



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

TEHNILINE ANALÜÜS
300 KV ÜLEKANDELIINI ÜLEVIIMISEL 420 KV-LE

TECHNICAL ANALYSIS OF THE UPGRADING OF 300 KV TRANSMISSION
LINE TO 420 KV

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Aleksandr Nani

Üliõpilaskood: 174840 AAVM

Juhendaja: nooremteadur Mari Löper

Juhendaja: dotsent Jako Kilter

Tallinn 2018

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

“...04...”

.....jaanuar.....2018.....

Autor:



/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....”

201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Aleksandr Nani	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Tehniline analüüs 300 kV ülekandeliini üleviimisel 420 kV-le	
<i>Kuupäev:</i> 05.01.2018	70 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> nooremteadur Mari Löper, dotsent Jako Kilter	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i> Statnett SF vaneminsener Bjarni Helgi Thorsteinsson, Statnett SF elektromehaanilise projekteerimise osakonna juhataja Kjell Åge Halsan	
<i>Sisu kirjeldus:</i> <p>Antud töös on esitatud Norra võrguettevõtte Statnett SF projekteerimismeetmeid, mida kasutatakse olemasolevate 300 kV dupleksfaasiliini konfiguratsiooniga ülekandeliinide üleviimisel 420 kV-le. Meetmed on välja töödatud tuginedes kõrgepingelaboratoriumites varem läbi viidud testidele. Lähtudes sellest on ülekandeliini pingestatud osade ja erinevate masti tüüpide konstruktsioonide vahel olevad minimaalsed lubatud õhkvahemikud defineeritud ning projekti läbi viimisel kasutatud. Kasutades laboratoorseid tulemusi saadud testidelt ning kombineerides seda kasutusel oleva tarkvaraga on välja töötatud ettevõtte sisene projekteerimisjuhend.</p> <p>Töö esimesel poolel kirjeldatakse, kuidas saab optimeerida ülekandeliini isolaatorketi dimensioneerimist kasutades nii PLSCADD kui ka LPE tarkvara uuele pingetasemele ülemineku korral. Töö teisel poolel on seletatud, kuidas LPE (<i>Line performance Estimator</i>) tarkvara on üles ehitatud, ning millised on põhiparameetrid mida kasutakse sisendandmetena isolaatorketi dimensioneerimisel 420 kV ülekandeliini juures.</p> <p>Töö lõpus on lahendatud praktiline osa, mille juures on näidatud kuidas saab eristada erinevate elektrikatkestuste mõju kõrgepingeliini talitluse võimele kasutades LPE tarkvara ning kuidas leida optimaalne isolatsiooni koordineerimine.</p> <p>Nagu projekteerimisjuhend ette näeb võrreldi kolme erinevat talitluseolukorda võttes arvesse nii erinevaid tehnilisi lahendusi kui ka süsteemi pinget nii 300 kV kui ka 420 kV korral. Esmaselt hinnati liini kandemastide talitlusvõimet enne pinget uuendamist ehk 300 kV pinget talitluse korral. Seejärel viidi läbi arvutusi liinil millel on 420 kV-le dimensioneeritud kandeisolaatorid. Viimasena arvutati ülekandeliini talitlusvõimet kui kõik isolaatorketid (nii kande - kui ka tõmbeisolaatorketid) on optimeeritud 420 kV-le.</p>	
<i>Märksõnad:</i> pinget uuendamine, Statnett SF, isolatsiooni koordineerimine, kliima mõju, kriitilised õhkvahemikud, dimensioneerimise optimeerimine	

Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Aleksandr Nani	<i>Kind of the work:</i> Master`s Thesis
<i>Title:</i> Technical analysis of the upgrading of 300 kV transmission line to 420 kV	
<i>Date:</i> 01.12.2017	<i>70 pages</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>Faculty:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Researcher Mari Löper, Associate professor Jako Kilter	
<i>Consultant(s):</i> Senior Engineer of Statnett`s electromechanical engineering department Bjarni Helgi Thorsteinsson, Section manager of Statnett`s electromechanical section Kjell Åge Halsan	
<i>Abstract:</i> In this work, the design measures for the voltage upgrading from 300 kV to 420 kV on the existing Norwegian transmission line with duplex configuration operated by the Statnett SF are represented. The measures were developed on the basis of full scale tests performed in high voltage laboratory. Based on this, requirements for internal clearances between the energized parts of the transmission line and the structure of different types of towers have been defined and implemented in the voltage upgrading projects. Using the laboratory results from the obtained tests and combining it with the software internally used in the company internal design guide for transmission line`s voltage upgrading has been developed. In the first half of the work, it has been described how to optimize the transmission line insulator string length using PLSCADD as well as LPE (Line performance Estimator) software for upgrading it to a new voltage level. The second half of the work explains how the LPE software is structured and what are the basic parameters that are used as input data for dimensioning of the insulator string on the 420 kV transmission line. In the end of the work a practical tasks have been solved, where author explained how to distinguish the effect of different line outages on the transmission line`s performance using the LPE software and how to find an optimal measure in coordination of the insulation of the insulator string. According to the description of guidelines for voltage upgrading design, three different operating conditions were compared taking into account the various technical solutions and system voltage level, for both 300kV and 420 kV. At first was performance of the line evaluated before voltage upgrade with existing solutions chosen for insulator strings. Then calculation on 420 kV line was performed with extended insulator strings. Finally performance of the line was calculated with modified insulator arrangements insulator strings on suspension and tension strings.	
<i>Key words:</i> voltage upgrading, Statnett SF, insulation coordination, climatic loads, critical clearances, optimalization of insulation coordination	

Sisukord

Lõputöö ülesanne	7
Teema põhjendus	7
Töö eesmärk.....	8
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:	8
Lähteandmed.....	9
Eessõna.....	10
Sissejuhatus	11
1 Projekteerimismeetmed pinge muutmisel	13
1.1 Projekteerimise etapid.....	13
1.2 Kandemastide nõuded.....	15
2 Isolatsiooni koordineerimine.....	20
2.1 Simulatsioonide läbiviimine	20
2.2 Nõuded keskmistele faasijuhtidele	22
2.3 Kõrgepingeliini isolaatorketi dimensioneerimine	24
2.4 Vajalikud sisendandmed LPE tarkvaras	25
3 Tehnilis-majanduslik hinnang	30
3.1 Ülekandevõrgu areng viimase seitsmekümne aasta jooksul	30
3.2 Pinge tõstmine – kerge viis liini trassi taaskasutamiseks.....	31
3.3 Ehitusviiside puudused ja eelised	32
3.4 Hinnang võimalikele ehitusalternatiividele	33
3.5 Eeldatav kulude võrdlus uue liini ehituse ja olemasoleva liini pinge uuendamise vahel	33
4 Isolaatorketi optimaalse pikkuse leidmine LPE tarkvara abil	37
4.1 LPE tarkvara tulemuste võrdlus käesoleva rikete statistikaga	37
4.2 Äikese mõju hindamine	40
4.3 Saaste ja jäite mõju hindamine	41
4.4 Jäite mõju.....	43
4.5 Isolaatorketi optimaalse pikkuse leidmine	45
4.6 Järeldused tehtud arvutuste kohta	49
5 LPE tarkvara kasutamine PLSCADD režiimis.....	50
5.1 300 kV ülekandeliini rikete ja ülelöögi määra arvutamine	50
5.2 420 kV ülekandeliini rikete ja ülelöögi määra arvutamine kandemastidel	56
5.3 420 kV ülekandeliini rike ja ülelöögi määra arvutamine kande- ja ankrumastides.	60
5.4 Järeldused.....	63
Lõputöö kokkuvõte	65

Kirjandus	68
LISA 1. Rikked Svartisen – Rana ja Tonstad – Feda liinidel	69
LISA 2. LPE arvutuste tulemused.....	70

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema: Tehniline analüüs 300 kV ülekandeliini üleviimisel 420 kV-le
Üliõpilane: Aleksandr Nani
Lõputöö juhendaja(d): Jako Kilter, Mari Löper
Instituudi direktor: Ivo Palu
Lõputöö esitamise tähtaeg: 20.12.2017



Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Instituudi direktori (allkiri)

Teema põhjendus

Teemat on vaja uurida selleks, et jagada kogemust projekteerimises olemasoleva ülekandeliini pingesüsteemi uuendamisega 300 kV-st 420 kV-le. Antud teema on huvitav, kuna see annab ülevaate, kuidas on võimalik tänapäeval kõrgepingeliini uuendada kõrgemale pingesüsteemile ilma oluliste maksumusteta võrreldes uue liini ehitusega. Ülesanne on oluline mitte ainult Eesti Põhivõrgule vaid ka paljude teiste riikide võrguettevõtete operaatorite jaoks. Seda selleks, et olla teadlik antud ümberehitusviisiga ning teostada veelgi mahukamat investeerimise analüüsi võrgu ümberehitamise korral. Teema on tähtis, kuna tänapäeval tarbitakse aina rohkem elektrit ja selleks, et rahuldada uusi tarbimisvajadusi on vaja uuendada vanu elektrivõrkusid või ehitada uusi. Ülekandeliini uuendamise alternatiiv oleks tähtis lisakogemus mida kindlasti tuleks kaaluda põhivõrgu uuendamisel.

