda 110 kV pingeastmele. Siin aga võime järjekordselt pigem eeldada, et tõenäoliselt on enamike sünkroonmasinate endi nimipinged väiksemad ja tegelikult on siin tegu olukorraga, kus pingete väärtused juba ülekandevõrgu liinide lattidel, mille pinge on realsuses trafod juba tõstnud sünkroonmasinate endi latipingete juures. On võimalik, et ka siin on mudeli lihtsustamise huvides jäetud vastavad trafod võrgumudelisse sünkroonmasinate ja ülekandevõrgu vahel jäetud modelleerimata, mis

võib mõjutada pinge juhtimise modelleerimise kvaliteeti negatiivses võtmes. Viimase probleemina tooks esile ka selle, et seadeväärtuse väärtus on kõikidel juhtudel identne pinge tulemusliku väärtusega, mis reaalsuses ei tundu realistlik.

2.3 Pinge juhtimine trafodega

Atribuutide definitsioone ja erinevate klasside vahelisi seoseid on kirjeldatud käesoleva töö peatüki 1.3 alguses, seda just pinge juhtimist üldisemalt puudutavate klasside ning atribuutide osas. Peatükis 1.3.2. on käsitletud pinge juhtimist standardijärgselt trafodes.

2.3.1 Pinge juhtimisest uuritud regioonide võrgumudelites

Esimesena pöörame tähelepanu astmelülitite olemasolule regiooni A mudelis. Regiooni A mudelis on kirjeldatud kokku 47 astmelülitit. Suure osa võrgumudelisisalduvatest astmelülititest on võimalik regioonimudelisisalduva leida CimDeskist, otsides „**Equipment**“ ehk varustuse failist. Edasine teekond on: geograafiline regioon, sealt edasi regiooni nime alt, edasi **SubGeographicalRegion**, selle alt valides mistahes regiooni tuleb edasi liikuda alajaamade alla, sealt edasi on võimalik valida suvaline alajaam, mis sisaldab trafot, trafo alt valida saadavalolevatest trafodest üks, selle alt trafo mähise lõpp ehk „**PowerTransformerEnd**“, sealt edasi primaar või sekundaar, üldjuhul primaar ja selle alt on võimalik lõpuks mudelisisalduva leida üks astmelülititest. Regiooni mudelisisalduva A on võimalik leida astmelüliti ka Trafo mähise alt edasi Terminali jaotuse alt.

Mudeli püsitalitluse eeldustena etteantavates seadeväärtustes on antud astmelülitite esialgsed asendid SSH failis **RatioTapChanger** all kõikide 47 astmelüliti jaoks. Astmelüliti lõpliku astme asendi leiab SV ehk State Variable failist, kus on kirjeldatud kõikide mudelisisalduva tulemuste muutujate väärtused. Selle all on kohe esimene alljaotus **SvTapStep**, kus on välja toodud kõikide 47 astmelüliti asendite väärtused. 24-l juhul, mil astmelüliti kontroll on reguleeritud, on toodud info astmelüliti kontrollimise kohta SSH failis **TapChangerControl** all.

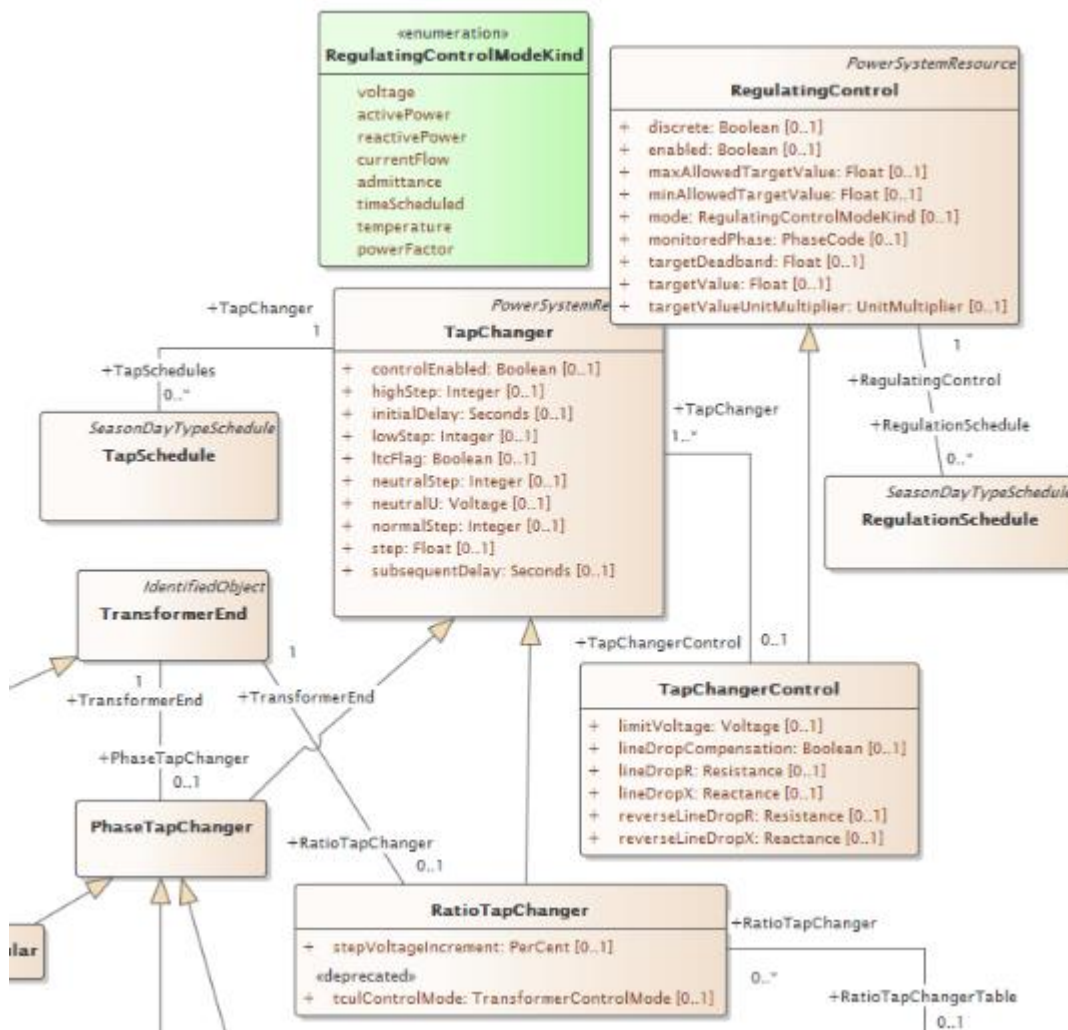
Regiooni B võrgumudelisisalduva on kirjeldatud 303 astmelülitit. Regiooni B võrgumudelisisalduva on võimalik varustusefailist leida astmelülitiga seonduvat informatsiooni, otsides geograafilise regiooni alt, sealt edasi valides regiooni alt subgeograafilise regiooni, selle alt alajaamad, alajaama alt trafo, trafo alt terminali, mille alt on võimalik valida „**RatioTapChanger**“, kus on võimalik leida informatsiooni astmelüliti kohta. Samamoodi on võimalik leida ka väljad astmelüliti kohta valides õige trafo mähise lõpu („**PowerTransformerEnd**“). SSH failis on ära toodud astmelüliti astmete seadeväärtused „**RatioTapChanger**“ all ja samuti astmelüliti kontrollimisega seotud seadeväärtused „**TapChangerControl**“. SV ehk mudelisisalduva tulemuste muutujate failis on toodud ära mudelisisalduva

käitamisel olevate astmelülitite tegelikud väärtused. Otseselt pole siin tuntavat erinevust regiooni A võrgumudeliga, välja arvatud see, et võrgumodelis B on kirjeldatud astmelüliteid üle viie korra rohkem.

Regiooni C võrgumodelis on kirjeldatud kokku 26 astmelülitit. Varustuse ehk Eq failist otsides on võimalik astmevaheldejaid leida subgeograafilise regiooni alt, valides ühe regioonidest, sealt edasi selle alajaamad, alajaama alt trafod, trafodest ühe ja selle alt trafo mähise lõpud, ning trafo mähise lõpu alt on võimalik leida astmelüliti („**RatioTapChanger**“). Astmelüliti eelduslikke seadeväärtusi on võimalik leida SSH failist **RatioTapChanger** alt ja mudeli tulemustest nende lõplikke väärtusi tulemustest SV failis „**SvTapStep**“ alt. Regiooni C astmelülititel pole mudelis lubatud astmelülitite automaatne juhtimine, ja sellest tulenevalt pole nende kontrollimisega seotud infot („**TapChangerControl**“) mudelis toodud. Tuleb kindlasti tähele panna, et astmelülitite hulk, mida on mudelis kirjeldatud, on väike, ja ka mudeli üldisel uurimisel selgub, et tegu on suhteliselt agregeeritud ning lihtsustatud mudeliga, kus põhjalikumalt on välja toodud vaid 330 kV ja osaliselt ka 110 kV tasemel mudeliosa, kuid väiksemaid pingestmeid detailsemalt pole kirjeldatud.

Teatavaks probleemiks aga regiooni A ja B võrgumodeli juures on astmelülitite automaatse juhtimisega seonduv, mille klasside seosed on joonisel 2.1. Regiooni C puhul pole võimalik käesolevast probleemist rääkida lihtsalt seetõttu, et C võrgumodelis puuduvad astmelülititel seadeväärtused kontrollimise ja juhtimise osas sootuks, mis on suurem probleem. Nimelt on võrgumodelites A ja B jäetud kasutamata **TapChangerControl**-ile, atribuutide kohta nagu näiteks **limitVoltage**, **lineDropR** jne. Olemas on vaid atribuudid, mis on päritud **RegulatingControl** klassilt. On küll tõsi, et **TapChangerControl**-i lisanduvad atribuudid ei ole otseselt standardi järgselt kohustuslikud võrgumodelis kasutamiseks, kuid see ei tähenda siiski, et saaks väita, et neil atribuutidel poleks vähimatki rakendust ühegi regiooni võrgumodeli ühegi astmelüliti modelleerimisel.

Viimase, ehkki väiksema probleemina tuleks esile tuua, et võrgumodelis puudub info kõikides võrgumodelites **TapSchedule**-i kohta ehk puuduvad astmelülitite graafikute mudelid, ehkki standardis on ka see kirjeldatud. Arvestades, et realsuses peaks olema vähemalt paljudel astmelülititel nõ graafikud lüliti asendite korrigeerimiseks sõltuvalt koormusest ja aastaajast, võiks ka see olla võrgumodelist leitav. Tegu pole muidugi suure probleemiga, kuid siiski millegagi, millele võiks olla põhjust teatavat tähelepanu juhtida.



Joonis 2.1 Skeemi osa astmelülitite mudelstruktuuri osast, kus võrgumudelite suhtes võimalike puudusi tuvastati seoses olemasoluga mudelites

2.3.2 Atribuudid ja nende omadused ning väärtused regiooni mudelites.

Sõlmedes olevate pingete väärtuste analüüs

Enne kui saab asuda kirjeldama regiooni võrgumudelite astmelülititega seotud atribuutidest ja nende väärtustest, tuleb lahti seletada kõigepealt erinevus sõlme pingete leidmise vahel olukorras, kus **TapChangerControl**-ile on viited ja informatsioon olemas, võrreldes olukorraga, kus see puudub. Nimelt astmelüliti atribuutide seas pole terminalie viiteid, mille abil oleks seda kerge SV faili mudeli tulemuslike pingetega kokku viia. Selleks, et seda siiski teha, on vaja kasutada astmelüliti atribuuti **TransformerEnd**, seejärel kasutades **TransformerEnd.Terminal** atribuuti, et see kokku viia Terminalidega, kust on võimalik leida **TopologicalNode**, mille abil astmelüliti viia vastava pingega kokku.

Järgnevalt kõikide võrgumudelite kohta analüüsitakse astmelülitite seadeväärtusi kahes jaos, esiteks need millel **TapChangerControl**-ile viited puuduvad ja mille sõlmes olev tulemuslik pinge tulemus on seega ebausaldusväärne. Seejärel **TapChangerControl**

atribuudiga astmelülitid, mille mudeli tulemuslik pinge peaks olema kindlalt pärit õigest reguleeritavast sõlmest.

2.3.3 Regioon A

Esmalt regiooni A võrgumudelisis olevatest astmelülites, millel reguleeriva kontrolliga seotud seadeväärtused puuduvad. Kõikides regiooni A võrgumudelisis astmelülites on kasutatud atribuuti **IdentifiedObjectDescription**, kus on kirjeldatud, kas kasutatav astmelüliti on primaarne või sekundaarne („Primary tap“ või „Secondary tap“). Vaatluse all olevast 23st astmelülitist kahel juhul on tegu sekundaarse ja 21-l juhul primaarse astmelülitiga. Ilmselt oleks mõistlik, et selle info jaoks oleks eraldi atribuut standardist, mille kohta modelleerimisel võiks vastav info olla edastatud. Kusjuures regiooni B ja C võrgumudelites vastavat infot astmelülite kohta ei edastata. Mitteamomaatselt mudelis reguleeritavatest astmelülitest vaid 2 juhivad 110 kV pingest, ülejäänud madalamaid pingest. Kõigil madalamatel pingetel on kõigest kolme astet, mis tavaliselt on asendis 2. Ainult viimasel kahel on reguleeritav astmevahemik 1-16, normaalne aste („**normalStep**“) 9. Ülejäänud 21-l juhul on reguleeritav vahemik 1-3, tavaline aste („**normalStep**“) 2. Kusjuures kõikidel juhtudel on astmelüliti normaalne aste, sisendis antud aste ja trafo lõplik aste SV tulemuste failis omavahel identsed. Sisendis antav ja mudeli väljundis olevad sammud peavadki olema identsed, sest automaatse juhtimisega seotud seaded neil 21-l juhul puuduvad ja mudelis astmete automaatne juhtimine on seega siin keelatud.

Ühe astmelüliti atribuudina on toodud ka **ItcFlag**, mis määrab ära selle, kas astmelülitil on omadus automaatselt muuta oma astet sõltuvalt koormusest. Viimane omadus on väga selgelt seotud trafo juhtimisega võimega, sest regiooni A puhul, kus on lubatud automaatne juhtimine, on võimalik ka trafol automaatselt lubatud juhtida astmelülitit sõltuvalt asendist, koormusest ja pingest. Vastav atribuut on „True“ kusjuures tulemustes kõikidel juhtudel kui astmelüliti juures automaatne juhtimisega seotud seadeväärtused on olemas, ja „False“ kõikidel juhtudel, kui see puudu on. Seega neist 23-l vaadeldaval astmelülitil on need kõikidel juhtudel „False“. Üks veel kirjeldamata atribuut on **stepVoltageIncrement**, mis väljendab protsendiliselt, kui mitu protsenti vastavalt astme suurendamisele või vähendamisele reguleeritava sõlme pinge langeb või tõuseb. Juhul kui trafo pinget reguleeritakse 110 kV astmel, on see protsent regiooni A astmelülititel 1.25, ja ülejäänud juhtudel varieerub 1.8-st kuni 4.9-ni. Kummaliseks võib pidada, et miks astmelülititel, mille neutraalne pinge on 6.3 kV, on see kõigest 1.8, mis tähendab, et vastavat sõlme pinget on võimalik mõjutada vaid $\pm 1.8\%$, arvestades, et astmeid kõigest 3.

Viimasena saab analüüsitud ka sõlmedes olevaid pingeid. Seoses pinge automaatse juhtimist võimaldavate seadeväärtuste puudumisega, pole pinge sihtväärtusi, mida saaks siin hinnata või millega võrrelda. Samas pingestatud sõlmedes, kus on astmelülitiga seotud trafod, vastavad mudeli tulemuslikud pinged oma tasemelt kehtivatele põhimõtetele. Tabelis 2.7 on ära toodud nimekiri regiooni A astmelülititest, millel puudub info automaatse juhtimise kohta.

Tabel 2.7 Regiooni A astmelülitite atribuudid, millel puuduvad pinge automaatse juhtimisega mudelis seotud seadeväärtused

ID	IdentifiedObject.description	RatioTapChanger.stepVoltageIncrement	TapChanger.TapChangerControl	TapChanger.controlEnabled	TapChanger.highStep	TapChanger.lowStep	TapChanger.ltcFlag	TapChanger.neutralStep	TapChanger.neutralU	TapChanger.normalStep	SVVoltage.v	SVTapStep.position
373	Seconda	1,25	false	16	1	false	9	115	9	9	119,66	9
370	Primary	4,90	false	3	1	false	2	20	1	1	20,43	1
369	Primary	4,90	false	3	1	false	2	20	1	1	20,42	1
371	Primary	4,90	false	3	1	false	2	20	1	1	20,08	1
368	Primary	5,28	false	3	1	false	2	18	1	1	18,28	1
364	Primary	4,90	false	3	1	false	2	16	1	1	16,25	1
365	Primary	4,90	false	3	1	false	2	16	1	1	16,24	1
367	Primary	4,90	false	3	1	false	2	16	1	1	16,14	1
366	Primary	4,90	false	3	1	false	2	16	1	1	16,14	1
347	Primary	4,25	false	3	1	false	2	11	1	1	10,84	1
356	Primary	5,00	false	3	1	false	2	11	1	1	10,27	1
355	Primary	5,00	false	3	1	false	2	11	1	1	10,27	1
345	Primary	9,10	false	3	1	false	2	11	1	1	10,26	1
344	Primary	9,10	false	3	1	false	2	11	1	1	10,05	1
334	Primary	1,80	false	3	1	false	2	6	1	1	6,44	1
372	Primary	1,80	false	3	1	false	2	6	1	1	6,44	1
335	Primary	9,10	false	3	1	false	2	16	1	1	0,00	1
336	Primary	9,10	false	3	1	false	2	16	1	1	0,00	1
346	Primary	4,35	false	3	1	false	2	6	1	1	0,00	1
348	Primary	1,80	false	3	1	false	2	6	1	1	0,00	1
349	Primary	1,80	false	3	1	false	2	6	1	1	0,00	1
363	Primary	4,90	false	3	1	false	2	16	1	1	0,00	1
375	Seconda	1,25	false	16	1	false	9	115	9	9	0,00	9

24 astmelülitit, mille automaatne kontroll on reguleeritud, omavad ka mudelis eraldi informatsiooni nende kontrolli kohta **TapChangerControl** all, mida sai välja toodud ka varasemas teooria osas. Ka siin on kõikide astmelülitite kohta välja toodud info, kas tegu on primaarse või sekundaarse astmega. 22 astmelülitil on tegu primaarse ja ülejäänud kahel juhul sekundaarse astmega. Nagu juba välja toodud, siis tegelikult on siin atribuute puudu, sest võrgumudelil olid vaid **TapChangerControl** atribuudid, mis on päritud **RegulatingControl**-ilt. Siinkohal on oluline välja tuua, et atribuutidest on nähtav, et astmelüliti kontroll on kõikidel juhtudel lubatud ja nende juhtimise viis on diskreetne,

mis vastavalt standardile peab juhtimine astmelülitel ka olema. Kõikidel juhtudel on seadistatav sihtväärtus, mida hoida üritatakse, 116.95 ja 119.1 kV vahel. Veel on kõikidel seadistatud nn **deadband value**, vältimaks ülejuhtimist, mis tähendab, et kui pinge asub vastavas vahemikus sihtväärtusele piisavalt lähedal, siis astmelüliti automaatne juhtimine ei reageeri üritamiseks pinget sihtväärtusele lähemale saada. Regiooni A võrgumudelil on üks juht, kus see on 2.6 kV, ülejäänud juhtudel varieerub 3.0 ja 4.9 kV vahel. Olulisemad seadeväärtuste väärtused on ka ära toodud tabelis 2.8.

Tabel 2.8 . Regiooni A võrgumodeli astmelülite seadeväärtused, millel on automaatse juhtimisega seotud seadeväärtused olemas ja sisse lülitatud

ID	IdentifiedObject.description_x	RatioTapChanger.stepVoltageIncrement	TapChanger.TapChangerControl	TapChanger.control.Enabled	TapChanger.highStep	TapChanger.lowStep	TapChanger.itcFlag	TapChanger.neutralStep	TapChanger.neutralU	TapChanger.normalStep	TapStep.position	RegulatingControl.discrete	RegulatingControl.enabled	RegulatingControl.targetDeadband	SVoltage
20	Primary Tap	1,6 c7f5cbb6	true	21	1 true	11	115	11	10	10 true	true	3,90	118,55	120,43	
19	Primary Tap	1,6 9df66d9d	true	21	1 true	11	115	11	10	10 true	true	3,90	118,55	120,43	
22	Primary Tap	2,0833 49cc092d	true	13	1 true	5	110	5	6	6 true	true	3,60	119,10	120,06	
21	Primary Tap	2,0833 0d7d3462	true	13	1 true	5	110	5	6	6 true	true	3,60	119,10	120,06	
33	Primary Tap	2,0833 be099034	true	13	1 true	5	110	5	5	5 true	true	4,30	118,35	119,11	
34	Primary Tap	2,0833 eec7c811	true	13	1 true	5	110	5	5	5 true	true	4,30	118,35	119,11	
17	Primary Tap	2,0833 233fc0e9	true	13	1 true	5	110	5	5	5 true	true	3,60	118,50	118,78	
38	Primary Tap	1,6 c397f660	true	19	1 true	11	115	11	7	7 true	true	2,60	118,00	118,77	
26	Primary Tap	1,6 6cbf80cd	true	21	1 true	11	115	11	10	10 true	true	3,60	117,30	118,72	
25	Primary Tap	1,6 53b36ed7	true	21	1 true	11	115	11	9	9 true	true	3,60	117,30	118,72	
27	Primary Tap	2,0833 3871645e	true	13	1 true	5	110	6	5	5 true	true	3,90	117,85	118,66	
37	Primary Tap	2,0833 bce56c03	true	13	1 true	5	115	5	2	2 true	true	4,00	118,50	118,54	
32	Primary Tap	1,6 f2c699a6	true	21	1 true	11	115	11	8	8 true	true	3,90	116,95	118,46	
31	Primary Tap	1,6 2abce1ff	true	21	1 true	11	115	11	8	8 true	true	3,90	116,95	118,46	
30	Primary Tap	2,0833 f5b8c70e	true	13	1 true	5	110	4	5	5 true	true	3,10	118,05	118,37	
36	Primary Tap	2,0833 746c084f	true	13	1 true	5	110	5	5	5 true	true	4,90	117,15	118,35	
35	Primary Tap	2,0833 56d97da6	true	13	1 true	5	110	5	5	5 true	true	4,90	117,15	118,35	
28	Primary Tap	1,6 1e88c808	true	20	1 true	10	110	10	10	10 true	true	3,40	118,80	118,00	
29	Primary Tap	1,6 48a3bc9d	true	20	1 true	10	110	10	10	10 true	true	3,40	118,80	118,00	
24	Primary Tap	1,78 ba6a6b1f	true	19	1 true	11	115	11	7	7 true	true	3,00	116,50	117,86	
23	Primary Tap	1,78 9fc70bd1	true	19	1 true	11	115	11	7	7 true	true	3,00	116,50	117,86	
16	Secondary Tap	2,0833 36a5f288	true	13	1 true	5	110	5	4	4 true	true	3,00	117,40	117,28	
39	Secondary Tap	2,0833 b520b1f6	true	13	1 true	5	110	5	4	4 true	true	3,00	117,40	117,28	
18	Primary Tap	2,0833 3b942063	true	13	1 true	5	110	5	5	5 true	true	3,60	118,50	0,00	

2.3.4 Region B

Järgmiseks saab kirjeldatud regiooni B võrgumodeli astmelüliteid, mida oli võrgumudelil kokku tervelt 303. Neist vaid 16 omavad viidet **TapChangerControl**-ile ja omavad automaatse pinge juhtimisega seonduvaid seadeväärtusi, samas kui 287 astmelülitel mudelis vastavad viidet **TapChangerControl**-ile puuduvad, mis omakorda tähendab, et automaatne juhtimine nende puhul pole võimalik. Taaskord saab esimesena kirjeldatud astmelüliteid, millel puuduvad automaatse juhtimisega seotud seadeväärtused. Tabelis 2.9 on toodud regiooni B võrgumodeli nimekirjast 30 esimest astmelülitit, millel automaatne juhtimine mudelis puudub, eesmärgiga anda üldine hinnang atribuutide

kasutamisele, reastades neid mudeli tulemuste sõlme astmelüliti neutraalse pinge atribuudi järgi alates suurimast.

Tabel 2.9 Regiooni B 30 astmelüliti, millel puuduvad automaatset mudelis pinget juhtimist võimaldavad seadeväärtused, järjestatuna neutraalse pinget atribuudi väärtuse järgi

ID	IdentifiedObject.description	RatioTapChanger.stepVoltageIncrement	TapChanger.stepVoltageIncrement	TapChanger.controlEnabled	TapChanger.highStep	TapChanger.lowStep	TapChanger.ltcFlag	TapChanger.neutralStep	TapChanger.neutralU	TapChanger.normalStep	SWVoltage.v	SWTapStep.position
286		-1,33	false	12	0	true	6	347	6	6	358,66	6
80		2,50	false	4	0	false	4	327	4	4	354,02	4
112		-1,33	false	12	0	true	6	315	6	6	354,02	6
290		-1,33	false	12	0	true	6	347	6	6	354,02	6
217		-1,67	false	18	0	true	7	115	7	7	133,43	7
52		-1,78	false	18	0	true	9	105	9	9	133,41	9
42		1,78	false	18	0	true	9	115	9	9	133,35	9
168		-1,78	false	18	0	true	9	115	9	9	133,35	9
108		-1,67	false	18	0	true	9	105	9	9	133,26	9
202		-1,78	false	18	0	true	9	105	9	9	132,93	9
78		-1,67	false	18	0	true	9	105	9	9	132,68	9
148		-1,67	false	18	0	true	9	105	9	9	132,66	9
32		-1,78	false	18	0	true	9	105	9	9	130,98	9
159		-1,67	false	18	0	true	9	105	9	9	130,98	9
152		-1,78	false	18	0	true	9	105	9	9	128,77	9
170		-1,67	false	18	0	true	9	105	9	9	128,77	9
193		-1,78	false	18	0	true	9	105	9	9	128,77	9
44		-1,78	false	18	0	true	9	105	9	9	128,71	9
171		-1,67	false	18	0	true	9	105	9	9	128,70	9
100		-1,78	false	18	0	true	9	105	9	9	128,68	9
189		-1,78	false	18	0	true	9	105	9	9	128,68	9
190		-2,50	false	8	0	true	4	110	4	4	128,39	4
265		-2,50	false	8	0	true	4	115	4	4	128,28	4
73		-1,78	false	18	0	true	9	105	9	9	128,26	9
325		-1,60	false	18	0	true	9	115	9	9	128,11	9
96		-1,67	false	18	0	true	9	105	9	9	127,97	9
201		-1,67	false	18	0	true	9	105	9	9	127,97	9
129		-1,67	false	18	0	true	9	105	9	9	127,88	9
207		-1,67	false	18	0	true	9	115	9	9	127,88	9
210		-1,67	false	18	0	true	9	115	9	9	127,86	9

Vaatluse all olevast 287st astmelüliti 7 astmelüliti juhivad pinget astmel 330 kV, 228 astmelüliti pingestastmel 110 kV, ülejäänud 52 astmelüliti madalamatel pingestastmetel. 330 kV pingestastmet reguleerivatel astmelülitel reguleeritakse astmeid vahemikus 0-12, kus **neutralStep** atribuut ehk neutraalne aste on 6, või siis vahemikus 0-30, kus neutraalne aste on 15. Ühe anomaalia paistab silma 330 kV astmelüliti, mis reguleerib

vahemikus 0-4, neutraalse astmega 2. 110 kV astmelüliti juhivad enamuses vahemikus 0-18, neutraalne aste 9, vähemal määral vahemikus 0-8, neutraalne aste 4. Madalamate pingete puhul on 35 kV pingeastmel kasutusel lülid vahemikuga 0-4, normaalne aste 2, ja pinge astmel 15 kV 0-2, normaalne aste 1. Tõenäoline viga modelleerimisel ongi seotud ilmselt 15 kV pingeastmel olevate astmelülitega, mille **stepVoltageIncrement** ehk astme lülitamise muutuva protsendi pingest on 0.1%, mis tundub selgelt liiga madal ja mis tähendaks, et lülitamisel puuduks sisuline mõju pingele. Kõikidel teistel juhtudel varieerub vastav näitaja 1-3% vahel, sealhulgas astmelülitel millel on astmeid 18 või 30. **ItcFlag** atribuut on „true“ 271-l juhul 287st, mis tähendab, et neil trafodel peaks olema automaatne koormusest sõltuv juhtimine võimalik. See tähendab, et kõikidel neil trafodel võiks olla olemas ka automaatse juhtimisega seonduvad seadeväärtused. Ülejäänud 16-st juhust 10 omavad neutraalset pinget astmel 15 kV, kus tulenevalt pingeastmest ei ole koormuse järgi juhtimine võimalik. Kummastavad on aga 6 ülejäänud juhtumit, millest 1 on neutraalse pingega koguni astmel 330 kV, ja 5 astmel 110 kV, ning ikkagi pinge juhtimist ei võimalda, mis suure tõenäosusega viitab modelleerimisel tehtud vigadele.