Üheks lisäülesandeks on uurida ja tutvustada LPE (*Line Performance Estimator*) tarkavara kasulikkust, mida kasutatakse laialt kõrgepingeliini talitlusvõime arvutamiseks antud projektiprogrammis. Kontrollida kui palju ja kas üldse isolaatorketi pikemaks dimensioneerimine saastatud aladel saab parandada antud terve kõrgepingeliini talitlust. Samas tuua välja näide antud arvutuse põhjal lähtudes elektrikatkestuste statistikast kuivõrd palju muutub kõrgepingeliini talitluse võime iga erineva rikke tüübi (saaste, jäite või äikesese) korral valitud ülekandeliini puhul.

Töö teise lisäülesandena on aga esitatud LPE tarkvara kasutamise kasulikkus ülekandeliini uuendamise projekteerimise käigus. Mille juures kontrollitakse ülekandeliini talitlusvõimet erinevates projekteerimise etappides et võimalusel korrigeerida projekteeritud lahendusi selleks et

parandada ülekandeliini varustuskindlust. Seda teostatakse kas isolaatorketi pikkuse optimeerimise kaudu või lisameetme kasutusele võtmisega olemasoleva isolaatorketi stabiilsena hoidmiseks kas liini kõigi faaside juures või liini teatud faasil. Lõpptulemusena tuukse esile hinnang terve ülekandeliini talitluse kohta projekteerimisprotsessi erietappidel. Tuleb märkida et autori jaoks LPE tarkvara kasutuselevõtt on täiesti uus.

Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on uurida välja töötatud projekteerimisprotsessi ja kasutatava tarkvara kasulikkust ning selle rakendamise leidmist kõrgepingeliini pingesüsteemi uuendamisel 300 kV-lt 420 kV-le. Estimes lisaulesandena ukritiske isolaatorketi dimensioneerimise kasulikkust saastatud aladel. Ning kui palju annaks sellega parandada kõrgepingeliini talitluse võimet. Teise ülesande käigus kontrollitakse liini iga masti isolaatorketide dimensioneeritud lahenduste vastavust seatud nõuetele nii 300 kV kui uue 420 kV liini puhul. Arvutusi teostatakse kasutades LPE (Line Performance Estimator) tarkvara arvutusi. Esimeses etapis on põhieesmärgiks kontrollida LPE tarkvara täpsust võrreldes rikete statistikaga. Teise etapi eesmärgiks on uurida projekteeritud lahenduste valiku õigsust ning veenduda, et seatav eesmärk liini talitluse puhul 50 - aastase tuulekoormuse korral on täidetav.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- Projekteerimise etapid kõrgepingeliini pingesüsteemi uuendamisel 300 kV-st 420-le.
- Liini pingeklassi muutmise tehniline analüüs
- Kasutatava tarkvara kasulikkus ning kuidas sellega dimensioneeritakse isolaatorketi pikkust erinevatel mastidel.
- Kuidas saab eristada erinevate elektrikatkestuste mõju kõrgepingeliini talitluse võimele kasutades LPE tarkvara.
- Kõrgepingeliini talitlusvõime parandus isolaatorketi dimensioneerimisega.
- Ülekandeliini isolatsiooni dimensioneerimise optimaliseerimine kasutades LPE (Line Performance Estimator) arvutusi kogutud andmete ja rikete statistika põhjal.
- Ülekandeliini isolatsiooni dimensioneerimise optimaliseerimine projekteerimise käigus saadud andmete põhjal kasutades LPE tarkvara PLSCADD mooduses.

Lähteandmed

Andmeid saadakse nii projektis kasutatavatest juhenditest kui ka olemasolevatest seadusandlustest ning ka projekteerimiseks välja töödatud tarkvarast.

Eessõna

Ülekandeliini pingesüsteemi uuendamise eesmärk 300 kV-st 420 kV-le on eelkõige põhjendatud sellega, et suurendada olemasoleva õhuliini läbilaskevõimsust ilma suuri investeeringuid tegemata, mis kehtivad uue kõrgepingeliini ehitamisel. Seda eelkõige selleks, et rahuldada elektritarbimise vajadusi teatud ajavahemikus.

Varustuskindluse parandamisel on suhteliselt asjakohane kasutada olemasolevaid ülekandeliinide trasse nii palju kui võimalik, enne kui plaanitakse hõivata selleks uusi trasse ja uusi piirkondasid. Seetõttu pinge tõstmine 300 kV-lt 420 kV-le on väga oluline olemasolevatel 300 kV mastidel ning selle realiseerimine litähtis kui järgmise põlvkonna plaan, mis on osa võrguettevõtja tuleviku strateegiast.

Antud ülesande puhul on vajalik tõestada, et mitte iga regiooni puhul ei ole vajalik niivõrd suur investeering tõstmaks elektrivarustuskindlust. Enamus juhtudel piisab ka pingesüsteemi uuendamisest ilma, et see nõuaks mahukaid investeeringuid. Teema raames soovitakse uurida ja jagada kogemust projekteerimises ülekandeliini pingesüsteemi üleviimisega 300 kV-st 420 kV-le. Teema on huvitav kuna on piisavalt potentsiaali, et uurida projekteerimisprotsessi ja kasutatavate tarkvarade korrektsust ülekandeliini pinge uuendamisel ka edaspidi.

Sissejuhatus

Statnett SF kui Norra suurimal võrguettevõtetel on plaanis teha suuri investeeringuid 6 miljardi euro suuruses olemasoleva võrgu uuendamiseks ja täiendamiseks. Viieteistkümne aasta jooksul alates 1990. aastate algusest on Norras kogetud märkimisväärset tarbimise suurenemist ilma vajalike investeeringuteta võrguettevõtja poolt. Nüüdseks on vajalik lisameetmete rakendamine, sest paljude liinide ja alajaamade tehniline eluiga on lõppemas. Järgnevatel aastatel on vaja teostada täiendavaid investeeringuid, et rahuldada ühiskondlikke vajadusi kui ka elektrisüsteemi varustuskindlust.

Üheks kaalutavaks variandiks on olemasolevate ülekandeliinide uuendamine, mis oleks tähtis alternatiiv uute liinide ehitusele. Selle raames vaadeldakse liinide pingeastme tõstmist täiendava ülekandevõimsuse saamiseks. Pingeastme tõstmine hõlmab laia tehnilist lahendust, alates näiteks olemasolevate dupleks faasiliinide isolatsiooni optimeerimises uuele 420 kV standardile või simpleks liinide ümberehitust, mis hõlmab vanade faasiliinide asendamist uute dupleks-liinidega, mida hiljem talitletakse 420 kV pingel all. Selle raames on käesoleva töö üheks ülesandeks uurida pingel uuendamise projekteerimise juures kasutatava tarkvara kasulikkust.

Ülesande sisuks on muuhulgas kontrollida, kui palju ja kas üldse isolaatorketi pikemaks dimensioneerimine saastatud aladel parandab kõrgepingeliini talitlust. Lisaks uuritakse käesolevas töös kõrgepingeliini rikkeid ja nende hulka erinevat tüüpi rikete (saaste, jäite või äikesest poolt põhjustatud) korral liini pingeastme muutmise korral. Töö teine eesmärk on uurida välja töötatud LPE (*Line Performance Estimator*) tarkvara kasulikkust ülekandeliini uuendamiseks. Ülesande lahendamisel kontrollitakse ülekandeliini talitlusvõimet erinevates projekteerimise etappides, et võimalusel korrigeerida projekteeritud.