Probleemina tõusevad esile ka kummalised seaded atribuut **neutralU** kohta, mis peaks kehtestama, millist pinget astmelüliti hoiab, olles neutraalses asendis. Loogiline oleks, et seda hoitakse baaspingest natuke kõrgema tööpinge juures, ja enamasti see ka nii on. Samas on erandeid. Nt 330 kV pingeastmel on ühel juhul neutraalseks pingeks määratud 327.17 kV, ehk pisut alla baaspinge, kuid esineb ka juhtum, kus see on kõigest 315.45 kV. Veel iseäralikumaks muutub pilt 110 kV pingeastmel pinget juhtivate astmelülite juures, mida on kokku 237 ehk enamus regiooni B võrgumodeli astmelülititest. 2 juhtumit on sellised, kus **neutralU** atribuut koos keskmise astmega on 125.5 kV juures, mis peaks olema võrgutalitluse seisukohast lubamatult suur pinge. Madalama poole peal on aga 107 astmelüliti, kus neutraalne pinge neutraalse astme jaoks on madalam kui 105 kV, mis omakorda on äärmiselt madal.

Analüüsimise pingeid sõlmedes, kus automaatne juhtimine võrgumodelis lubatud pole. Seoses sellega puudub võimalus analüüsida seadeväärtuse sihtväärtusi ja ka pingeid seadeväärtuse sihtväärtustega võrrelda. 330 kV pingetasemel olevates sõlmedes on pinge vastavalt kokkulepitud normidele sobivatel tasemetel. Oluliselt probleemsemaks muutub olukord 110 kV tasemel, kus 158-st pingestatud sõlmest tervelt 38 juhul on tegu ülepingega, ehk pinge üle 121 kV. Neist 7 juhul on pinge 110 kV pingeastmel koguni üle 130 kV, mis tõele vastamisel päriselus tähendaks juba kriitilist ohtu seadmetele.

Seejärel kirjeldame regiooni B astmelüliteid, millel on olemas automaatse pinget juhtimisega võrgumudelis seotud seadeväärtused, mida on mudelis 16. 7-l neist reguleeritakse pinget 330 kV pingestmel, ülejäänud 9-l juhul 110 kV pingestmel. Kõikidel trafodel on lubatud automaatne juhtimine, sealhulgas automaatne juhtimine sõltuvalt koormusest. Kusjuures 330 kV pinget puhul, mille suhtes astmelüliti nimipinget oleks oma neutraalsel ehk keskmisel astmel pinget hoidmas, oleks kõikidel juhtudel 347 kV. Ülejäänud 9-l astmelülitel, mis juhivad 110 kV astmel, on vastav näitaja 115 kV. Kõik siinkirjeldatud astmelülitid juhivad astmeid vahemikus 0-12, neutraalse astmega 6, välja arvatud üks erandlik 110 kV astmelüliti, kus see vahemik on millegipärast 1-13, neutraalse astmega 7. Kummaline on, et hoolimata sellest, et mudelis on automaatne juhtimine võimaldatud, siis kõigil 16-l juhul on astmelüliti neutraalsed astmed, sisendiks antud eelduslikud astmed ja mudeli väljundis olevad tulemuslikud astmed, omavahel identsed. See tekitab küsimusi seoses sellega, miks modelleerimise käigus PowerFlow jooksutamisel astmelülite astmed ei muutu, kui vastavalt seadistustele need muutuma peaks.

Siinkohal on sujuvalt jõutud ka pingete analüüsini regiooni B võrgumudeli 16 astmelüliti kohta, millel on olemas ja seadeväärtuste järgi lubatud automaatne pinget juhtimine mudelis. 330 kV astmelülites 7st juhul kahel on mudeli tulemustes tegu suure ülepingega, kus mõlemal juhul on pinget 365,7 kV. 110 kV pingestmel olevatest astmelülititest ühel juhul vastavas sõlmes pinget puudub, neljal juhul aga on tegu ülepingega mudeli tulemuste järgi, kahel juhul pinget 128,1 kV ja kahel juhul koguni 133,4 kV, mis samuti oleksid reaalsuses kriitilist ohtu kujutavad olukorrad. Siit ilmneb ka, et regioonis astme automaatne juhtimine mudelis ei toimi, arvestades et ülepingega olukorras on kõikidel astmelülitel mõlemas suunas võimalik astet nii tõsta kui langetada. Teiseks, arvestades seda, et tulemuslik pinget Sv failist neil juhtudel selgelt ületab ka **targetDeadbandi**, mis tähistab vahemikku pinget sihtväärtuse ehk **targetValue** ümbruses, mille juures automaatne astme lülitamine aset leidma ei peaks. Sellest väljas olles peaks mudelis astmelüliti aste kindlasti muutuma ja sellega pinget korrigeeruma aktsepteeritavamale tasemele. Ülejäänud juhtudel, mida siin detailselt ei ole kirjeldatud, olid tulemuslikud pinged võrgueeskirjadele nõutavates vahemikus ega olnud ka vastuolusid sihtväärtuste ja seadeväärtuse **deadpan** vahemikuga. Regiooni B astmelülitid, millel on olemas pinget automaatse juhtimisega seonduvad seadeväärtused, on esitatud tabelis 2.10.

Tabel 2.10 Regiooni B astmelülitid, millel olemas pinge automaatse juhtimisega mudelis seonduvad seadeväärtused

ID	RatioTapChanger.stepVoltageIncrement	TapChanger.TapChangerControl	TapChanger.controlEnabled	TapChanger.highStep	TapChanger.lowStep	TapChanger.ltcFlag	TapChanger.neutralStep	TapChanger.neutralU	TapChanger.normalStep	Sv.TapStep.step	RegulatingControl.position	RegulatingControl.discrete	RegulatingControl.enabled	RegulatingControl.targetDeadband	Sv.Voltagev	
8	-1,33	7ce8aef1-	true	12	0	true	6	347	6	6	6	true	true	9,44	354,02	365,87
10	-1,33	c169a801-	true	12	0	true	6	347	6	6	6	true	true	9,44	354,02	365,87
11	-1,33	1684bc90-	true	12	0	true	6	347	6	6	6	true	true	9,44	354,02	355,69
13	-1,33	e2d8d03c-	true	12	0	true	6	347	6	6	6	true	true	9,44	354,02	355,69
14	-1,33	2096f0c3-	true	12	0	true	6	347	6	6	6	true	true	9,44	354,02	355,41
1	-1,33	12fe9763-	true	12	0	true	6	347	6	6	6	true	true	9,44	354,02	353,90
15	-1,33	fae11a9c-	true	12	0	true	6	347	6	6	6	true	true	9,44	354,02	353,90
0	-2,00	eeb23627	true	12	0	true	6	115	6	6	6	true	true	4,72	118,01	133,43
4	-2,00	b60e4221	true	12	0	true	6	115	6	6	6	true	true	4,72	118,01	133,43
2	-2,00	584bf5a3-	true	13	1	true	7	115	7	7	7	true	true	4,72	118,01	128,11
12	-2,00	0c3e43ba-	true	12	0	true	6	115	6	6	6	true	true	4,72	118,01	128,11
5	-2,00	cd2df38a-	true	12	0	true	6	115	6	6	6	true	true	4,72	118,01	120,30
3	-2,00	ab3fdaa2-	true	12	0	true	6	115	10	10	10	true	true	4,72	118,01	116,22
7	-2,00	f8fc564a-l	true	12	0	true	6	115	10	10	10	true	true	4,72	118,01	116,22
6	-2,00	59fa0c22-	true	12	0	true	6	115	10	10	10	true	true	4,72	118,01	114,42
9	-2,00	504ae586	true	12	0	true	6	115	6	6	6	true	true	4,72	118,01	0,00

2.3.5 Region C

Regiooni C võrgumudeli seadeväärtusi uurides on oluliseks tähelepanekuks, nagu juba varem ilmsiks tuli, et nende puhul mudelis automaatset juhtimist ei toimu. On teada, et suurematel pingeastmetel olevad astmelülitid reeglina on ka automaatselt reguleeritavad ja tavaliselt võrgus ka selliselt toimivad. Seega võib arvata, et selles aspektis regiooni C olukord ei vasta reeglitele. Kõik regiooni C võrgumudelites kirjeldatud astmelülitid juhivad pinget astmel 330 kV. Kusjuures kõikidel vaadeldavatel astmelülititel on 33 astet, mille nn neutraalne aste on 17. aste. Et mudelis astmelülitite automaatne juhtimine on keelatud, siis SSH failis seadistatud sisendiks olev aste ühtib ka alati SV failis oleva mudeli tulemustes kuvatava trafo astmega. Kusjuures kõikidel juhtudel on need neutraalsest väärtusest erinevad. Märkimist väärib asjaolu, et atribuut **ltcFlag** on kõikidel juhtudel „false“, mis näitab, et vastavatel astmelülititel puudub võime ennast koormuse järgi juhtida. Ilmselt on see jäetud meelega mudelis selliselt, seoses sellega, et mudelis pinge automaatset juhtimist puudutavad seadeväärtused puuduvad ja pinge automaatne juhtimine sellest tulenevalt mudelis ka loogiliselt keelatud. 26-st juhust 7-l on mudeli Sv faili tulemuslik pinge erinev astmelüliti neutraalse pinge astmest, mis tõenäoliselt on taaskord seotud probleemiga, mida on kirjeldatud juba alapeatüki alguses, tulenevalt sellest et sõlmepinged ilmselt ei vasta neil juhtudel sõlmedele, mille pingeid päriselt reguleeritakse.

Analüüsid pinget tulemuslikke väärtusi, tuleb tähelepanu juhtida asjaolule, et kuna pingemudel pinget automaatselt juhtimiseks võimaldavad seadeväärtused puuduvad, siis pole hetkel olemas ka pingete sihtväärtusi, mida siinkohal analüüsida saaks ja millega olemasolevaid tulemuslikke pinget võrrelda. Mida aga saab öelda olemasolevate tulemuslike pingete kohta, on et kõik pinged vastavalt oma pingestmele, on lubatu piires ja vastavad tunnustatud pinget juhtimise põhimõtetele. 330 kV astmel on kõrgeim näit 357,3 mis on suhteliselt optimaalsed. Madalamad pinged on 350 kV ümbruses. Tabelis 2.11 on ära toodud kõikide regiooni C astmelülid ja nende vastavad pinget juhtimisega seotud atribuudid, lisaks regiooni C astmelülite seadeväärtused.

Tabel 2.11 Regiooni C võrgumudeli astmelülid seadeväärtustega

ID	IdentifiedObject.description	Ratio	TapChanger.stepVoltageIncrement	TapChanger.TapChangerControl	TapChanger.controlEnabled	TapChanger.highStep	TapChanger.lowStep	TapChanger.ltcFlag	TapChanger.neutralStep	TapChanger.neutralU	TapChanger.normalStep	SVVoltage.v	SVTapStep.position
0		1,32	false	33	1	false	17	330	18	18	357,33	18	
1		0,79	false	33	1	false	17	330	16	16	357,33	16	
23		2,25	false	33	1	false	17	330	18	18	356,75	18	
20		2,56	false	33	1	false	17	330	18	18	354,95	18	
21		1,32	false	33	1	false	17	330	18	18	354,95	18	
19		1,01	false	33	1	false	17	330	18	18	354,73	18	
5		0,79	false	33	1	false	17	330	16	16	353,72	16	
6		1,32	false	33	1	false	17	330	18	18	353,72	18	
11		2,82	false	33	1	false	17	330	16	16	353,36	16	
12		1,96	false	33	1	false	17	330	16	16	353,36	16	
13		2,91	false	33	1	false	17	330	19	19	353,36	19	
9		0,79	false	33	1	false	17	330	16	16	353,19	16	
10		1,96	false	33	1	false	17	330	16	16	353,19	16	
25		2,88	false	33	1	false	17	330	18	18	352,37	18	
8		0,79	false	33	1	false	17	330	16	16	352,37	16	
15		0,79	false	33	1	false	17	330	16	16	350,89	16	
16		0,79	false	33	1	false	17	330	16	16	350,89	16	
2		0,79	false	33	1	false	17	330	16	16	350,62	16	
3		2,82	false	33	1	false	17	330	16	16	350,62	16	
4		0,79	false	33	1	false	17	330	16	16	350,42	16	
22		0,79	false	33	1	false	17	330	16	16	350,42	16	
24		1,63	false	33	1	false	17	330	18	18	350,34	18	
14		0,79	false	33	1	false	17	330	16	16	350,34	16	
17		0,79	false	33	1	false	17	330	16	16	350,18	16	
18		2,11	false	33	1	false	17	330	15	15	350,18	15	
7		0,79	false	33	1	false	17	330	16	16	349,61	16	

2.4 Pinget juhtimine põikikompensaatoritega

Atribuutide definitsioone ja erinevate klasside vahelisi seoseid on kirjeldatud käesoleva töö peatüki 1.3 alguses, seda just pinget juhtimise üldisemalt puudutavate klasside ja atribuutide osas. Peatükis 1.3.3. on käsitletud pinget juhtimise kujutamise standardjärgselt põikikompensaatoritega.

2.4.1 Pinge juhtimisest uuritud regioonide võrgumudelites

Regiooni A võrgumudelil on kokku 14 lineaarset suntkompensaatorit. Mudelistruktuurist on võimalik need leida EQ ehk varustusfailis vastavalt geograafilise, sealt edasi alageograafilise regiooni, valitud piirkonna konkreetse alajaama alt edasi **VoltageLevel** juures ja seal õigelt pingetasemelt võimalik valida **LinearShuntCompensator**. SSH failis on võimalik leida **RegulatingControl** alt automaatse regulatsiooniga seotud seadeväärtused ka pöikikompensaatoritele kõigil 14-l juhul. 11-l pöikikompensaatoril, millel on olemas viide automaatse regulatsiooni seadeväärtustele, on ka vastavad väärtused SSH failis **RegulatingControl** all. Oluline on ka ära nimetada SV fail, kus on leitavad mudeli tulemused veel **SvShuntCompensatorSections**, kus antakse info selle kohta, millised kompensaatorid mudeli jooksutamisel päriselt töötasid, mis on samuti olemas kõigi 14 pöikikompensaatori juures.

Regiooni B võrgumudelil on kirjeldatud 34 pöikikompensaatorit. EQ ehk varustusfailist on need endiselt leitavad sarnasel viisil ehk geograafilise regiooni alt alageograafilise regioon, selle alt alajaamad, alajaamadest valida vastav konkreetne alajaam, selle alt pingeste ja valitud kindla pinge astmelt on leitav kujul **LinearShuntCompensator**. Kõigil 34-l juhul on olemas SSH failis ette antud seadeväärtused seoses sisendis töös olevate sektsioonide arvuga. Et kõikidel regiooni B võrgumudeli pöikikompensaatoritel on olemas automaatset juhtimist võimaldavad seadeväärtused, on võimalik kõikide kompensaatorite instantside jaoks leida ka vastavad seadeväärtused SSH failis **RegulatingControl** all. SV tulemuste failis on kirjeldatud ka kõigi 34 pöikikompensaatori lõplikud sektsiooni astmed **SvShuntCompensatorSections** all.

Regiooni C võrgumudelil on kirjeldatud 7 erinevat pöikikompensaatorit, mis EQ ehk varustusfailis on leitavad alageograafilise regiooni alt kindla piirkonna alt valides alajaamad, selle alt pingeste (**VoltageLevel**) ja õige pinge astme alt on leitavad nii pöikikompensaator kui **LinearShuntCompensator**. Seoses sellega, et regiooni kõigil pöikikompensaatoritel puuduvad viited automaatse kontrolliva juhtimise kohta, pole võimalik ka vastavaid seadeväärtusi SSH failist **RegulatingControl** alt leida. SSH failist on siiski võimalik leida **LinearShuntCompensator** seadeväärtused selle kohta, millised astmed antakse kompensaatorile mudeli lähteseadetes. SV tulemuste failis on olemas ka kompensaatorite lõplikud astmed, mis on kõikidel juhtudel identsed SSH failis ette antuga tulenevalt selles, et mudeli automaatne juhtimine pole üheski kompensaatoris seadeväärtuste puudumise tõttu võimalik.

2.4.2 Atribuudid ja nende omadused ning väärtused regioonimudelites.

Sõlme pingete analüüs

Kõigi kolme regiooni võrgumudeli põikikompensaatoreid on analüüsitud kahes jaos. Esimesena vaadeldakse põikikompensaatoreid ja vastavaid pingeid nende poolt reguleeritud sõlmedes, kus puuduvad automaatse juhtimisega seotud seadmed. Teises jaos vaadeldakse kõiki põikikompensaatoreid, millel on olemas ka mudelis automaatse juhtimisega seotud seadeväärtused.

Enne kui saab edasi liikuda lähema suntkompensaatorite analüüsi juurde, tuleb kõigepealt kirjeldada ka siin suurt vastuolu, mis analüüsi käigus selgus. Nimelt sarnane probleem, mida on juba kirjeldatud esimese kahe pingeuhtimise meetodi juures, esineb ka põikikompensaatorite kasutamise meetodi juures. Selgus, et olenevalt sellest, kas sõlme pingete väärtuste leidmisel SV failist, kasutades võimalust teha seda läbi kas seadme ID-le vastava terminali või siis reguleeriva kontrolli atribuudi terminali, lõplik pingeline erineb. Antud juhul oli probleemi avastamine mõneti raskem, sest puudus olukord, kus pingestruktuur oleks esimeses variandis ühelgi juhul erinenud kompensaatori nimipingeline ja tulemusliku pingeline vahel. Tuleb muidugi mõista, et ka siinsel juhul võib reguleeritav sõlm olla erinev sõlmest, kus seade ise on. Samuti juhtudel, kus reguleeriva kontrolliga seotud seadeväärtused puuduvad, peaks eelduslikult kõigil neil juhtudel reguleeritava pingega sõlm ühtima sõlmega, kus seade asub. Samas juhul, kui modelleerimisel on tehtud nt viga või et reguleeriva kontrolliga seotud seaded peaksid olema kirjeldatud, kuid pole seda ja reguleeritava ja seadme asukoha sõlmed on erinevad, võib tekkida probleem vea tuvastamisel. Et olukorrast oleks selgem aru saada, võiks olla kõikidel pingeuhtimise meetoditel (mitte ainult põikikompensaatorite puhul) seadmete juures standardi järgselt kirjeldatud lisatribuut infoga „true“ või „false“ vastavalt sellele, kas reguleeritakse sama sõlme pinget, kus juhtimist võimaldav sõlm asub või mitte.

2.4.3 Regioon A

Esimesena on ära toodud regiooni A suntkompensaatorite seadeväärtused, millel puudub mudelis automaatse juhtimisega seotud seadeväärtused, mida on kokku 3. **Equipment.aggregate**, mis on „FALSE“ kõikidel juhtudel, näitab, et tegu pole agregeeritud varustusega. **bPerSection** näitab induktiivset juhtivust ühe kompensaatori sektsiooni kohta. Juhul kui see on positiivne, on tegu kondensaatoriga, mis toodab reaktiivvõimsust, kui negatiivne, siis reaktoriga, mis seda tarbib. Aktiivne juhtiv, mis on seadeväärtustatud 0-ga, näitab, et toodetakse või tarbitakse vaid reaktiivvõimsust. Kusjuures nulljärgnevusega seotud juhtivused ehk g0 ja b0 puuduvad kõikides võrgumudelites. Seoses puuduvate parameetritega ei saa garanteerida, et mudelis

arvutatud põikikompensaatori poolt toodetav või tarbitav reaktiivvõimsus oleks piisavalt täpsed, millest tulenevalt võib tegelik pinge erineda reaalsuses sellest, mida mudeli tulemustest lähtuvalt taolises stsenaariumis võinuks eeldada. Seadeväärtustest lähtub, et automaatne juhtimine on keelatud (nagu öeldud, siis vastavaid seadeväärtusi pole), **aVRDelay** on null, mis peaks tähendama viidet automaatse pinge juhtimise osas sellele, mis ajaga suudavad kondensaatorid oma olekut muuta. Maksimaalne sektsioonide hulk on kõikidel juhtudel üks, normaalselt töös olevate sektsioonide hulk samuti üks ja SV failist lähtuvalt peaks olema 3 kompensaatorit vaatluse all olevast 3-st töös. Analüüsidest sõlmepingeid nähtub, et vaid 2 kompensaatorite sõlme on pingestatud ja kolmas mitte, ehkki sektsioon SV faili järgi näib olevat sisse lülitatud. Pingestatud sõlmedes paistab tulemuste failist pärinev pinge olevat vastav kokkulepitud pinge juhtimise põhimõtetele. Kuna pinge automaatse juhtimisega seotud seadeväärtused on puudu, siis neid seadeväärtusi ja erinevust tulemuslike pingetega pole võimalik analüüsida. Tabelis 2.12 on toodud välja regiooni C põikikompensaatorid, millel puuduvad mudelis automaatset pinge juhtimist võimaldavad seadeväärtused.

Tabel 2.12 Põikikondensaatorite atribuudid regiooni A võrgumudelis, millel puuduvad mudelis automaatset pinge juhtimist võimaldavad seadeväärtused

	EquipmentAggregate	LinearShuntCompensator.b0PerSection	LinearShuntCompensator.b0PerSection	LinearShuntCompensator.g0PerSection	LinearShuntCompensator.g0PerSection	RegulatingControl	RegulatingControl.enabled	ShuntCompensator.aVRDelay	ShuntCompensator.maximumSections	ShuntCompensator.nomU	ShuntCompensator.normalSections	SVVoltage	ShuntCompensator.sections
43	false	0,0009	0,0000	0,0000	0,0000	false	0	1	330	1	1	354,80	1
44	false	0,0009	0,0000	0,0000	0,0000	false	0	1	330	1	1	354,80	1
45	false	0,0009	0,0000	0,0000	0,0000	false	0	1	330	1	1	0,00	1

Iseäralik on see, et mudelisse on andmed sisestatud viisil, kus **RegulatingControl** kohta on seadeväärtused vaid kompensaatoritele, mis uuritavas mudelis pole töös, ja puuduvad just nendes 3 vaatluse all oleval sünkroonkompensaatoril. Ülejäänud 11-s, millel on olemas automaatse juhtimisega seotud seadeväärtused ja enamuses ka juhtimine lubatud, ei näita ühtegi sektsiooni töös olevana, mis teisisõnu tähendab, et kompensaatorid on mudelis välja lülitatud. Lisaks on veel kompensaator, millel vastavad seadeväärtused küll on, kuid reguleeriv kontroll on välja lülitatud, kuid ka see kompensaator ei oma töös olevaid sektsioone. Kõikidel juhtudel on ka antud info, et kompensaatoreid pole agregeeritud. Huvitav asjaolu on, et ergutusregulaatori ajaviide on neil kompensaatoritel, kus regulatiivne kontroll on keelatud on „0“, ja teistel „1“. Kusjuures kumbki parameeter ei tohiks olla õige kummalgi juhul ja omab tähtsust vaid siis, kui pinge juhtimine automaatselt mudelis on võimalik. Ka siin on näha, et puuduvad parameetrid b0, g ja g0, millel võib olla mõju modelleerimise täpsusele. Siin on näha ka

kompensaatoreid, mille kogu sektsioonide arv on 2, ja palju kondensaatoreid, kus normaalses töös pole ühtegi sektsiooni töös ehk mida enamusel ajast töösse ei rakendata. Kusjuures diskreetne juhtimine on lubatud 9-l juhul ja keelatud 2-l ning täpselt sama kehtib ka pinge juhtimise lubatavuse kohta. Silma torkab asjaolu, et üks 330 kV kompensaator, mis ilmselt on tööst väljas, omab töös olevat sektsiooni arvu 0.0937, ehkki tohiks olla vaid 0 või 1. Seega võib käesolevatest tulemustest järeldada mitmeid vastuolusid standardi ja modelleerimise põhimõtetega. Tabelis 2.13 on toodud regiooni A põikikompensaatorite seadeväärtused, kus on olemas mudelis automaatselt pinge juhtimist võimaldavad seadeväärtused.

Tabel 2.13 Regiooni A võrgumudeli põikikompensaatorite seadeväärtused, kus on olemas mudelis automaatselt pinge juhtimisega seotud seadeväärtused

	Equipment.aggregate	LinearShuntCompensator.DDRSection	LinearShuntCompensator.lbrSection	LinearShuntCompensator.lgrSection	RegulatingControl.RegulatingControl	RegulatingControl.RegulatingControl.enabled	ShuntCompensator.IRDelay	ShuntCompensator.maximumSections	ShuntCompensator.nomU	ShuntCompensator.nominalSections	RegulatingControl.sections	RegulatingControl.discrete	RegulatingControl.enabled	RegulatingControl.targetValue	SvVoltage	ShuntCompensator.sections.sections
41	false	-0,0025	0,0000	835dc48	true	1,00	1	110	0	0,00	true	true	9,00	357,50	360,36	0,00
44	false	-0,0025	0,0000	eba05bi	true	1,00	1	110	0	0,00	true	true	9,00	357,50	359,84	0,00
40	false	-0,0025	0,0000	990c673	true	1,00	2	110	0	0,00	true	true	11,00	356,50	357,21	0,00
39	false	-0,0025	0,0000	835dc48	true	1,00	1	110	1	0,00	true	true	6,00	359,00	357,07	0,00
38	false	-0,0025	0,0000	cf9b6df	true	1,00	2	110	0	0,00	true	true	10,00	356,00	355,60	0,00
36	false	-0,0025	0,0000	835dc47	true	1,00	1	110	0	0,00	true	true	6,00	359,00	355,51	0,00
34	false	-0,0025	0,0000	835dc47	true	1,00	2	110	1	0,00	true	true	11,00	356,50	355,02	0,00
42	false	0,0006	0,0000	835dc47	true	1,00	1	330	0	0,00	true	true	11,00	356,50	355,02	0,00
43	false	-0,0015	0,0000	82a7532	true	1,00	1	330	0	0,09	false	false	0,00	354,50	354,50	0,09
35	false	0,0050	0,0000	4ad580f	false	0,00	1	110	1	0,00	true	true	8,00	114,00	0,00	0,00
37	false	0,0041	0,0000	835dc47	true	1,00	1	110	0	0,00	false	false	10,00	356,00	0,00	0,00

Pingete analüüsis on vaja vaadelda iga kompensaatori kohta, millel on olemas automaatselt pinge juhtimisega mudelis seonduvad seadeväärtused, kokku kolme pinget. Esiteks **nomU** ehk kompensaatori nimipinge antud varustuse informatsioonis, järgnevalt regulatiivse kontrolli poolt antud sihtpinge, mida üritatakse saavutada, ja **SvVoltage** ehk tulemuslik pinge mudeli failist. Regiooni A pingete uurimisel esinev vastuolu seisneb aga selles, et kuigi kompensaatori nimipinge pingest on alati vastavuses Sv tulemuste failist tuleva sõlme pinge väärtuse pingestmega, mida reguleeritakse, eeldusel, et see on pingestatud, teisalt aga **RegulatingControl.TargetValue**-s ehk reguleeriva kontrolli sihtväärtused on mitmel juhul võrreldes nimi- kui tulemusliku pingega erinevast pingestmest. 9-st pingestatud sõlmest 7-l juhul astmed ei klapi. Arvestades, et esimene ei klapi kahe viimasega, võib teha järelduse, et reguleeritakse seadme sõlmest erineva sõlme pinget. Hinnates Sv mudeli tulemuste pinge väärtusi kui ka sihtväärtuste pinge väärtusi SSH failist **RegulatingControl** alt, siis vähemalt oma konkreetsest pingestmest lähtuvalt tunduvad pinged vastavat kokkulepitud põhimõtetele.

Arvestades, et kõikidel siinsetel juhtudel on kompensaatorid välja lülitatud, ehk puuduvad töös olevad kompensaatori sektsioonid, siis ei saa siin kompensaatorid

pingele mõju avaldada. Pinged ise on siiski soovitatavale suhtelised lähedased, seega võib olla ilmselt mõistlik, et antud juhul kompensaatorid tööd ei tee. Ühes sõlmes siiski erineb sihtpinge tegelikust umbes 3.5 kV ja ühel juhul umbes 2.9 kV võrra. Kahel juhul polnud kompensaatoriga sõlm pingestatud. On näha, et tööpiirid, kus kompensaatorit ei reguleerita, on suhteliselt suured, mitmetel juhtumites 9 või 11 kV, mis tähendab, et kompensaatorite juhtimine pole siin eriliselt tundlik. Sellises olukorras tundub mõistlik soovitada panna ühe suure sektsiooni asemel mitu väiksemat sektsiooni, mis võimaldaks pinget juhtida paindlikumalt, lülitades sisse või välja täpselt optimaalne hulk kompensaatori sektsioone. Loomulikult on vaja mõista ka vastuargumente sellele, sest tegu on majanduslikult kallima lahendusega, seega võib olemasolev olukord olla isegi optimaalsem.

2.4.4 Region B

B regiooni võrgumudel on kokku 34 põikikompensaatorit, millest kõikidel on olemas ka mudelis automaatset pinget juhtimist võimaldavad seadmed. Seega on võimalik teostada põikikompensaatorite atribuutide ja pingete analüüsi ühes jaos. Esimesena saab välja tuua, et mudelist lähtuvalt pole ühtegi B võrgumudeli kompensaatorit agregeeritud. Ka siin on puudu parameetrid b_0 , g ja g_0 , mille puudumine võib tingida põikikompensaatorite ebatäpse modelleerimise.

Kusjuures pinget automaatse juhtimise lubamise osas on suur vastuolu. Nimelt ühest küljest peaks olema kõikidel juhtudel pinget automaatne juhtimine mudelis vastavalt etteantud seadeväärtustele lubatud, kuna atribuut **RotatingCondEq.controlEnabled** on kõikidel juhtudel väärtusega „true”. Samal ajal aga **RegulatingControl.enabled** atribuut omab kõikidel juhtudel väärtust „false”, mis siiski keelab automaatse juhtimise ära. Standardit lähemalt uurides selgub, et esimene atribuut peaks andma üldise informatsiooni, kas seade on võimeline automaatselt reguleerima, ja teine siis seda, kas see ka päriselt mudelis lubatud on. Seega ei saa rääkida otsesest veast, küll aga kohast, kus standardiga võiks olla atribuudid eristatavamalt nimetatud, et ei tekiks andmete analüüsil segadust, kus näiliselt käivad taoliselt viisil kahe atribuudi väärtused üksteisele vastu.