Tehnilisest küljest koosneb pingeastme muutmine olemasolevate mastide ja liinide korduvkasutusest ning olemasoleva isolaatorketi pikkuse optimeerimisest. Sellisel puhul ei piisa ainult samade isolaatorite arvu suurendamisest erinevate mastide tüüpide puhul vaid vajalik on õige pikkuse optimeerimine, et vältida väljalülituste arvu erinevate ilmastikuolude puhul. Väljalülituste seos ilmastikuoludest tuleneb lekkeraja vähenemisest, mis on tingitud jäitest, saastest või äikesest.

Töö esimeses osas kirjeldatakse projekteerimisprotsessi, mis tugineb võrguettevõtte sisejuhenditele ja varem läbi viidud laboratoorsetele testidele, mis põhinevad uue pingesüsteemi testimisega erinevate ilmastikuolude puhul olemasolevatel mastidel. Kirjeldatakse täpselt, millised on vajalikud algandmed ning milliseid nõudeid esitatakse lahenduste valikul erinevate mastitüüpide puhul.

Projekteerimisprotsesside kirjeldamisel esitatakse kasutatava tarkvara iseloomustus kuid ka selle tähtsus ja kasulikkus projekteerimise käigus.

Täpselt kirjeldatakse optimaalsete lahenduste leidmist erinevate mastitüüpide puhul arvestades võimalikke ilmastikuolusid. Tuuakse välja, milliseid kontrollmeetmeid kasutatakse õige lahenduse leidmiseks ning milline tarkvara on vajalik. Järgmise sammuna esitatakse käesolevas töös tehnilis - majanduslik hinnang võimalikest alternatiividest ülekandevõrgu pingekvaliteedi parandamiseks, kus võrreldakse vajadusi uue liini ehitamiseks ja olemasoleva liini pinge uuendamiseks. Võrreldakse mõlema alternatiivi maksumust ja kasulikkust tuleviku perspektiivis. Lisaks uuritakse töös LPE tarkvara tööpõhimõtet ning tuuakse välja ülevaade integreeritud sisendparameetritest, mille põhjal on antud tarkvara üles ehitatud. Samuti kirjeldatakse arvutamiseks vajalike parameetriteid sõltuvalt iga ülekandeliini eripärast.

Käesoleva töö lõpetuseks uuritakse LPE tarkvara kasutamise tähtsust näidete abil. Arvutusi viiakse läbi kahe etapina. Esmalt võrreldakse LPE tarkvaras saadud tulemusi pikalt võrguettevõtja poolt kogutud rikete statistikaga ning hinnatakse tarkvara arvutustäpsust ning võimalike põhjusi ja puudusi, mis võiksid avaldada nendele arvutustele mõju. Teise arvutusnäitena esitatakse ülekandeliini talitlusvõime arvutusi kaasates PLSCADD tarkvara eksportimist LPE tarkvarasse. Uuritakse liini uuendusega kaasnevate isolatsiooni dimensioneerimisel valitud lahenduste õigsust projekteerimise erinevatel etappidel. Lõpptulemusena võrreldakse uuendatud liini ülepinge üldist rikkemäära, kui ka rikete määra, mis on tingitud erinevatest ilmastikuoludest. Nagu projekteerimisjuhend ette näeb võrreldakse kolme erinevat talitluseolukorda võttes arvesse nii erinevaid tehnilisi lahendusi kui ka süsteemi pinge nii 300 kV kui ka 420 kV korral. Esmaselt hinnatakse liini kandemastide talitlusvõimet enne pinge uuendamist ehk 300 kV pinge talitluse korral. Seejärel viiakse läbi arvutusi liinil millel on 420 kV-le dimensioneeritud kandeisolaatorid. Viimasena arvutatatakse ülekandeliini talitlusvõimet kui kõiki isolaatorketide (nii kande - kui ka tõmbeisolaatorketide) lahendused on optimeeritud 420 kV-le.

1 Projekteerimismeetmed pinge muutmisel

Selles peatükis antakse ülevaade kehtivatest projekteerimismeetmetest ja ka projekteerimisetappidest mida järgitakse projekteerimisprotsessi jooksul. Kirjeldatakse põhjalikult milliseid nõudeid esitatakse erinevatele tüüpidele isolaatorketidele mastidel erinevate ilmastikuolude puhul.

1.1 Projekteerimise etapid

Projekteerimisprotsessi lihtsustamiseks on jagatud projekteerimine mitmeks väiksemaks etapiks, mis võimaldab anda parema ülevaate protsessist endast kui ka töö staatusest.

Pinge uuendamise korral soovitakse saavutada vastavust standardile erinevate isolaatorkettide abil. Sel puhul I-tüüpi ketid asendatakse V-kettidega. Kaksik-tüüpi I ketid pikendatakse ning eriti vanad portselani tüüpi ketid asendatakse uute klaas tüüpi isolaatorkettidega. [1]

V-tüüpi isolaatorketid on võetud kasutusele uue standardina ning asendavad vanu I-tüüpi glaasisolaatorkette.

Illustratiivne näide erinevatest isolaatortüüpi kettidest ja täpsem selgitus nende kohta on välja toodud allpool olevatel joonistel 1.1 ja 1.2.



Joonis 1.1 V-tüüpi klaasisolaatorketid

V-tüüpi isolaatorketid leiavad kasutust ca. 32% mastidel. Sel puhul on kõikumine oluliselt piiratud ning enam-vähem püsiv asend on tagatud tänu faasiliini stabiliseerumisele isolaatorketi mõlemalt poolt.

I-tüüpi isolaatorketid vahetatakse vanadel mastidel välja. Põhjuseks, et see võib kõikuda edasi-tagasi isegi väiksematel kliimakoormustel. Taolise isolaatorketi tüüp avaliselt leiab kasutust ca. 68% mastidel. Kliimakoormuseks nimetatakse ilmastikuoludest tingitud koormust mis antud juhul võib avaldada mõju ülekandeliinile tuule või jääte näol.



Joonis 1.2 I-tüüpi isolaatorketid

Isolaatorketide pikkuste optimeerimisel on väga tähtis lähtuda kindlatest projekteerimisreeglitest ning kasutada selleks spetsiaalselt välja töötatud tarkvara. Üks nendest on PLSCADD (*Power Line Simulation*) ning teine LPE (*Line Performance Estimator*). PLSCADD-i kasutatakse tavaliselt kogu projekteerimisprotsessi jooksul. Seda eelkõige selleks, et modelleerida uut või saada ülevaadet olemasolevast ülekandeliinist. Tarkvara on väga kasulik, sest selle abil saab modelleerida tervet kõrgepingeliini koos mastide ja liinidega.

Projekteerimisprotsessi saab jagada mitmeks etapiks. Esimene projekteerimisetaap koosneb enamasti olemasoleva kõrgepingeliini andmete kogumisest ning nende sisestamist ülaltoodud tarkvarade andmebaasi. Nendeks andmeteks on reeglina olemasolev paigaldusjuhend, mastide nimekiri, andmed uuendatud kliimakoormustest mis kehtivad antud ülekandeliini asukoha kohta, olemasolev PLSCADD model, helikopteriga lendamisel inspeksiooni käigus saadud laserandmed ülekandeliinist ja maastikust ning pildid, rikete statistika ja andmed välgu esinemise sagedusest. Selles etapis taodeldakse ka ehitusluba. Suhteliselt tähtis on ka ülekandevõrgu käidujuhilt andmete kodumine, sest tema valdab ajakohast informatsiooni ülekandeliinil tehtud modifikatsioonidest.

Teine projekteerimisetaap koosneb esmasest modelleerimisest, kus vaadeldakse olemasolevaid isolaatorkettide pikkuste lahendusi ning kuidas nende isolatsiooni suurendamine on võimalik 300 kV mastides. Siinkohal peetakse silmas uuendatud 420 kV isolatsiooniga isolaatorketi omadusi

(kõikumist, pikkust jms) ning määratakse kindlaks keskfaasis lubamatute õhkvaheemikega esinevaid maste. Selles projekteerimisetapis leitakse üldine lahendus kõikidele mastidele.

Kolmas projekteerimisetapp hõlmab kõikide lahenduste kaalumist ja lõpliku lahenduse koostamist. See tähendab, et kõik isolaatorkettide joonised uuendatakse lõplikult ning vajalik armatuur on tellimiseks valmis. Memo kõigist võimalikest eeldustest kõrgepingeliini dimensioneerimiseks on koostatud koos põhjendustega. Paigaldusjuhendi esialgne versioon potentsiaalsetele töövõtjatele pakkumuse koostamiseks valmistatakse samuti selles etapis ette.

Neljas projekteerimisetapp koosneb vajaliku armatuuri tellimisest ning vajalike töömeetmete kirjeldamisest iga masti jaoks eraldi.

Viies projekteerimisetapp koosneb võimalike modifikatsioonide sisseviimisest paigaldusjuhendisse, mis saadakse töövõtjalt saadud tagasiside põhjal. Viimased muutused paigaldusjuhendis pannakse kokku ning kontrollitakse projekteerija poolt üle. Selle järgi uuendatakse ehitusversioon paigaldusjuhendist sõltuvalt võimalikest muutustest ehitusplatsil.

Kuues projekteerimisetapp koosneb lõpliku dokumentatsiooni koostamisest lähtudes kõigist ehitusmeetmetest, mis on rakendatud ehitusplatsil. Koostatakse vajalikud aruanded, mis iseloomustavad liini ehitust ning selle eripära. Töövõtja poolt koostatakse iga masti kohta dokumentatsioon.

1.2 Kandemastide nõuded

Selleks, et kasutada 420 kV olemasoleval 300 kV ülekandeliinil, on vaja jälgida spetsiifilisi nõudeid, mis kehtivad 300 kV mastide puhul. Nende nõuete defineerimiseks on Norras läbi viidud rida katseid olemasolevate mastide näitel. Testide läbiviimine oli vajalik selleks et määrata lubatud õhkvaheemikud 420 kV-le üleminekul. Selleks uuriti ulelöögi teket erinevate isolaatorkettide tüüpide puhul olemasolevatel 300 kV mastidel kolme erineva tuulekoormuse puhul. Testide tulemused on toodud allpool ning näitavad minimaalseid vahelisi vahemikke erinevate isolaatorkettide puhul. Joonisel 1.3 on toodud näide pööratud mastil testimisest ning joonisel 1.4 kallutatud positsioonil testimisest [2].



Joonis 1.3 Testi läbiviimine pööratud mastil



Joonis 1.4 Testi läbiviimine kallutatud mastil

Tabelis 1.1 on välja toodud testide tulemusel saadud õhkvaheemikute suurused mida reeglina järgitakse projekteerimisprotsessi jooksul. Kliimakoormuste juhused on toodud välja rahuliku oleku, 3-aastase ja 50-aastase tuule kujul. Rahuliku oleku juhused tähendab et mingit tuult sel juhul ei esine, ning kõrval on toodud õhkvaheemiku suurim lubatud väärtus mida ei tohi ületada. 3 - aastane tuul on tugevaim tuul mis tavaliselt esineb korra antud piirkonnas 3-aastase perioodi jooksul. 50 - aastane tuul on tugevaim tuul mis tavaliselt esineb korra antud piirkonnas 50-aastase perioodi jooksul. Tabelis olevate vahemike juures on ka toodud kehtivad ülelöögi pikkused milledest tuleb lähtuda nende koormusjuhuste simuleerimisel. Sama reegel kehtib mõlema juhuse kohta. Ülelöögi tõenäosuse määra all on toodud õhkvaheemikute pikkused mida kasutatakse mõnedes mastides kus rahuldava tulemuse saamine on raskendatud selle konstruktsiooni tõttu, tingimusel et nende mastide arv ei ületa teatud arvu terve liini kohta.

Tabel 1.1 Õhkvaheemikud erinevate isolaatorkettide puhul

Tuulekoormuse juhtum	Faasiliini asukoht mastil	Isolaatorkети tüüp		Üks väljauhtlustusrõngas isolaatorketil		
				Ülelöögi pikkus	Ülelöögi tõenäosus 50%	Ülelöögitõenäosus 10%
Rahulik olek	Keskmise faas ilma vibratsiooni silmuseta/Õhkvaheemik faasiliinist	H-21/H-16	16 isolaatorit	2,55 m	2,32 m	2,39 m
			17 isolaatorit	2,72 m	2,48 m	2,55 m
			18 isolaatorit	2,89 m	2,63 m	2,71 m
		2H-21/2H-16	2x17 isolaatorit	2,73 m	2,48 m	2,56 m
			2x18 isolaatorit	2,9 m	2,64 m	2,72 m
			2x19 isolaatorit	3,07 m	2,79 m	2,88 m
		H-30	15 isolaatorit	2,86 m	2,6 m	2,68 m
			16 isolaatorit	3,06 m	2,78 m	2,87 m
			17 isolaatorit	3,26 m	2,97 m	3,06 m
	Keskmise faas ilma vibratsiooni silmuseta/Õhkvaheemik faasiliinist	H-21/H-16	16 isolaatorit	2,55 m	2,04 m	2,1 m
			17 isolaatorit	2,72 m	2,18 m	2,25 m
			18 isolaatorit	2,89 m	2,32 m	2,39 m
		2H-21/2H-16	2x17 isolaatorit	2,73 m	2,19 m	2,26 m
			2x18 isolaatorit	2,90 m	2,33 m	2,40 m
			2x19 isolaatorit	3,07 m	2,46 m	2,54 m
		H-30	15 isolaatorit	2,86 m	2,29 m	2,36 m
			16 isolaatorit	3,06 m	2,45 m	2,53 m
			17 isolaatorit	3,26 m	2,61 m	2,69 m
	Välimine faas	Kõik tüüpi isolaatorkettid	Kõik tüüpi isolaatorkettid			2,8 m
	Tuulekoormuse juhtum	Faasiliini asukoht mastil	Isolaatorkети tüüp		Üks koronarõngas isolaatorketil	
				Ülelöögi pikkus	10 ⁽⁻⁶⁾ Ülelöögi risk	10 ⁽⁻¹²⁾ Ülelöögi risk
3-aastane tuul	Kesmine/väline faas	Kõigi tüüpide isolaatorkettid			1,4 m	1,7 m
		Kõigi tüüpide isolaatorkettid			1,5 m	1,85 m
50-aastane tuul	Keskmise/Välimine faas	Kõigi tüüpide isolaatorkettid			1 m	1 m

On eelistatud, et tabelis olevad õhkvaheemikud on suuremad kui 10% ülelöögi tõenäosusega lahtris esitatud väärtused. Siiski, õhkvaheemikud mis on suuremad kui ülelöögi 50% tõenäosusega omad on aksepteeritavad. Ülekandeliinil 10%-se ülelöögi tõenäosusega esinevad õhkvaheemikud on õhkvaheemikud maandatud ja pingestatud osade vahel mastidel, millel teatud ülepinge väärtuse rakendamise puhul tekib ülelööki 10 % tõenäosusega. Sama põhimõtte kehtib ka 50 %-se ülelöögi

tõenäosusega olevatel õhkvahemikel. Saadud tulemused on pärit LPE (Line Performance Estimator) programmis koostatud arvutustest, need defineerivad mitu masti võivad olla üle 50% ja 10% ülelöögi tõenäosusega, sõltuvalt iga ülekandeliini eripärast.

Õhkvahemike nõuded võivad olla 8 cm väiksemad sellisel juhul, kui juhtmete on paigaldatud silmus vibratsiooni vähendamiseks. See kehtib rahuliku oleku puhul. Vahemikud aga peavad olema 22 cm suuremad nii 3 - kui ka 50 - aastase ajavahega esinevate suurimate tuulekiiruste puhul.

Projekteerimisel kasutatavate õhuvahemikute nõuded erinevate tüüpide isolaatorketide puhul on toodud allpool olevates tabelites. 50 –aastase tuule puhul kehtivad õhuvahemikud on väiksemad kui 3-aastase tuule puhul kuna 50-aastase tuule puhul liinile rakendatav tuule tugevuse mõju on suurem seega on õhuvahemiku kaugus maandatud masti osani on väiksem. Tabel 1.2 kehtib ühe väljäuhtlustusrõngaga keti puhul ja tabel 1.3 kahe väljäuhtlustusrõngaga keti puhul.