Tabel 2.14 Regiooni B pöikikompensaatorite atribuudid ja nende väärtused

K	Equipment.aggregate	LinearShuntCompensator.bPeSection	LinearShuntCompensator.lPeSection	LinearShuntCompensator.gPeSection	RegulatingControl.enabled	RegulatingControl.alphaDelay	ShuntCompensator.alphaDelay	ShuntCompensator.maxiumSections	ShuntCompensator.nomU	RegulatingControl.sections	RegulatingControl.discrete	RegulatingControl.enabled	RegulatingControl.targetDeadband	ShuntCompensator.sections.sections			
24	false	0,0000	-0,2600	0,0000	0,0000	f7a0f3fc	true	1	10	1	1,00	true	false	0,50	354,02	394,54	1,00
31	false	0,0000	-0,2600	0,0000	0,0000	cff9b1a1	true	1	10	1	1,00	true	false	0,50	354,02	394,54	1,00
2	false	0,0000	-0,1250	0,0000	0,0000	0ba0535	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	381,31	1,00
25	false	0,0000	-0,1250	0,0000	0,0000	09f4476	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	381,31	1,00
17	false	0,0000	-0,1125	0,0000	0,0000	0159aa7	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	365,87	1,00
20	false	0,0000	-0,1125	0,0000	0,0000	ef86124	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	365,87	1,00
32	false	0,0000	-0,1125	0,0000	0,0000	0c470ff	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	365,87	1,00
8	false	0,0000	-0,1125	0,0000	0,0000	6461875	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	358,66	1,00
13	false	0,0000	-0,2800	0,0000	0,0000	0bcdb9f	true	1	10	1	0,00	true	false	0,50	354,02	358,66	0,00
11	false	0,0000	-0,2800	0,0000	0,0000	925547c	true	1	10	1	1,00	true	false	0,50	354,02	357,01	1,00
12	false	0,0000	-0,2800	0,0000	0,0000	3228143	true	1	10	1	1,00	true	false	0,50	354,02	357,01	1,00
14	false	0,0000	-0,2800	0,0000	0,0000	a8cea5f	true	1	10	1	1,00	true	false	0,50	354,02	356,47	1,00
0	false	0,0000	-0,0700	0,0000	0,0000	a467545	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	355,69	1,00
26	false	0,0000	-0,0375	0,0000	0,0000	a72e854	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	355,69	1,00
30	false	0,0000	-0,1250	0,0000	0,0000	a496e81	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	355,69	1,00
7	false	0,0000	-0,1125	0,0000	0,0000	8de9a27	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	355,41	1,00
9	false	0,0000	-0,2800	0,0000	0,0000	5d9a3a5	true	1	10	1	0,00	true	false	0,50	354,02	355,41	0,00
15	false	0,0000	-0,0500	0,0000	0,0000	f3efdcb	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	354,02	1,00
22	false	0,0000	-0,0750	0,0000	0,0000	8362a7c	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	354,02	1,00
28	false	0,0000	-0,4500	0,0000	0,0000	2658d5c	true	1	10	1	1,00	true	false	0,50	354,02	354,02	1,00
16	false	0,0000	-0,1125	0,0000	0,0000	1c31970	true	1	20	1	0,00	true	false	0,50	354,02	353,90	0,00
18	false	0,0000	-0,1150	0,0000	0,0000	b2a71b7	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	353,90	1,00
6	false	0,0000	0,0015	0,0000	0,0000	feee735	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	120,30	0,00
10	false	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	ade35af	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	120,30	0,00
23	false	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	430c115	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	119,22	0,00
33	false	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	896e19f	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	119,16	0,00
3	false	0,0000	-0,0163	0,0000	0,0000	5b17665	true	1	35	1	1,00	true	false	0,50	118,01	118,91	1,00
27	false	0,0000	-0,0163	0,0000	0,0000	08cc63d	true	1	35	1	0,00	true	false	0,50	118,01	118,91	0,00
5	false	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	170822a	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	117,99	0,00
1	false	0,0000	0,0015	0,0000	0,0000	2f3ac25	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	117,72	0,00
4	false	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	959bcd4	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	117,72	0,00
19	false	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	e7f46c7	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	0,00	0,00
21	false	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	6abe327	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	0,00	0,00
29	false	0,0000	0,0031	0,0000	0,0000	efa2f05	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	0,00	0,00

Tabelis 2.14 on ära toodud kõigi regiooni B võrgumudelis kirjeldatud suntkompensaatorite atribuutide väärtused. Kõikide B regiooni mudeli suntkompensaatoritel kasutatakse diskreetset juhtimist, mis on sobiv viis suntkompensaatori juhtimiseks. Küll aga on märkimisväärne, et **deadband** väärtus ehk vahemik, mille juures automaatset juhtimist ei toimi, on kõigest 0,5, sest see tekitab olukorra, kus juhul kui mudeli arvutatud tegelik pinge ei ühti 0,5 kV täpsusega tegeliku pingega, peaks automaatse juhtimise korral kompensaator koheselt kas vastavalt sisse või välja lülituma ja kuna pinge muutudes suure tõenäosusega taaskord pinge erineb rohkem kui 0,5 kV võrra sihtpingest, tekib juhtimises nõiarang. Seda seepärast, et sõlme pinge ei jõua nõutud väärtusele piisavalt lähedale, kus mudeli automaatne juhtimine lõpetaks sisse ja välja lülitamise.

Pingeid analüüsid esines kusjuures sarnane olukord, mis regiooni A pöikikompensaatorite pingetega. Nimelt esineb suhteliselt sageli olukordi, kus suntkompensaatori nimipinge on erineval pingestmel võrreldes reguleeriva kontrolli seadeväärtustes ette antud nimipingega. Taaskord võib eeldada, et olukord pea kõikidel neil juhtudel peaks olema tingitud sellest, et antud on sõlme pinge, mille pinget

seadmega juhtida soovitakse, kuid mis on erinev sõlmest, kus vastav kompensator ise asub. Seda kinnitab ka asjaolu, et kui võtta sõlmepinged seadme ID järgi, siis kõikidel juhtudel vastab tulemusliku pinge väärtuse pingestate kompensatori nimipingele. Uurides aga pingete väärtusi, siis esiteks selgub, et kõik seadeväärtusteks olevate pingete väärtused sihtpinge osast on sobilikud, olles 330 kV pingestmel 354 kV lähedal ja 110 kV pingestmel 118 kV lähedal. Selge probleem aga tekib uurides SV failist saadud tulemuslikke pingeid. Nimelt kahes sõlmes on tulemusliku pinge väärtus 394,5 kV, mille puhul on tegu äärmiselt suure ülepingega, mis reaalsuses tooks endaga väga kiiresti kaasa avarii. Kahes sõlmes on pinge 381,3 kV, mis on samuti väga suur ülepinge, mis samuti tooks suhteliselt kiiresti kaasa rikke. Kolmes sõlmes on see 365,6 kV, mis on üle võrgueeskirjades lubatu ja mida vähemalt teatud aega suudaks seadmed ning isolatsioon taluda, kuid mis samuti ei ole süsteemis soovitatav. Tuleks kindlasti välja tuua, et kõikidel probleemsetel juhtudel on vastavad suntkompensaatorid mudelis sisse lülitatud, samas kui mudelis pinge automaatne juhtimine on välja lülitatud. Kusjuures atribuut **RegulatingCondEq.controlEnabled** on kõikidel juhtudel „true“, mis võis jätta eksliku mulje, et mudelis automaatne juhtimine toimub. See viitaks ka probleemile, et kaks atribuuti võiks olla standardis selgemalt eristatavad, et nähtuvast pildist oleks lihtsam vahet teha, kas lõplikus mudelis oli automaatne regulatsioon sisse lülitatud või mitte, isegi kui juhtimine ise on võimalik. Igal juhul poleks probleemi pingetega ilmselt tekkinud, kui mudelis olnuks automaatne pingejuhtimine neil kompensatoritel sisse lülitatud. Sellisel juhul olnuks lähtuvalt automaatse juhtimise seadeväärtustest vastavad kondensaatorid olnud mudelis välja lülitatud ja ei oleks pinget nii kõrgele ajanud. Ülejäänud pinged 330 kV astmel on sobilikud. 110 kV astmel jäävad pinged 120,3 kV ja 117,7 kV vahele pingestatud sõlmedes, mis vastavad võrgueeskirjadele ning kokku lepitud põhimõtetele. Järgnevas tabelis 2.15 on ära toodud kõigi regiooni B võrgumudelis kirjeldatud suntkompensaatorite atribuutide väärtused.

Tabel 2.15 Regiooni B põikikompensaatorite atribuudid ja nende väärtused

Id	Equipment.aggregate	LinearShuntCompensator.b0P-Section	LinearShuntCompensator.l0P-Section	LinearShuntCompensator.g0P-Section	RegulatingControl	RegulatingControl.enabled	ShuntCompensator.vRDelay	ShuntCompensator.maximumSections	ShuntCompensator.nomU	ShuntCompensator.normalSections	RegulatingControl.discrete	RegulatingControl.enabled	RegulatingControl.targetDeadband	SVoltage	ShuntCompensator.sections		
24	false	0,0000	-0,2600	0,0000	0,0000	f7a0f3f	true	1	10	1	1,00	true	false	0,50	354,02	394,54	1,00
31	false	0,0000	-0,2600	0,0000	0,0000	cff9b1a	true	1	10	1	1,00	true	false	0,50	354,02	394,54	1,00
2	false	0,0000	-0,1250	0,0000	0,0000	0ba053e	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	381,31	1,00
25	false	0,0000	-0,1250	0,0000	0,0000	09f447e	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	381,31	1,00
17	false	0,0000	-0,1125	0,0000	0,0000	0159aa7	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	365,87	1,00
20	false	0,0000	-0,1125	0,0000	0,0000	ef86124	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	365,87	1,00
32	false	0,0000	-0,1125	0,0000	0,0000	0c470ff	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	365,87	1,00
8	false	0,0000	-0,1125	0,0000	0,0000	6461875	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	358,66	1,00
13	false	0,0000	-0,2800	0,0000	0,0000	0bcdb9f	true	1	10	1	0,00	true	false	0,50	354,02	358,66	0,00
11	false	0,0000	-0,2800	0,0000	0,0000	925547c	true	1	10	1	1,00	true	false	0,50	354,02	357,01	1,00
12	false	0,0000	-0,2800	0,0000	0,0000	3228143	true	1	10	1	1,00	true	false	0,50	354,02	357,01	1,00
14	false	0,0000	-0,2800	0,0000	0,0000	a8cea5f	true	1	10	1	1,00	true	false	0,50	354,02	356,47	1,00
0	false	0,0000	-0,0700	0,0000	0,0000	a467545	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	355,69	1,00
26	false	0,0000	-0,0375	0,0000	0,0000	a72e85d	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	355,69	1,00
30	false	0,0000	-0,1250	0,0000	0,0000	a496e81	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	355,69	1,00
7	false	0,0000	-0,1125	0,0000	0,0000	8de9a27	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	355,41	1,00
9	false	0,0000	-0,2800	0,0000	0,0000	5d9a3ac	true	1	10	1	0,00	true	false	0,50	354,02	355,41	0,00
15	false	0,0000	-0,0500	0,0000	0,0000	f3efdc8	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	354,02	1,00
22	false	0,0000	-0,0750	0,0000	0,0000	8362a7c	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	354,02	1,00
28	false	0,0000	-0,4500	0,0000	0,0000	2658d5c	true	1	10	1	1,00	true	false	0,50	354,02	354,02	1,00
16	false	0,0000	-0,1125	0,0000	0,0000	1c31970	true	1	20	1	0,00	true	false	0,50	354,02	353,90	0,00
18	false	0,0000	-0,1150	0,0000	0,0000	b2a71b7	true	1	20	1	1,00	true	false	0,50	354,02	353,90	1,00
6	false	0,0000	0,0015	0,0000	0,0000	feee73f	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	120,30	0,00
10	false	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	ade35af	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	120,30	0,00
23	false	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	430c115	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	119,22	0,00
33	false	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	896e19f	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	119,16	0,00
3	false	0,0000	-0,0163	0,0000	0,0000	5b1766e	true	1	35	1	1,00	true	false	0,50	118,01	118,91	1,00
27	false	0,0000	-0,0163	0,0000	0,0000	08cc63d	true	1	35	1	0,00	true	false	0,50	118,01	118,91	0,00
5	false	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	170822a	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	117,99	0,00
1	false	0,0000	0,0015	0,0000	0,0000	2f3ac25	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	117,72	0,00
4	false	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	959bcd4	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	117,72	0,00
19	false	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	e7f46c7	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	0,00	0,00
21	false	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	6abe32f	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	0,00	0,00
29	false	0,0000	0,0031	0,0000	0,0000	efa2f05	true	1	110	1	0,00	true	false	0,50	118,01	0,00	0,00

2.4.5 Region C

Regiooni C võrgumudelis on kirjeldatud kokku vaid seitset suntkompensaatorit. Ühelgi juhul pole antud mudelis pinge automaatse juhtimisega seotud seadeväärtusi ja seega vastavad võimalused pinge automaatseks juhtimiseks mudelis puuduvad. Kõikidel juhtudel on antud informatsioon selle kohta, et need pole agregeeritud. Kusjuures lisaks reaktiivjuhtivusele on antud C võrgumudelis ka g väärtused, mida regiooni A ja B võrgumudelites ei antud. Puudu on siiski b0 ja g0 väärtused, mille puudumine teoreetiliselt võib siiski mõjutada modelleerimise kvaliteeti negatiivselt. Antud on ka info, et **aVRDelay** atribuut on kõikidel juhtudel 1, mis oma väärtuselt peaks omakorda keelama kompensaatori kasutamise pinge juhtimisel. Kõikidele kompensaatoritele on antud nimipinge 330 kV, mis ilmselt on siiski lihtsustus võrgumudeli tarbeks ja tegelikud kompensaatorid omavad madalamat nimipinget, kuid pinge tõstetakse trafode abil 330 kV tasemele. Kõigi 7 kompensaatori kohta on info, et maksimaalne sektsioonide arv on 1, normaalselt töös on samuti 1 sektsioon ja ka uuritavas mudelis on kõikide kompensaatorite olemasolev sektsioon tõesse lülitatud.

Pingete analüüsi seisukohast peab esmalt välja tooma, et kuna reguleeriva kontrolliga seotud viited regiooni C võrgumodelis suntkompensaatoritel puuduvad, pole võimalik neid eraldi uurida ega pinge tulemuslike väärtustega võrrelda. Vastavate sõlmede endi tulemuslike pingete väärtused jäävad 357,3 ja 350,3 kV vahele, ja sellega peaksid vastama võrgueeskirjadele ning kokkulepitud võrgu põhimõtetele. Tabelis 2.16 on ära toodud kõik regiooni C võrgumodelis kirjeldatud kompensaatorid ja nende pingega seonduvate atribuutide väärtused.

Tabel 2.16 Regiooni C võrgumodeli suntkompensaatorid koos atribuutidega

	Equipment.aggregate	LinearShuntCompensator.bPerSection	LinearShuntCompensator.bPerSection	LinearShuntCompensator.gPerSection	LinearShuntCompensator.gPerSection	RegulatingControl.pRegulatingControl	RegulatingControl.qRegulatingControl	ShuntCompensator.alphaDelay	ShuntCompensator.maximumSections	ShuntCompensator.normalSections	SMVoltage	SShuntCompensator.sections.sections	
0	false	-0,000242		0,00000038		false	1	1	330	1	1	357,33	1
4	false	-0,000412		0,00000074		false	1	1	330	1	1	354,95	1
2	false	-0,000243		0,00000041		false	1	1	330	1	1	353,36	1
3	false	-0,000470		0,00000144		false	1	1	330	1	1	350,89	1
1	false	-0,000403		0,00000057		false	1	1	330	1	1	350,62	1
5	false	-0,000002		0,00000100		false	1	1	330	1	1	350,42	1
6	false	-0,000253		0,00000042		false	1	1	330	1	1	350,34	1

2.5 Pinge juhtimine sünkroonkompensaatoritega

Atribuutide definitsioone ja erinevate klasside vahelisi seoseid on kirjeldatud käesoleva töö peatüki 1.3 alguses, seda just pinge juhtimist üldisemalt puudutavate klasside ning atribuutide osas. Peatükis 1.3.5 on käsitletud pinge juhtimise kujutamist standardjärgselt sünkroonkompensaatoritega.

2.5.1 Pinge juhtimisest uuritud regioonide võrgumudelites

Ehkki regiooni võrgumodelis on oluliselt rohkem seadmeid, mida kasutatakse sünkroonkompensaatori rollis, on uuritavates võrgumudelites kirjeldatud vaid ühte sünkroonkompensaatorit vastavalt standardi reeglitele selle kohta, kuidas sünkroonkompensaatorina on vaja sünkroonmasinat kirjeldada. Seda on tehtud regiooni A võrgumodelis. Tegu on sünkroonmasinaga, ilma tootva üksuseta, millel on võimalik vaid kas toota või tarbida reaktiivvõimsust, ja mille **operatingMode** atribuudi väärtus on „condenser“. Nagu öeldud, siis täpselt neile kriteeriumitele vastab vaid üks seade regiooni A võrgumodelist. Varustuse ehk mudeli EQ failist on võimalik seda leida, otsides geograafilise regiooni alt alageograafilise regiooni, seal vastavast regioonist alajaamad, seejärel vastavast alajaamast pingetase ehk **VoltageLevel**, selle alt **BusbarSection**, mille alt vaja valitud busbar-i juurest valida terminal, terminali alt **RegulatingControl**, mille alt jõuab lõpuks „**SynchronousMachine**“ juurde, mis tegelikkuses toimib aga

sünkroonkompensaatorina. SSH juures on antud ka vastava sünkroonkompensaatori kohta **RegulatingControl** ehk automaatset juhtimist võimaldavad seadeväärtused kui ka **SynchronousMachine** all sünkroonkompensaatorile ette antud sisend.

Siinkohal on oluline aga välja tuua hulk sünkroonmasinaid, mida on modelleeritud kui generaatoreid, kuid mis hoolimata sellest omavad oma seadistustes SSH failis vaid reaktiivkoormust, aktiivkoormust mitteomades, ehk olemuslikult toimivad sünkroonkompensaatoritena. Neid on kokku 4 lisaks juba mainitud sünkroonkompensaatorile, ja huvitaval kombel on need kõik regiooni A võrgumudelis. Nende **operatingMode** atribuut aga on „generaator“ ja samuti on neil viide „**generatingUnit**“ -ile ehk need omavad võimekust toota ka aktiivvõimsust ning seega pole käsitletavat päriselt sünkroonkompensaatoritena. Märkimist väärib, et standardis oleks sünkroonmasinad paremini lahendatud, kui selle jaoks oleks olemas eraldi klass, mis käsitleks sünkroonkompensaatoreid eraldi ja need saaks omada ka kõiki spetsiifilisi atribuute, mis on omased sünkroonkompensaatorile, ja samuti kõrvale jätta atribuute, mis võivad olla omased või vajalikud sünkroonmasinatele, kuid mitte sünkroonkompensaatoritele.

2.5.2 Atribuudid ja nende analüüsid

Vaatluse all oleva sünkroonkompensaatori atribuudid on esitatud tabelis 2.17. Informatsiooni põhjal selgub, et sünkroonkompensaatorit pole agregeeritud. Automaatse juhtimisega seotud seadeväärtused on olemas, ehkki mudelis automaatne juhtimine ise on välja lülitatud. Kusjuures sünkroonkompensaatoril igasugune koormus puudub ja etteruttavalt ka sõlme pinget uurides selgub, et reguleeritav sõlm pole pingestatud. Sünkroonkompensaatoril puudub viide reaktiivvõimsuskõverale. Regulaatiivne kontroll on diskreetne, mis on vastav sünkroonmasinatele ja seega ka sünkroonkompensaatorile. Kusjuures pinge automaatne juhtimine mudelis on keelatud. **Deadband** on 0, mis eeldab, et kui automaatne juhtimine oleks lubatud, peaks see hoidma mudeli tulemuslikku pinget täpselt sihtväärtuse juures, mis on 15.35 kV.

Tabel 2.17 Regiooni A sünkroonkompensaatori atribuudid

ID	Object	RegulatingControl.aggregate	RegulatingControl.enabled	RegulatingControl.p	RegulatingControl.q	RegulatingControl.ratedS	SynchronousMachine.ratedU	SynchronousMachine.resistiveCapabilityCurve	SynchronousMachine.maxQ	SynchronousMachine.minQ	SynchronousMachine.operatingMode	SynchronousMachine.voltageRegulationRange	RegulatingControl.discrete	RegulatingControl.enabled	RegulatingControl.targetDeadband	SVVoltage
145	82a7530	false	0,00	0,00	268,00		0,00	-110,00	OperatingMode.condenser		false	false	0,00	15,35	0,00	

2.6 SVC ja STATCOM-ide kasutus pinge juhtimiseks

Üheski regiooni võrgumudelis pole ühtegi instantsi SVC-dest. STATCOM-e pole kirjeldatud ka standardis, seega mudelis nende kujutamine võimalik pole. Kusjuures uurimisel selgus, et vaatluse all olevate regioonide mudelis on seadmeid, mis on võimalised STATCOM režiimil töötama pinge juhtimiseks, kuid hetkel pole peetud nende kasutamist sellisena otstarbekaks ja mõistlikuks.

2.7 Alalisvooluühenduste kasutamine pinge juhtimiseks

Mudelis viited HVDC kasutusele puuduvad. Samas on teada, et vähemalt kahes regioonimudelis kolmest kasutatakse võrgus ka HVDC ühendusi ja nende ühenduse olemasolu kasutatakse ära ka vähemalt osade vastavate sõlmede juhtimiseks võrgus, mis tingib vajaduse nende vastavaks modelleerimiseks. Praeguse info järgi paistab, et HVDC-d võrgumudelis ei modelleerita eraldi HVDC-na eelkõige selle keerukuse tõttu. Praegu kasutatakse **EquivalentInjectone**-id ehk ekvivalentseid võimsuse sisestusi võrgumudelite ühenduspunktidel teiste regioonide võrgumudelites

Samas on ka mõistetav, et HVDC ja sellega seonduvat pinge juhtimist korrektsel kujul ongi keeruline modelleerida. Ka standardis ei ole selle kujutamine väga selge. Ühest küljest on skemaatiliselt näha, et **FreguenecyConverter** ehk sagedusmuundur omab viidet **RegulatingControl**-ile, läbi mille peaks olema võimalik modelleerida pinge juhtimist mudelist. Samas standardit sirvides oli lähim, mida oli võimalik leida, **ACDCConverter**, millel enesest puudub viide reguleerivale kontrollile.

3 ANALÜÜSIST TEHTAVAD JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD

Töö kolmandas põhipeatükis on järgnevalt esitatud arutelud kõikide võrgumudelites uuritud pingajuhtimise meetodite kohta. Esmalt on järeldustes toodud üldine arutelu meetodite kohta analüüsi käigus selgunud puudustest ja teistest tähtsamatest tähelepanekutest ning eraldi märkimist väärivatest asjaoludest. Seejärel on toodud loetelu konkreetsetest ettepanekutest kolmes kategoorias:

- Ettepanekud seoses standardi täiendamise või parandamisega;
- Ettepanekud põhivõrguettevõtetele täpsemaks ja kvaliteetsemaks modelleerimaks;
- Ettepanekud põhivõrguettevõtetele pingeparemaks juhtimiseks elektrivõrgus.

Olukordades, kus analüüsi põhjal teatud kategooriates ettepanekuid teha ei õnnestunud, kirjutatakse ka välja, et vastava pingajuhtimise meetodi juures vastava kategooria ettepanekuid teha ei õnnestunud. Juhul kui on eraldi asjaolusid seoses sellega, miks teatud kategooriates ettepanekute tegemine polnud võimalik, siis nimetatakse vastavad asjaolud.

3.1 Pingepuhtimine sünkroonjaamades

3.1.1 Järeldused

Sünkroonmasinate pingepuhtimise modelleerimisega seotud atribuutide uurimisel tuli välja mitmeid puudusi. Näiteks A ja B võrgumudelites oli sünkroonmasinaid, millel puudusid mudelis automaatse pingepuhtimisega seotud seadeväärtused. Samuti oli A ja C võrgumudelites puudu kõikide sünkroonmasinate kohta info, kas neid on agregeeritud või mitte. Väga suureks probleemiks oli see, et nii A kui C regiooni mudelites puudusid täielikult viited reaktiivvõimsuskõveratele ja nende võrgumudelites polnud võimalik reaktiivvõimsuskõvera kohta üldse andmeid leida. Puudu olid ka kahe regiooni võrgumudelites sünkroonmasinate **VoltageRegulationRange** väärtused. Regiooni B võrgumudelites, kus see oli olemas, oli see paraku kõikidel juhtudel 0, mis ei tohiks olla õige parameeter sünkroonmasinate puhul, kus pingepuhtimine on võimalik. Regiooni B ja C juures tuli esile ka asjaolu, et pingete seadeväärtuse väärtused ning tulemuslikud väärtused olid identsed, mis ei tundu tegelikkuses realistlik. Enamuses paistis ka silma,

et **deadband** atribuut oli kõikidel juhtudel 0, mis tähendab, et sünkroonmasin püüab äärmiselt täpselt sihtpinget hoida, mis võib viia ülejuhtimiseni.

Teatavas mõttes võiks probleemina nimetada ka asjaolu, mis võib tekitada segadust. Nimelt nii elektrijaamade kuid ka kõikide teiste seadmete juures, mis suudavad pinget juhtida, võib reguleeritav sõlm erineda sõlmest, kus seade tegelikkuses asub, ja see võib tekitada probleemi õigete pingete leidmisel mudeli SV failist. Et segadust oleks vähem, võiks standardijärgselt olla olemas lisaatribuut, mis annaks info selle kohta, kas reguleeritav sõlm on sama seadme asukohaga või mitte. Kohati jäi ka mulje, et teatud olukordades, kindlasti regiooni C võrgumudelis, ei olnud trafosid modelleeritud elektrijaama ja ülekandevõrgu vahele. Modelleerimise seisukohast tunduks loogilisem ja selgem, kui mudelis reguleeriks elektrijaam vaid pinget oma lattidel sõlmes, kus see asub, ning edasi oleks modelleeritud trafo, mis reguleeriks pinget juba ülekandevõrgu kõrgema pingega sõlmes. Standardi mõistes tooks võimaliku puudusena esile ka selle, et atribuudid **RegulatingCondEq.Enabled** ja **RegulatingControl.Enabled** võiks omada mõnevõrra selgemat eristavat tähistust, sest jättes mõlemad senisele kujule on raske neid kohati teineteisest eristada ning see võib tekitada segadust arusaamisel, kas automaatne juhtimine on sisse lülitatud või mitte. Kusjuures see kehtib kõikide pingereguleerimise meetodite juures ühtmoodi, kuid ettepanekuna on välja toodud vaid selle meetodi juures, et vältida kordamist.

3.1.2 Ettepanekud

Ettepanekud seoses standardi täiendamise või parandamisega:

- Sünkroonmasinale tasub lisada lisaatribuudi selle kohta, kas seadmega reguleeritakse pinget seadmega samas sõlmes või mitte;
- Atribuudid **RegulatingCondEq.Enabled** ja **RegulatingControl.Enabled** tasub erinevalt tähistada, et neid oleks võimalik teineteisest paremini eristada.

Ettepanekud põhivõrguettevõtetele täpsemaks ja kvaliteetsemaks modelleerimiseks:

- Lisada rohkematele sünkroonmasinatele viited **RegulatingControl** jaoks. Eelistatavalt kõikidele, et mudelis oleks näha sünkroonmasina sihtpinged;
- Lisada rohkematele sünkroonmasinatele viited reaktiivvõimsuskõverate jaoks;
- Lisada väärtused atribuutidele **Equipment.aggregate**, **RotatingMachine.ratedU** ja **SynchronousMachine.voltageRegulationRange**;

- Kaaluda rohkem sünkroonmasinate seadistamist oma otsestele lattidel enda nimipinge astmel ja alati juhtida trafosid sünkroonmasinate ning ülekandevõrgu vahele, kus trafod reguleeriks ülekandevõrgu sõlme kõrgemal pingel;
- Üle vaadata, miks on B ja C võrgumudelites pinge sihtväärtused identsed tulemuslike pingetega ja võimalusel parandada;
- Kaaluda reguleerivale kontrollile teatava **deadband** väärtuse lisamist, vältimaks ülejuhtimist.

Selles töös tehtud analüüsi põhjal ei tuvastatud midagi sellist, et teha ettepanekuid põhivõrguettevõtetele elektrivõrgus pinge paremaks juhtimiseks elektrijaamade juures.

3.2 Pinge juhtimine trafodes

3.2.1 Järeldused

Ka astmelülitite uurimisel sai tuvastatud mitmeid puudusi ja vastuolusid modelleerimise juures. Esmalt muidugi tuleks tuua esile probleem, et mitme regiooni võrgumudelil on astmelülitel puudu automaatse juhtimisega seotud seadeid ja näiteks regiooni C võrgumudelil pole ühelgi astmelülil viimaseid seadeväärtuseid kirjeldatud. Samas juhtudel kui seda on tehtud, pole lisatud ühelgi juhul ühtegi **TapChangerControl** klassis lisanduvat parameetrit, millel võiks mudelis rakendust olla (nagu nt **limitVoltage** ja **lineDropR**, kuid ka mitmed teised). Regiooni võrgumudelitest on puudu ka kõik **TapSchedule**-id ehk astme graafikud. See pole küll suur probleem, kuid autori hinnangul suurendaks nende lisamine üleslaetavate mudelite väärtust teatud otstarvete puhul.