Tabel 1.2 Õhkvahemike nõuded ühe väljäuhtlustusrõnga korral

Tuulekoormuse juhtum	Faasiliini asukoht mastil	Isolaatorketi tüüp		Üks väljäuhtlustusrõngas isolaatorketil		
				Ülelöögi pikkus	Ülelöögi tõenäosus 50%	Ülelöögitõenäosus 10%
Rahulik olek	Keskmine faas	H-21/H-16	16 isolaatorit	2,55 m	2,32 m	2,39 m
			17 isolaatorit	2,52 m	2,48 m	2,55 m
			18 isolaatorit	2,79 m	2,63 m	2,71 m
		2H-21/2H-16	2x17 isolaatorit	2,73 m	2,48 m	2,56 m
			2x18 isolaatorit	2,90 m	2,64 m	2,72 m
			2x19 isolaatorit	3,07 m	2,79 m	2,88 m
		H-30	15 isolaatorit	2,86 m	2,6 m	2,68 m
			16 isolaatorit	3,06 m	2,78 m	2,87 m
			17 isolaatorit	3,26 m	2,97 m	3,06 m
	Välimine faas	Kõik tüüpi isolaatorketid	Kõik tüüpi isolaatorketid			2,80 m
Tuulekoormuse juhtum	Faasiliini asukoht mastil	Isolaatorketi tüüp		Lisa 22 cm, juhul kui on paigaldatud luup liini vibratsiooni vähendamiseks		
				Ülelöögi pikkus	10 ⁽⁻⁶⁾ Ülelöögi risk (vastavalt standardile)	10 ⁽⁻¹²⁾ ülelöögi risk
3-aastane tuul	Keskmine/Välimine faas	Kõigi tüüpide isolaatorketid			1,5 m	1,8 m
50-aastane tuul	Keskmine/Välimine faas	Kõigi tüüpide isolaatorketid			1 m	1 m

Tabel 1.3 Õhkvaheemike nõuded kahe väljähltlustrõnga korral

Tuulekoormuse juhtum	Faasiliini asukoht mastil	Isolaatorketi tüüp		Kahene väljähltlustrõngas isolaatorketil		
				Ülelöögi pikkus	50% Ülelöögi risk	10 % Ülelöögi risk
Rahulik olek	Keskmise faas	H-21/H-16	16 isolaatorit	2,56 m	2,28 m	2,36 m
			17 isolaatorit	2,73 m	2,44 m	2,51 m
			18 isolaatorit	2,9 m	2,59 m	2,67 m
		2H-21/2H-16	2x17 isolaatorit	2,84 m	2,53 m	2,61 m
			2x18 isolaatorit	3,01 m	2,69 m	2,77 m
			2x19 isolaatorit	3,18 m	2,84 m	2,92 m
		H-30	15 isolaatorit			
			16 isolaatorit			
			17 isolaatorit			
		Välimine faas	Kõik tüüpi isolaatorketid	Kõik tüüpi isolaatorketid		
Tuulekoormuse juhtum	Faasiliini asukoht mastil	Isolaatorketi tüüp		Lisa 22 cm, juhul kui isolaatorketi all on paigaldatud bretelle tüüpi summuti silmus		
				Ülelöögi pikkus	10 ⁽⁻⁶⁾ Ülelöögi risk (vastavalt standardile)	10 ⁽⁻¹²⁾ Ülelöögi risk
3-aastane tuul	Keskmise/Välimine faas	Kõigi tüüpide isolaatorketid			1,5 m	1,8 m
50-aastane tuul	Keskmise/Välimine faas	Kõigi tüüpide isolaatorketid			1 m	1 m

2 Isolatsiooni koordineerimine

Selles peatükis lotletakse simulatsioonide meetmeid mida kasutatakse õhkvahemike kontrollimiseks tarkvara abil. Samuti antakse ülevaade nõuetest keskmistele faasijuhtmetele eritüüpi mastidel. Põhjalikult kirjeldatakse sisendandmeid LPE tarkvaras kasutamiseks, selleks et arvutada erinevate ilmastikuolude mõju ülekandeliinile.

2.1 Simulatsioonide läbiviimine

Antud alapeatükis kirjeldatakse lühidalt, milliseid arvutusi teostatakse ja milliste ilmastikuparameetrite juures, et määrata kindlaks optimaalse isolaatorketi puhul kehtivat tehnilist lahendust.

Reeglina teostatakse kandemastidel kahte erinevat tüüpi simulatsiooni. Nendeks on:

1. Konstruktsiooni ja faasijuhtme vahemikute kontroll keskmisele faasijuhile;
2. Isolaatorketi kõikumise kontroll välimistes faasijuhtides.

Kauguse kontroll maandatud ja pingestatud osade vahel on vajalik mitte ainult masti osade ja faasijuhtide, vahel vaid ka faasijuhtide ja maa vahel, sest pinge suurendamine liinil põhjustab ka faasijuhtide temperatuuri tõusu, mille tõttu suureneb juhtme riipe.

Isolaatorkettide kõikumise kontrolli teostatakse välistes faasijuhtides ja masti konstruktsiooni vahemikute kontroll teostatakse kandemastide keskfaasis.

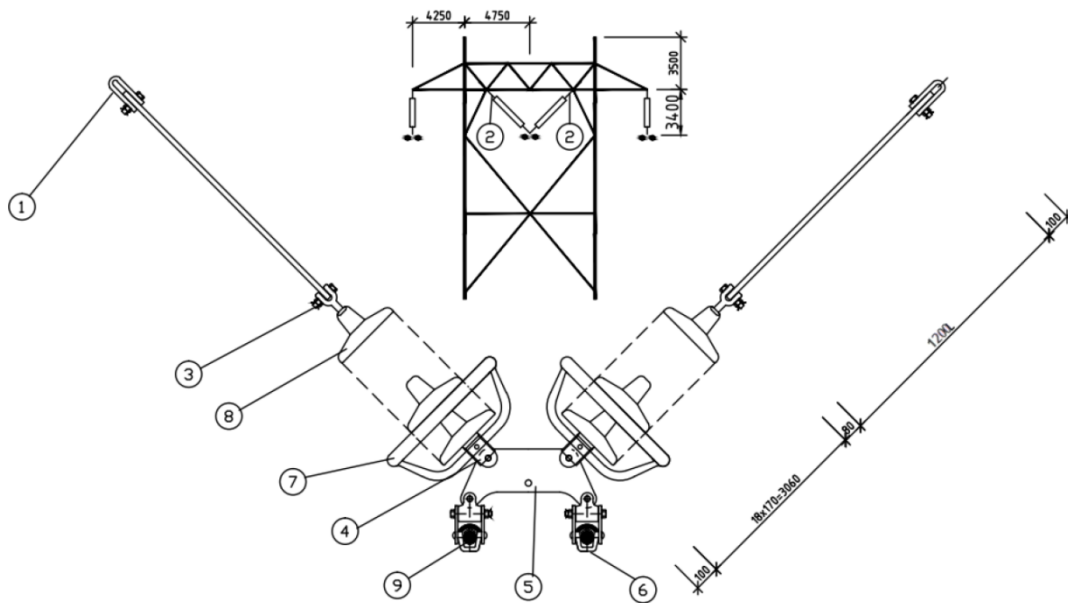
Masti konstruktsiooni ja faasiliini vahemikute kontroll on eelkõige vajalik selleks, et leida ja lahendada vahemikute problemaatilisi kohti mis ei vasta esitatud nõuetele. Kõikumise kontroll keskfaasis teostatakse järgmiste talitluste ja ilmastikuparameetrite puhul:

- Faasijuhtme maksimaalne temperatuur;
- Antud liinil suurim esinev jääkoormus (kg/m);
- 3-aastase ajaperioodi jooksul esinev tugevaim tuul (3-aastane tuul);
- 50-aastase ajaperioodi jooksul esinev tugevaim tuul (50-aastane tuul);

On tähtis panna tähele et koormuse parameetrid oleks õieti defineeritud nii maksimaalse temperatuuriesinemisel faasijuhtmel, kuid ka 3 –aastase tuule puhul ja ka 50 – aastase tuule puhul. Korrektsete tulemuste jaoks tuleb simulatsiooni läbi viia kahele erinevale juhtumile. Ühel puhul vaadeldakse ideaalset olukorda mastidel, kui kõik faasid on täielikult isoleeritud, teisel juhul aga uuritakse kriitilist isolatsiooni keskmises faasijuhtmes. Kriitilise isolatsiooni uurimine tähendab keskmises faasijuhtmes isolaatorketi modelleerimist sellisel juhul, kui ketis on üks isolaator vähem kui nõutud.