Vähemolulise tähelepanekuna tasub välja tuua, et regiooni A võrgu mudelis kasutati ühte välja selleks, et anda informatsiooni, kas tegu on primaarse või sekundaarse astmelülitiga. Oleks ilmselt mõistlik standardisse viia sisse muudatus, et selle tarbeks tuleks võrgumudelil standardijärgselt kasutada eraldi atribuuti, kus see info oleks alati ära toodud.

Modelleerimisega seotud probleemidest tuleb esile tuua, et tuvastamata põhjusel vähemalt regiooni B võrgumudelil automaatset astmelüliti juhtimist ei toimunud, ehkki kõikide atribuutide järgi olid olemas vastavad seadeväärtused, millega seoses oleks see pidanud toimuma. Näiteks oli olukordi, kus astmelüliti poolt reguleeritavas sõlmes oli mudeli tulemuste järgi 330 kV astmel pinge peaaegu 366 kV ja 110 kV astmel 133,4 kV, automaatne juhtimine lubatud ja reguleerimisruumi piisavalt mõlemas suunas. Kui

astmelüliti automaatne juhtimine mudelis oleks toimunud, ei tohtinuks taolised pinged sõlmedes kindlasti võimalikud olla.

Kohati oli mudelis probleeme ka astmelüliti astme protsendilise muudatuse atribuudiga, kus mõnel juhul oli see kõigest 0,1%, mis tähendab, et astmelüliti kasutamisel taolise seadeväärtusega puudub igasugune mõte. Teatud juhtudel võis ka täheldada, et kuna kasutati trafo maksimaalseid astmeid, võib teatud juhtudel olla probleeme sellega, et trafodel pole piisavalt reguleerimisruumi. Siin on oluline uurida, kas vastavate mudelite stsenaariumite olukord oli nii ka päriselt selline. Juhul kui tuvastatakse, et mudelitest nähtavaid probleemseid olukordi esineb ka reaalsuses, võiks põhivõrguettevõtetal soovitada probleemsematel alajaamadatel paigaldada trafosid, mille pingereguleerimisvahemik on suurem, või kasutada täiendavaid meetodeid pingereguleerimiseks neis sõlmedes, näiteks lisades põikikompenaatori. Kusjuures analüüsimisel kasutati aprillikuseid võrgumudeleid, kus ei tohiks olla ekstreemsusi, mis on seotud väga suurte koormustega talvel või väga väikeste koormustega ja suure päikeseenergia toodanguga suvel. Teatav mõju võib olla küll asjaolul, et regiooni B võrgumudelil oli pikka aega probleeme tulemuste skaleerimisega, mistõttu kasutati pidevalt sama suurt koormust ja tootmist kõikides mudelites, sõltumata mudeli stsenaariumi ajast. Sellest tulenevalt võivad B tulemused olla siin töös sellest lähtuvalt moonutatud, sest see vastab rohkem talvise tipukoormusele vastava olukorraga, mitte tavapärase aprilli kuu koormusele.

3.2.2 Ettepanekud

Ettepanek seoses standardi täiendamise või parandamisega:

- Astmelülitile võiks juurde luua lisaatribuudi, mis annaks informatsiooni, kas tegu on primaarse või sekundaarse astmelülitiga („**Primary tap**” või „**Secondary tap**”).

Ettepanekud põhivõrguettevõtetele täpsemaks ja kvaliteetsemaks modelleerimiseks:

- Lisada rohkematele trafodele viited **TapChangerControl** jaoks;
- Lisada vastavalt vajadusele **TapChangerControl** atribuute, andmaks astmelülitite kohta rohkem kasulikku informatsiooni;
- Lisada võimalusel võrgumudelisse **TapSchedule**-id;
- Kontrollida põhjalikult modelleerimisel kas mudelites pingereguleerimise automaatne juhtimine päriselt funktsioneerib või mitte;
- Kontrollida põhjalikult atribuutide **TapChanger.neutralU** ja **RatioTapChanger.stepVoltageIncrement** ning **TapChanger.normalStep** väärtuseid ja

õigsust. Eriti seoses ülepingetega (tähelepanuväärsemalt regiooni B võrgumudeli 110 kV pingestate puhul).

Ettepanek põhivõrguettevõtetele elektrivõrgus pinge paremaks juhtimiseks:

- Juhul kui mudelites ilmnenud probleemid ka reaalsusele vastavad, siis kaaluda teatud sõlmedes trafode reguleerimisvahemiku suurendamist (juhul kui vastav trafo on vananenud, kaaluda selle vahetust uue vastu) või täiendava põikikompensaatori lisamist juhtudel, kui trafoga ei suudeta hoida pingeid soovitud tasemetel ja trafo vahetust ei peeta otstarbekaks.

Siinjuures tuleb rõhutada, et tegu on eelkõige soovitusena põhivõrguettevõtetele kontrollida pingeid reaalsuses. Juhul kui probleem tõesti esineb, siis reageerida võimalikele probleemidele, mida võrgumudelites täheldati. Juhul kui reaalsuses selliseid probleeme ei esine, keskenduda mudelite parandamisele, et need kujutaks reaalsel olukorda adekvaatsemalt.

3.3 Pinge juhtimine põikikompensaatoritega

3.3.1 Järeldused

Ka põikikompensaatorite uurimisel tuli esile mitmeid puudusi ja võimalusi, kus on võimalik tõenäoliselt modelleerida kvaliteetsemalt ning paremini. Kõikides võrgumudelites on jäetud lisamata b_0 ja g_0 väärtused ning g väärtused on lisatud vaid regiooni C võrgumudelites. Kõikides regiooni C suntkompensaatoritel on puudu pinge automaatset juhtimist võimaldavad seadeväärtused, kolmel juhul on need puudu ka regiooni A võrgumudelis. Kõikidele suntkompensaatoritele võiks olla lisatud ka atribuut **aVRDelay** ja teistel juhtudel ehk kontrollida nende väärtusi ning kasutamise õigsusega seonduvat.

Regiooni A võrgumudelidest tuleb esile tuua kummalist modelleerimist, kus sisselülitatud suntkompensaatoritelt olid puudu viited ja informatsioon seoses automaatse pinge juhtimisega mudelis, ning arvestades, et kõikidel ülejäänud suntkompensaatoritel olid vastavad viited olemas regiooni A võrgumudelis, jäi selge mulje, et see oli taotluslik tegevus tagamaks, et mingil juhul pinge juhtimist ei toimuks. See on kahtlemata halb praktika, sest kui teatud põhjusel on soov tõesti automaatset pinge juhtimist keelata, tuleb teha seda vastava pinge automaatse juhtimisega seotud atribuudi **RegulatingControl.enabled** kaudu.

Probleeme tundus olevat ka regiooni B võrgumudelis. Seal olid vastavad seadeväärtused pinge automaatse juhtimise kohta võrgumudelis alati olemas, samas automaatne juhtimine ise oli väljalülitatud. See aga tõi kaasa olukordi, kus suntkompensaatorid jäid mudelis töösse olukordades, kus need kohe kindlasti poleks pidanud töös olema, tuues endaga kaasa äärmiselt kõrgeid ülepingeid.

Regiooni B võrgumudelis oli ka probleeme **deadband** väärtusega, mis oli liiga madal. Kuna suntkompensaatorid pole oma olemuselt väga paindlikud, eriti juhul kui neil on vaid üks sektsioon, peaks neil olema piisavalt suur vahemik, mille läheduses sihtpingele need mudelid reageerima ei peaks. Regiooni B võrgumudelis oli see väärtus aga alati 0,5 ja niivõrd väikese väärtusega ei pidanuiski automaatset juhtimist lubama, sest see tooks kaasa nõiaringi, kus kompensaatorid ei jõua kunagi seadistatud pingevahemikku.

Seoses vähese põikikompensaatorite paindlikkusega võiks teatud juhtudel regiooni põhivõrguettevõtted kaaluda kompensaatorite tegemist mitme sektsiooniga, mis lubaks suuremat paindlikkust suntkompensaatorite kasutusel pinge juhtimiseks. Kuna nende loomine ja hooldamine on majanduslikult kallim kui ühe sektsiooniga suntkompensaatori puhul, võib mõista ka vastuargumente sellele ettepanekule. Siiski võib usutavasti olla olukordi, kus see võimalus vääriks uurimist.

Sarnaselt pinge juhtimisele elektrijaamade juures võiks ka suntkompensaatorite juures olla atribuut selle kohta, kas nende poolt juhitakse pinget samas sõlmes või mitte, mis aitaks paremini kontrollida ja analüüsida vastavate sõlmede pingete õigsust.

3.3.2 Ettepanekud

Ettepanek seoses standardi täiendamise või parandamisega:

- Suntkompensaatorile lisada lisaatribuut selle kohta, mis näitaks, kas seadmega reguleeritakse pinget seadmega samas sõlmes või mitte.

Ettepanekud põhivõrguettevõtetele täpsemaks ja kvaliteetsemaks modelleerimiseks:

- Lisada kõikidele suntkompensaatoritele viited reguleeriva kontrolli jaoks;
- Lisada puuduvad parameetrid g , b_0 ja b ;
- Lisada ja olemasolul kontrollida õigsust ning vajadusel korrigeerida parameetri **ShuntCompensator.aVRDelay** väärtusi;
- Kontrollida ja vajadusel muuta ning parandada **RegulatingControl.deadband** parameetri väärtuseid;

- Võimalusel lubada mudelis pinge automaatset juhtimist.

Ettepanek põhivõrguettevõtetele elektrivõrgus pinge paremaks juhtimiseks:

- Kaaluda, kas teatud olukordades võiks nii majanduslikult kui pinge parema paindlikuma juhtimise seisukohast luua suntkompensaatoreid mitmeseksiooniliselt.

3.4 Pinge juhtimine sünkroonkompensaatoritega

3.4.1 Järeldused

Sünkroonkompensaatoreid on teatud ulatuses regiooni võrgumudelis rakendatud. Tavaliselt on siiski saavutatud pinge juhtimine kasutades tavalisi sünkroonmasinaid teatud olukordades sünkroonkompensaatori rollis. Lähtuvalt standardist on sünkroonkompensaatoritena kirjeldatud spetsiifiliselt sünkroonmasinaid ilma tootva üksuseta, mille atribuut **operatingMode** on „condenser“. Neile kõigile kriteeriumitele vastas vaid üks regiooni A sünkroonmasin. Seega standardi kriteeriumite järgi on regiooni võrgumudelites kirjeldatud ainult ühte sünkroonmasinat, ehkki reaalsuses see päris kindlasti nii ei ole. Kusjuures regiooni A mudelis oli veel mitu sünkroonmasinat, millel oli vaid reaktiivkoormus, mis seega käitusid uuritud mudelis sünkroonkompensaatori rollis, kuid kuna teised kriteeriumid puudusid, siis standardi järgi ei saa neid siiski kirjeldada sünkroonkompensaatoritena.

Ühest küljest võiks tuua esile probleemi standardis, sest kui sünkroonkompensaatorit kirjeldatakse lihtsalt sünkroonmasina alaliigina, mis on paljuski toodud vaid ääremärkusena, siis see ei tundu olevat sobilik lahendus. Mõistlik tundub, et sünkroonkompensaatorite kujutamiseks oleks ette nähtud eraldi klass, millel oleks sihtotstarbelised atribuudid sünkroonmasina võimalikult täpseks ja kvaliteetseks modelleerimiseks. Teiseks tuleb esile tuua, et regiooni põhivõrguettevõtted võiks põhjalikult üle vaadata, millised seadmed võrgus toimivad spetsiifiliselt sünkroonkompensaatoritena, ja seejärel korrigeerida oma mudeleid, et need oleks selgelt modelleeritud sünkroonkompensaatoritena. Viimane oleks oluliselt selgem, kui standardis oleks eraldi klass sünkroonkompensaatorite jaoks.

Kirjeldatud sünkroonkompensaatori puudustest väärub esiletoomist, et pinge automaatse juhtimise seisukohast jäetakse mulje, et automaatne juhtimine pole võimalik ja seega on see välja lülitatud. See ei pruugi olla probleem, kui see tõesti tõsi on, kuid asjaolu, et sünkroonkompensaatori puhul pole automaatne juhtimine võrgumudelis võimalik, tundub kummaline. Puudu on ka nimipinge atribuudi väärtus ja

viide reaktiivvõimsuskõverale. Veel on puudu **voltageRegulationRange** atribuut ja agregeerimist näitava atribuudi väärtus. Kusjuures **deadband** väärtus on märgitud nulliks, mida võib samuti potentsiaalseks probleemiks pidada. Sarnaselt varasematele võiks ka siin märkida, et võiks olla lisaatribuut, kus oleks märgitud ära, kas reguleeritav sõlm on sama seadme asukohaga või mitte.

3.4.2 Ettepanekud

Ettepanekud seoses standardi täiendamise või parandamisega:

- Luua eraldi klass sünkroonkompensaatorite kujutamiseks võrgumudelis koos selleks sihtotstarbeliselt ettenähtud atribuutidega;
- Sünkroonmasinal võiks olla lisaatribuut selle kohta, kas seadmega reguleeritakse pinget seadmega samas sõlmes või mitte.

Ettepanekud põhivõrguettevõtetele täpsemaks ja kvaliteetsemaks modelleerimiseks:

- Põhivõrguettevõtetele kontrollida põhjalikult, kuidas on olemasolevaid sünkroonkompensatoreid modelleeritud ja neid vastavalt modelleerida;
- Olemasoleva näite põhjal kontrollida, kas mudelis pinge automaatne juhtimine tõesti pole võimalik. Juhul kui on, teha vastavad muudatused ja võimalusel lubada automaatne juhtimine;
- Lisada **RotatingMachine.ratedU**, **Equipment.aggregate** ja **SynchronousMachine.voltageRegulationRange** atribuutide väärtused;
- Kaaluda **RegulatingControl.targetDeadband** väärtuse muutmist nullist erinevaks.

Selles töös tehtud analüüsi põhjal ei ole võimalik teha ettepanekuid põhivõrguettevõtetele elektrivõrgus pinge paremaks juhtimiseks elektrijaamade juures.

3.5 SVC ja STATCOM-ide kasutus pinge juhtimiseks

3.5.1 Järeldused

SVC ja STATCOM-ide kohta pole võimalik suuri järeldusi teha, sest regiooni võrgumudelites on nende kasutuse peaaegu olematu. Uuritud info põhjal selgus, et regiooni elektrivõrkudes eksisteerib seadmeid, mida on võimalik STATCOM režiimil kasutada, ent olemasolevates oludes ei peeta nende kasutamist mõistlikuks ega otstarbekaks. Sellest tulenevalt ei ole ka erilist vajadust nende modelleerimise suhtes. Kuid see viib

standardiga seotud suurema probleemi juurde. Kuigi SVC on eraldi klassina standardis kirjeldatud, siis STATCOM-i standardi käsitlemist standardis ei olnud võimalik leida. Seega on ilmselt vajadus standardis võrgumudelites käsitleda ka STATCOM-i modelleerimist.