Järgnevalt on vaja veenduda, et maste, millel on keskmine faasijuhe kriitilises isolatsiooni piirkonnas, ei ületaks 25% kogu mastide arvust. Nende mastide arv võib ka muuta sõltuvalt LPE arvutustest. Tähtis on, et uuendatud liini talitlusvõime oleks parem või vähemalt võrdne olemasoleva 300 kV pingeastmega liini omaga. Selleks tuleb aga läheneda iga masti isolatsiooni koordineerimisele individuaalselt, mis tähendab iga masti modelleerimist LPE tarkvaras ja arvutuste tegemist. Pinge tõstmise projektides on tähtis võtta arvesse kõigi võimalike õhkvaemike marginaalid uuendataval ülekandeliinil. Selle keerukuse tõttu ongi välja töötatud eelpool nimetatud LPE tarkvara, sest seal on võimalik arvestada õhkvaemike arvutamisel paljude erinevate teguritega, nagu näiteks erinevad tuulekiirused jms. Samuti on võimalik tuua mudeleid ja andmeid üle tavaliselt kasutatavast PLSCAD tarkvarast. [3]

300 kV liinide puhul on olemas juhtumeid, kui olemasolevatel mastidel asetsevad vana tüüpi (2H ja H) isolaatorketid ei täida vajalikke isolatsiooni kriteeriumeid. Sellisel juhul võib võtta kasutusele V-tüüpi isolaatorketi, mida on näidatud joonisel 2.1.



Joonis 2.1 Tüüpiline 420 kV V tüüpi isolaatorkett paigaldatuna kitsas 300 kV masti keskmises faasijuhtme aknas

Ideaalses olukorras peavad õhkvaemike kriteeriumid olema täidetud igas mastis kõigi nelja talitlusolukorra puhul (faasijuhtme maks.temperatuur, maksimaalne jääkoormus, 3-aastase ajavahega esinev tugevaim tuul, 50 – aastase ajavahega esinev tugevaim tuul).

Õkvahemikud ankrumastides

PLSCADD tarkvaras pole võimalik modelleerida tugiisolaatoreid ja traaversi all rippuvaid loogasid korrektselt. Selleks, et teostada konstruktsiooni siseste õkvahemike kontrolli ankrumastides, on välja töötatud omaette meetod.

Järgmised nõuded esitatakse õkvahemikele ankrumastides:

- 3 - aastase tuule korral: 1,5 meetrit faasiljuhtide vahel ja maandatud osade vahel, olgu selleks kas masti tõmmitsad või masti konstruktsiooni osad;
- 50 – aastase tuule korral: 1,0 meetrit pingestatud faasijuhtme ja maandatud osade vahel.

Isolaatorketi liikumatu olukorra korral (rahulik seisund):

- Väline faas: 2,8 meetrit faasijuhtide ja maandatud osade vahel;
- Keskmises faasijuhis:
 - Lühim vahemaa faasijuhi ja traaversi vahel sõltuvalt olukorrast 2,4...2,6 m; Lühim vahemaa faasijuhi ja tõmmitsa vahel peab olema vähemalt 5 cm pikem võrreldes vahemaaga faasijuhi ja traaversi vahel (selleks et vältida tõmmitsa kui nõrgema konstruktsiooni komponendi katkemist maauhenduse korral)

2.2 Nõuded keskmistele faasijuhtidele

Käesolevas alapeatükis kirjeldatakse meetmed, mida kasutatakse keskmiste faasijuhtide isolaatorkettide uuendamisel erinevate konstruktsioonidega mastides. Sellisel juhul on oluliseks teguriks masti traaversi pikkus ja jääst/lumest/jäitest tingitud koormust isolatsioonile. Nendest teguritest sõltub paigaldatava keti pikkus. Täpsemad andmed selle kohta on toodud allolevas tabelis 2.1.

Tuleb silmas pidada ka seda, et V-tüüpi tugiisolaatorkettide tüübid võivad erineda igal mastil. Projekteerimisel tuleb veenduda, et ka traaversi ühenduskohad on varem paigaldatud vastavalt joonistele ja nõuetele. Traavers võib mastiti erineda, sest mastidel kasutatakse nii ühest kui ka kahest UNP terasprofiili. Allpool oleval joonisel 2.2 on näidatud erinevate mastide traaverseid ühese ja kahese UNP profiiliga.

Tabel 2.1 V-tüüpi tugikettide tehnilised lahendused erinevat tüüpi ankrumastide korral

Traavers *	Jääkoormus	Isolaatorketi pikkus	Tõmmitsa kõrgus ≤ 15 m	Tõmmitsa kõrgus > 15 m
18 m (9,5 m masti jalgade vahel)	Normaal koormus ≤ 10 kg/m	3360 mm	Ketipikendust ei teostata (5,1 m faaside ühenduskohtade vahel traaversil)	Isolaatorketi 150mm pikendus (5,1 m faaside ühenduskohtade vahel traaversil)
20 m (10 m masti jalgade vahel)	Normaal koormus ≤ 10 kg/m	3360 mm	280mm Isolaatorketi pikendus (5,1 m faaside ühenduskohtade vahel traaversil)	Isolaatorketi 420 mm pikendus (5,1 m faaside ühenduskohtade vahel traaversil)
20 m (10 m masti jalgade vahel)	Suur koormus > 10 kg/m	3650 mm	Ketipikendust ei teostata (4,9 m faaside ühenduskohtade vahel traaversil)	Ketipikendust ei teostata (4,9 m faaside ühenduskohtade vahel traaversil)

*Juhul kui traavers on laiem kui 20 m, tuleb projekteerida omaette pikendus isolaatorketile. Selle pikkus sõltub sellest, kuidas ühenduskohad on paigaldatud traaversil.



Joonis 2.2 Traaversi terasprofiilid. Kahene profiil 20 meetrisel traaversil (vasakul) ja ühene profiil 18 meetrise traaversil (paremal).

Liini pinge suurendamisega 300 kV-lt 420 kV-le kaasneb isolatsiooni koordineerimine suuremale pingele vastavaks olemasolevatel isolaatorkettidel. Isolatsiooni koordineerimine sõltub suurel määral isolaatorketti tüübist, kuid tavaliselt piisab 2-4 klaasisolaatorist, et rahuldada vajaliku isolatsiooni vahemikku. Tabel 2.2 allpool näitab vajalike isolaatorite arvu, mida tuleb kasutada kandemastidel 420 kV-se pinge juures. Kriitilise isolatsiooni piiril on lubatud isolaatorketti kasutada ainult keskmisel faasijuhil.

Tabel 2.2 Vajalik isolaatorite arv kandemastidel 420 kV pinge juures isolatsiooni nõude tätmiseks

					Jääkoormuse korral	
Isolaatorketti tüüp	Isolaatori tüüp	Tugevus (kN)	Kriitiline isolatsioon	Normaalisolatsioon	Üle 10kg/m	Üle 20 kg/m
V16	U160BL	160	x	2x18	2x1	2x2
V21	U210B	210	x	2x18	2x1	2x2
V30	U300B	300	x	2x17	2x1	2x2
2V21	U210B	420	x	4x18	4x1	4x2
2V30	U300B	600	x	4x17	4x1	4x2
H16	U160BL	160	16	17	1	2
H21	U210B	210	16	17	1	2
H30	U300B	300	15	16	1	2
2H16	U160BL	320	2x17	2x18	2x1	2x2
2H21	U210B	420	2x17	2x18	2x1	2x2

2.3 Kõrgepingeliini isolaatorketti dimensioneerimine

Kõrgepingeliini pingeastme muutmiseega kaasneb ka liini talitlusvõime muutus, mille arvestamiseks tuleb uuendatavat liini modelleerida LPE tarkvaras. Selleks et saada võimalikult täpseid rikemäärade tulemusi nii terve liini kui ka iga individuaalse masti kohta, tuleb kasutada võimalikult täpseid andmeid nii ülekandeliini enda kui ka esinevate ilmastikuoludekohta antud piirkonas. Pinge muutmisel on oluline kasutada kõiki võimalikke õhkvaheemike marginaale lähtudes välja töötatud juhenditest. Selleks on arendatud LPE tarkvara, et arvestada üksikasjalikke andmeid erinevates ilmastiku tingimustes (äike, saaste ja jäide) mis on saadaval iga erineva liini kohta PLS-CADD tarkvara mudelites. Tõenäosuslikku äikese mõju kõrgepingeliinile arvutatakse lähtudes iga mastist eraldi, arvestades iga masti ja sellel paigaldatud faasijuhtide asukohti. Lisaks vaadeldakse PLS-CADD mudelist saadaval olevaid liini õhkvaheemike andmeid sellises olukorras, kus puuduvad liinile mõjuvad ilmastikutingimused nagu tuule poolt põhjustatud koormus. Kombineerides eelnimetatud informatsiooni ja andmed äikese tiheduse kohta terves riigis, õhkvaheemike faktoreid ja mastide

vundamentide elektrilist takistust on võimalik arvutada tagasivoolu löökide suurust iga üksiku masti kohta. [4] Tulemused on kokku võetud ja väljendatud iga aastaste väljalöökidena 100 km liini kohta. Samuti arvutatakse individuaalselt iga masti isolaatorkettide saastatuse ja jäätumise taset. Õigete referentstulemuste saamiseks kombineeritakse saaste ja jää raskusastmete statistilised andmed läbi viidud katsete tulemustega, et määrata kindlaks aastas esinevate rikete tõenäosust, mis viivad ülekandeliini väljalülituseni. Tulemusi väljendatakse igaaastaste väljalülituste näol 100 km kohta aruandena. Algandmeid kogutakse PLS-CADD mudelist 3-aastase ajavahega esinev tugevaim tuul. Nagu eelnevalt mainitud arvutatakse liimatingimustest olenevaid liini parameetreid spetsiaalselt välja töötatud programmi abil. Selle programmi väljundid imporditakse LPE tarkvarasse ja seda kasutatakse ankrumastide parameetrite arvutamiseks erinevate talitusolukordade puhul.

2.4 Vajalikud sisendandmed LPE tarkvaras

Käesolevas alapeatükis kirjeldatakse sisendandmeid, mida kasutatakse arvutuste läbiviimisel LPE tarkvaras. Kõik sisendandmed, mis kirjeldavad antud ülekandeliini ja selle erinevaid lõikusid, lähtuvalt maastiku eripärast salvestatakse eelnevalt projekti andmebaasis [5].

Mastitüüpide konfiguratsioonid

Mastitüüpide konfiguratsioonide andmebaas sisaldab tavaliselt andmeid, mida on võimalik muuta iga masti juures vastavalt vajadusele. See võimaldab põhitarkvaral arvutada lülitus- ja välguimpulsi tugevust õhkvahekihel, mis asuvad faasijuhtide ja masti vahel. Masti konfiguratsiooni andmebaasi kasutatakse ainult juhul kui on vaja defineerida geomeetriat, selleks et võimalikult täpselt arvutada lülitusülepingete määra antud mastidel.

Isolaatorid

Isolaatorite andmebaas sisaldab isolaatorite füüsilisi andmeid, st isolaatoritüüpi, armatuuri pikkust (m), isolatsiooni pikkust (m), ülelöögi pikkust (mm) ja isolaatorist tehtud pilti.

Saastetesti andmebaas

Sisaldab iga isolaatori tüübi saaste taset, mille puhul võib tekkida ülelök. Andmebaas sisaldab eelnevalt laboratoorsete katsetega määratud ülelöövide omadusi.

Jäite andmebaas

Koosneb isolaatoritüüpide jäitetaseme väärtustest, mille puhul tekib ülelök. Salvestatakse jäitetesti andmebaasi. Jäite mõju sisendandmeid kirjeldatakse sarnaselt saaste omadega.

LPE kasutamine PLS-CAD režiimis

LPE tarkvara saab käivitada tavarežiimis või PLS-CADD režiimis. See tähendab, et PLS-CADD tarkvarast saab eksportida faile LPE tarkvarasse konkreetse kõrgepingeliini arvutamiseks. PLS-CADD sisaldab informatsiooni nii mastide, kui ka faasi- ja ka kaitsejuhtide kohta ning võtab arvesse ka mastide geomeetriat koos minimaalsete vahemikega pingestatud osade ja maandatud osade vahel. Seda kõike, et arvutada maaühenduse ohu marginaali, mis võib esineda erinevatel ilmastiku tingimuste puhul nagu tuule, saaste, jäite, äikese ja lülitusülepingete korral.

PLSCADD tarkvarast LPE tarkvarasse ülekantavad failid

- "Temp" .xml " – Õhkvahekihi kaugusi defineeriv aruande fail äikese mõju arvutamiseks. See aga ei sisalda tuule poolt põhjustatud koormust ja maksimaalset juhi temperatuuri, mida kasutatakse pikselöögi mõju arvutamise juures.
- "Structure.xml" – ülekandeliini masti konstruktsiooni aruande fail.
- "3aastane tuul" .xml ": Õhkvahekihi kaugusi defineeriv aruande fail 3-aastase tuule korral. Seda kasutatakse ülekandeliini võime arvutamiseks lülituste ülepinge korral.
- "50-aastase tuul" - Õhkvahekihi vahemaid defineeriv aruande fail 50-aastase tuule korral, mida kasutatakse ülepinge üleöögi määra (PFFO) arvutamiseks.

Üldised andmed sisestamiseks LPE projekti andmebaasis.

- Maksimaalne süsteemi pinge - sisestatakse kõigepealt faasivahelise talitluspinge U_m väärtus kVs, mis kehtib normaaltalitluse tingimustes igal ajal ja mistahes süsteemi punktis. Alalisvooluliinide jaoks sisestatakse talitluspinge U_m suurim väärtus kV iga pooluse kohta. Positiivse ja negatiivse pooluse pingeväärtused eeldatakse võrdseks.
- Saaste tase - tuleb valida laboratoorne katsemeetod, mis kõige paremini esindab kõrgepingeliini saastekeskonda praktiliselt.
- Tahke kiht - riigi sisepiirkondade või tööstuspiirkondade puhul, kus saastekiht sisaldab märkimisväärses koguses inertseid materjale.
- Kuivsoola kiht – esineb ranniku ja siseveekogudel, mis puutuvad kokku soolatormidega. Kuivsoola kihis on inertsed materjale kas vähe või üldse mitte.
- Saastejuhtumite arv – arv, mis viib maaühenduseni ning omakorda liini väljalülituseni. Saastejuhtumite arv on arv aastas, kui isolaatoril on märkimisväärne üleöögi tõenäosus.
- Jäite tase - valitakse vastavalt esindatud jää poolt põhjustatud koormusele kõrgepingeliini sektsioonil.

- Jäite esinemiskordade arv aastas - kõrgepinge liini võimalike jäätumiste arv, iseloomustab jäätumiste arvu aastas, mis on loomulik antud ülekandeliini puhul, mil isolaatorketil esineb märkimisväärne ülelöögi tõenäosus.
- Ülekandeliini lõigu konfiguratsioon - Ülekandeliini lõigu pikkus (km), mille parameetreid on täpsustatud. Kogupikkus on sektsioonide pikkuste summa.
- Ülekandeliini lõigu kõrgus - keskmine kõrgus meetrites üle merepinna. Seda konstanti kasutatakse isolatsiooni dielektrilise tugevuse määramiseks väiksema õhutiheduse juures suurel kõrgusel meretasapinnast. Korrigeeritakse saastunud või jäätunud isolaatorite isolatsiooniomadusi, samuti liini taluvust lülituse ja välgu ülepingele.
- Masti tüüp - selles osas kasutatava masti tüüp valitakse masti konfiguratsioonibaasist saadaval olevatest tüüpidest.
- Nominaalne isolaatori pikkus. Näitab valitud masti tüüpi nominaalset isolaatori pikkust, nagu see on salvestatud masti konfiguratsiooni andmebaasis.
- Pöördenuk - isolaatori pöördenuk erinevate tuulekoormuste tingimustes, mida tuleks arvestada selle sektsiooni talitlusvõime arvutamisel.
- Mastide arv - selle mooduli all tuleb valida olemasolevate mastide arv. Seda saab määrata eeldusel, et ülekandevõrgu liinidel on 3-4 masti kilomeetri kohta ja madalama süsteempinge puhul (132 kV) on 4-5 masti kilomeetri kohta.
- Masti jalgade takistus - takistus arvestatud koos mulla või kalju takistusega määrab masti impulsstakistuse, mida kasutatakse tagasivoolu suuruse arvutamiseks. Masti jalgade takistus võib olla esitatud fikseeritud suurusena või suurusena mis on arvutatud/mõõdetud iga masti kohta. Fikseeritud väärtust kasutatakse juhul, kui on võimalik kasutada ainult eeldatavat või prognoositava masti takistuse väärtust, nt uue kõrgepingeliini planeerimisel. Mõõdetud suurust kasutatakse siis, kui olemasoleval kõrgepingeliinil on masti jälgede takistuse mõõtmised kättesaadavad. Arvutatud tagasivoolu väärtuse täpsus on muidugi suurem, kui kasutatakse mõõdetud väärtusi.
- Kasutatavate liinide läbimõõt - juhtmete välisläbimõõt faasiliinidel. Diameeter on antud millimeetrites.
- Juhtmete arv faasiliini kohta - tuleb valida juhtmete arvu faasi kohta:
 - Ühene: üks juht ühe faasi või pooluse kohta;
 - Kahene: kaks juhti iga faasi või pooluse kohta;
 - Kolmene: kolm juhti iga faasi või pooluse kohta;

- Neljane: neli juhti iga faasi või pooli kohta.