3.5.2 Ettepanekud

Ettepanek seoses standardi täiendamise või parandamisega:

- Luua eraldi klass STATCOMi kujutamiseks võrgumodelis selleks sihtotstarbeliselt ette nähtud atribuutidega.

Seoses SVC-de puudumise ja STATCOM-i mittekasutamisega regiooni elektrivõrkudes, millest tulenevalt puudub vajadus neid ka praegu modelleerida, pole võimalik teha ettepanekuid põhivõrguettevõtetele täpsema ning kvaliteetsema modelleerimise ja elektrivõrgus pinge parema juhtimise seisukohast.

3.6 HVDC kasutus pinge juhtimiseks

3.6.1 Järeldused

HVDC on olemas ja kasutusel regiooni elektrivõrkudes ning neid kasutatakse ka üsna aktiivselt pinge juhtimiseks. Samas võrgumudelites neid hetkel standardis selleks ette antud võimalustega sihtotstarbeliselt ei modelleerita, seoses selle keerukuse ja veel teatud spetsiifiliste asjaoludega. Lihtsustamiseks kasutatakse nende esindamiseks **EquivalentInjection**-eid. Samas viimane pole otseselt ette nähtud pinge juhtimiseks. Teadaoleva info põhjal on jäänud mulje, et osaliselt on HVDC ühendusi modelleeritud ka sünkroonmasinate abil, mis annab alternatiivi pinge juhtimiseks. Samas jääb praegu mõnevõrra ebaselgeks, kuidas seda on korraldatud. Standardi osas tuleb esile tuua, et kuigi on olemas **ACDCConverter** ja **VsConverter**, mis on ette nähtud HVDC võrgus modelleerimiseks ning samuti annavad pingega seonduvat infot, ei ole need klassid kuidagi seotud **RegulatingControl** klassi atribuutidega. Et aga pinge juhtimine nende abil on võimalik, võiks reguleeriv kontroll ka neile olla rakendatud.

3.6.2 Ettepanekud

Ettepanek seoses standardi täiendamise või parandamisega:

- Siduda vähemalt **VsConverter** (võimalusel ka **ACDCConverter**) **RegulatingControl** klassiga.

Ettepanek põhivõrguettevõtetele täpsemaks ja kvaliteetsemaks modelleerimiseks:

- Leida vähemalt pikemas perspektiivis võimalusi HVDC ja HVDC abil pinge juhtimiseks paremaid võimalusi nende võrgumudelites modelleerimiseks. Seni kuni standardis HVDC kujutamine ettenähtud viisil ei õnnestu, püüda leida paremaid ja selgemaid variante HVDC võrgumudelites kujutamiseks

Analüüsi põhjal polnud võimalik teha järeldusi ega ettepanekuid HVDC paremaks kasutamiseks elektrivõrgus pinge juhtimiseks.

KOKKUVÕTE

Käesolevas magistritöös käsitleti Balti regiooni võrgumudelite põhjal pinge modelleerimise võime hindamist. Töö käigus uuriti, millised on üldised meetodid pinge juhtimiseks teoreetiliselt, seejärel tutvustati CIM andmemudeli ja võrgumudelite olemust, ning uuriti, kuidas on pinge juhtimisega seotud meetodid standardi järgi võrgumudelites kujutatud. Seejärel sai põhjalikumalt uurida kättesaadavate kolme regiooni mudelite näitel, kuidas on pinge juhtimist modelleeritud ja analüüsi tulemusel tuvastatud võimalikke puudusi nii regiooni pinge juhtimise modelleerimisel kui ka võimalike probleeme standardi endi juures. Samuti tehti analüüsi põhjal tähelepanekuid ka üldise reaalse pinge juhtimise kohta võrgus. Seejärel järelduste ja ettepanekute osas tehti ka vastavaid konkreetseid ettepanekuid, mille abil potentsiaalselt nimetatud kategooriates võiks olla võimalik probleeme lahendada ning olukorda parandada.

Töö esimeses osas kirjeldati olulisemaid Euroopa Komisjoni määruses olevaid seadeväärtuste pingemuutusteks lubatud vahemikke ja tutvustati seitset üldist meetodit pinge juhtimiseks, lähtuvalt seadmetest, mille juurest pinge juhtimist teostada on võimalik. Need olid elektrijaamad, trafod, põik- ja sünkroonkompensaatorid, SVC-d, STATCOM-id ja HVDC ühenduste kasutamine pinge juhtimiseks. Seejärel tutvustati põgusalt CIM andmemudelit ja selle rakendusi ning võrgumudeleid ja nende rakendamisega seotud protsesse, mida Euroopas kasutatakse. Lisaks tutvustati ka IEC 61970-600 standardit, mis on genereeritud UML-is kujutatud CIM andmemudeli põhjal. Väga lühidalt sai tehtud juttu ka UML-ist ja CIM andmemudeli kujutamisel UML-is. Järgnes töö seisukohast väga oluline osa, kus kirjeldati, kuidas on CIM andmemudeli struktuurides pinge juhtimisega seotud seadmed ja nende pingemuutusteks võimaldavad atribuudid kirjeldatud. Esimese osa lõpus anti ülevaade ka kõikidest kasutatud tarkvaradest ja tööriistadest ning nende rollidest lõputöö kirjutamisel.

Töö teises põhiosas teostati praktiline analüüs kättesaadavate regiooni võrgumudelite põhjal. Esmalt vaadeldi, kas ja kuidas ning millistes mudeli struktuuriosades on olemas info pingemuutusteks võimaldavate seadmete ja nende juhtimiseks võimaldavate atribuutide kohta. Juhul kui pingemuutusteks oli vaadeldavates võrgumudelites kirjeldatud, sai neid lähemalt uuritud igas võrgumudelil eraldi. Et kõik olulisemad pingemuutusteks seotud meetodid, mis võrgumudelites olid olemas ja mida oli võimalik uurida, omasid standardijärgselt viiteid mudelites automaatselt juhtimiseks võimaldavatele seadetele, siis teostati viimast analüüsi kahes jaos kõikidele kolmele regiooni võrgumudelile eraldi. Esmalt vaadeldi olukordi, kus parasjagu uuritava meetodiga seotud seadmetel olid vastavad puudused. Seejärel vastava meetodiga seotud seadmeid võrgumudelil, kus viited pinge mudelil automaatselt juhtimisega seotud infole olid olemas ja seega oli

võimalik viimast informatsiooni ülejäänud informatsiooni kontekstis analüüsida. Kusjuures mõlemal juhul analüüsiti esmalt üldisi atribuute ja nende väärtusi, ning seejärel pingeid vastavate seadmete poolt reguleeritud sõlmedes. Uuriti neid lähtuvalt kehtivatest võrgueeskirjadest ja teadaolevatest üldistest pingajuhtimisega seotud põhimõtetest, ning samuti vaadeldes pingeid muude olemasolevate atribuutide kontekstis.

Töö kolmandas põhipeatükis koguti kokku kõik tähtsamad järeldused kõikide uuritud pingajuhtimise meetodite kohta, mida analüüsis teha õnnestus, et seejärel nende põhjal esitada konkreetseid ettepanekuid kolmes kategoorias. Esiteks eesmärgiga parandada ja täiendada standardit, teiseks aidata põhivõrguettevõtetel tõsta regiooni võrgumudelites pinge juhtimise modelleerimise täpsust ja kvaliteeti ning kolmandaks, juhul kui seda oli võimalik teha, anda analüüsi põhjal ettepanekuid, kuidas elektrivõrgus üleüldises mõistes oleks teoreetiliselt võimalik pinge juhtimist muuta kvaliteetsemaks.

Kokkuvõttes sai tehtud ettepanekuid kõigis kolmes kategoorias, kuid eelkõige teises, kus oli algusest peale rõhuasetus, ehk kuidas võrgumudeleid pinge juhtimise seisukohast paremini modelleerida. Tähtsamad tähelepanekud olid seotud kas erinevate atribuutide üldse mitte kasutamise või potentsiaalse valesti kasutamisega. Eraldi pälvis tähelepanu paljudes olukordades automaatset pinge juhtimist võimaldavate seadete mittekasutamine. Puudusi tuvastati ka standardis ja näiteks STATCOME pole standardis isegi kirjeldatud, sünkroonkompensaatorite jaoks pole eraldi klassi. Veel tuli ette olukordi, kus oleks võinud olla kirjeldatud teisi atribuute või neid atribuute teisiti kirjeldada. Mõningaid tähelepanekuid tehti ka seoses elektrivõrgus üldise võimaliku parema modelleerimisega, mis olid seotud nt trafode reguleerimisvahemiku suurendamise ja põikikompensaatorite juures rohkem kui ühe sektsiooni omamisega.

Olulisemad järeldused ja soovitusel käesoleva töö põhjal on:

- IEC 61970-600 standardis on otstarbekas kirjeldada täiendavaid atribuute, mis võimaldab anda rohkem infot mudeli elementide kohta ja vältida vigade teket;
- Regiooni põhivõrguettevõtetel on probleeme standardis kirjeldatud atribuutide kasutamisega, sest mõningaid atribuute ei kasutata üldse ja mõningaid kasutatakse valesti, mis kokkuvõttes halvendavad modelleerimise kvaliteeti. Põhivõrguettevõtetel on otstarbekas kasutada rohkem standardis kirjeldatud seadmete atribuute ja kasutada neid õigemini;
- Võrgumudelites esines pinge nõuetele mittevastavusi, mille puhul on vaja kontrollida kas tegemist on mudeliveaga või probleemiga reaalsuses.

KASUTATUD ALLIKAD

- [1] Euroopa Komisjon, „KOMISJONI MÄÄRUS (EL) 2017/1485,“ *Euroopa Liidu Teataja*, pp. 220/1-220/120, 2 August 2017.
- [2] L. L. Grigsby, *The Electric Power Engineering Handbook*, Boca Raton: CRC Press LLC, 1998.
- [3] K. Daware, „Methods Of Voltage Control In Power System,“ Aprill 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.electricaleasy.com/2018/04/voltage-control-in-power-system.html>. [Kasutatud 4 Märts 2023].
- [4] T. J. E. Miller, *Reactive Power Control in Electric Systems*, A Wiley-Interscience Publication, 1982.
- [5] Science Direct, „Synchronous Condenser,“ Science Direct, 2004. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/synchronous-condenser>. [Kasutatud 17 Aprill 2023].
- [6] M. K. Saini, „What is a Synchronous Condenser?,“ Tutorialspoint, 30 Oktoober 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.tutorialspoint.com/what-is-a-synchronous-condenser>. [Kasutatud 18 Aprill 2023].
- [7] S. Pütz, B. Schäfer, D. Witthaut ja J. Kruse, „Revealing interactions between HVDC cross-area flows and frequency stability with explainable AI,“ *Energy Informatics*, kd. 5, Detsember 21 2022.
- [8] S. Ruihua, Z. Chao, L. Ruomei ja Z. Xiaoxin, „VSCs based HVDC and its control strategy,“ %1 *IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific*, Dalian, 2005.
- [9] Microsoft 365 Team, „Lihtne juhend UML-diagrammide koostamiseks ja andmebaasi modelleerimiseks,“ Microsoft, 24 September 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.microsoft.com/et-ee/microsoft-365/business-insights-ideas/resources/guide-to-uml-diagramming-and-database-modeling>. [Kasutatud 7 Mai 2023].
- [10] M. Gietz ja T. Rogowski, „CGMES as an interface for mulilateral grid modelling data exchange,“ %1 *2019 Modern Electrical Power System (MEPS)*, Wroclaw, 2019.
- [11] M. Uslar, M. Specht, S. Rohjans, J. Trefke ja J. M. V. González, *The Common Information Model CIM - IEC 61968/61970 and 62325 - A Practical Introduction to the CIM*, Berlin: Springer-Verlag, 2012.
- [12] CORESO, „Common Grid Model,“ Coreso, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.coreso.eu/services/cgm/>. [Kasutatud 12 Märts 2023].
- [13] Euroopa Parlament ja Nõukogu, „Euroopa Liidu Teataja,“ 5 Juuni 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R0943#d1e32-116-1>. [Kasutatud 9 Mai 2023].
- [14] European Committee for Electrotechnical Standardization, „Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 600-1: Common Grid Model Exchange Standard (CGMES) - Structure and rules Standard (CGMES) - Structure and rules,“ European Committee for Electrotechnical Standardization, Brüssel, 2021.
- [15] European Committee for Electrotechnical Standardization, *Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 600-2: Common Grid Model Exchange Specification (CGMES) - Exchange profiles specification (IEC 61970-600-2:2021)*, Brüssel: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2021.

- [16] DMTF, „DMTF,“ 11 August 2009. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.dmtf.org/sites/default/files/standards/documents/DSP0219_1.0.0.pdf. [Kasutatud 3 Mai 2023].
- [17] IEC, *TC57CIM*, IEC, 2016.
- [18] ENTSO-E, „Common Information Model,“ ENTSO-E, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.entsoe.eu/data/cim/>. [Kasutatud 20 Aprill 2023].
- [19] D. Kuhlman, *A Python Book: Beginning Python, Advanced*, Dave Kuhlman, 2013.
- [20] S. K. Arora, „What is PyCharm? Features, Advantages & Disadvantages,“ Hackr.io, 2 Märts 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://hackr.io/blog/what-is-pycharm#what-is-pycharm>. [Kasutatud 20 Aprill 2023].
- [21] Pandas, „pandas,“ Pandas, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://pandas.pydata.org/>. [Kasutatud 20 Aprill 2023].
- [22] K. Vilgo, „USVDM/ Tools/ RDF_Parser,“ Github, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://github.com/Haigutus/USVDM/tree/master/Tools/RDF_PARSER. [Kasutatud 20 Aprill 2023].
- [23] Sparxsystems, „Enterprise Architect,“ Sparxsystems, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://sparxsystems.com/>. [Kasutatud 3 Mai 2023].
- [24] Regiooni_A_võrguettevõtte_esindaja, Interviewee, *Intervjuu regiooni A esindajaga*. [Intervjuu]. 21 Aprill 2023.
- [25] Regiooni B põhivõrguettevõtte, „Regiooni B kinnine allikas,“ Regiooni B põhivõrguettevõtte, 2021.
- [26] Regiooni_C_põhivõrguettevõtte_esindaja, Interviewee, *Kinnine intervjuu regiooni C põhivõrguettevõtte esindajaga*. [Intervjuu]. 10 Mai 2023.
- [27] Electric Power Research Insitute, „EPRI,“ Electric Power Research Insitute, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.epri.com/about>. [Kasutatud 17 Mai 2023].