Ühe faasi all olevate juhtmete puhul eeldatakse tavaliselt kõigi juhtmete vahekaugust 0,45.

- Isolaatori tüüp - iga liini sektsiooni jaoks mõeldud isolaatori tüüp valitakse välja isolaatorite andmebaasist, mille jaoks on saadaval andmed ülelöögi talumisvõime kohta. Andmebaas sisaldab ka pilti valitud isolaatorist. Andmed on saadaval iga valitava isolaatori kohta, sealhulgas: aksiaalne pikkus, ülelöögi pikkus, lekkeraja pikkus ja saasteastmele sobiv iga üksiku isolaatori vastav isolaatsiooni tase.
- Saastetase - ülekandeliini saasteastet määratakse keskmise ekvivalentse soola sadestumise tiheduse mõõtmise abil (ESDD – *Equivalent Salt Deposit Density*) mg / cm² kohta. Selle suurus on täpsustatud ESDD väärtus, mis on 2% suurem võrreldes perioodist millal see oli mõõdetud.
- NSDD (mittelahustavate sadestiste sadestumistihedus) / ESDD (ekvivalentse soola sadestumise tiheduse) suhe. Kehtib ainult sadestuse tahke kihi katse tüübi kohta. Isolaatori ülelöögi andmeid saab korrigeerida vastavalt mittelahustavate ainete suhtes nii nimetatud isolaatori pinnasel esinevate mittelahustavate sadestiste sadestustiheduse abil (NSDD – *Non Soluble Surface deposits on insulators*), seda saab rakendada valides NSDD / ESDD suhet. Kui see on valitud, siis tegelik NSDD tase erineb automaatselt ESDD tasemest vastavalt sisestatud suhtele, mis on tavaliselt vahemikus 1 kuni 10. Isolaatorile rakendatavat ülelöögi võimet korrigeeritakse vastavalt tegelikule NSDD tasemele kasutades järgmist valemit:

$$FO_{NSDD} = FO_{lab} * \left(\frac{NSDD}{NSDD_{lab}} \right)^{-0.09} \quad (2.1)$$

FO_{NSDD} on korrigeeritud ülelöögingipinge, FO_{lab} on ülelöögingipinge, mis on saadud tahke kihi testi tulemusena laboratooriumis. $NSDD_{lab}$ on NSDD tase, mida kasutati tahke kihi testi läbiviimisel laboratooriumis ja NSDD on tegelik NSDD tase. NSDD tase mida kasutati tahke kihi testis (tavaliselt 0,1 mg / cm²) pärineb esialgselt saastatuse testimise andmebaasist.

- Jää juhtivus. Ülekandeliini lõigu jääastme tase määratakse sulatatud vee juhtivuse mõõtmisel tingitud jää sulamisest (uS / cm). Täpsustatud väärtus on juhtivusväärtus, mis ületatakse 2% väärtusest mis oli mõõdetud teatud perioodi jooksul.
- Välgulöökide tihedus. Välgulöökide tihedus on määratletud kui keskmine välgulöökide arv / km²/aastas, mis võivad esineda mööda antud ülekandeliini lõiku. Tarkvaras esitatud kaart on integreeritud ning annab ülevaate statistilisest välkude arvust km²/aastas.

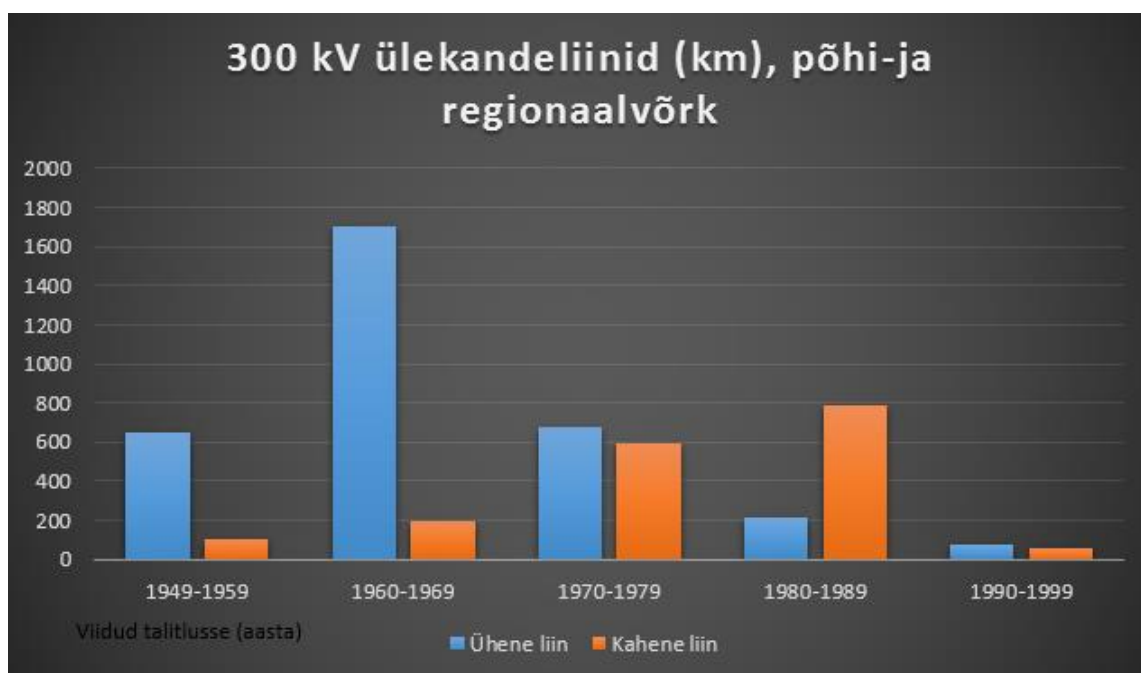
- Pinnase eritakistus. Keskmise eritakistuse määramiseks vaadeldavat kõrgepingeliini lõigu on täpsustatud ohmmeetrites. Pinnase eritakistust kasutatakse koos mastide vundamentide takistusega, et määrata impulsstakistust mida kasutatakse tagastusülelöögi väärtuse arvutamisel.

3 Tehnilis-majanduslik hinnang

Olemasoleva õhuliini pingeastme uuendamine peab olema investeerimisotsus, mis on vastu võetud erinevate alternatiivide võrdlemisel. Selle tõttu teostatakse järgmises osas tehnilis-majanduslik hinnang võimalikest alternatiividest ülekandevõrgu läbilaskevõime parandamiseks. Võrreldakse uue liini ehitamist ja olemasoleva liini pingeastme muutmist, täpsemalt nende alternatiivide maksumust ja tehnilist lahendust ning selle keerukust. Esitatakse võrguettevõtja plaanipärased investeeringud lähitulevikus, ning arutatakse mõlema alternatiivi nii puuduste kui ka eeliste üle. Peatüki lõpus annab autor omapoolse hinnangu valitud alternatiivi kasuks ja toob välja ka põhjuseid mis mõjutasid seda valikut.

3.1 Ülekandevõrgu areng viimase seitsmekümne aasta jooksul

Enamus liinidest tänapäeva Norra ülekandevõrgus on ehitatud 60-ndatel, 70-ndatel ja 80ndatel aastatel. Tol ajal olid need ülekandeliinid, mis edastasid elektrienergiat peamistest hüdroelektrijaamadest asustatud aladesse ja täitsid ka tähtsa ühenduspunktide rolli regioonide vahel. Joonis 3.1 iseloomustab põhivõrgu ülekandeliinide tüüpe ja nende vanust. [6]



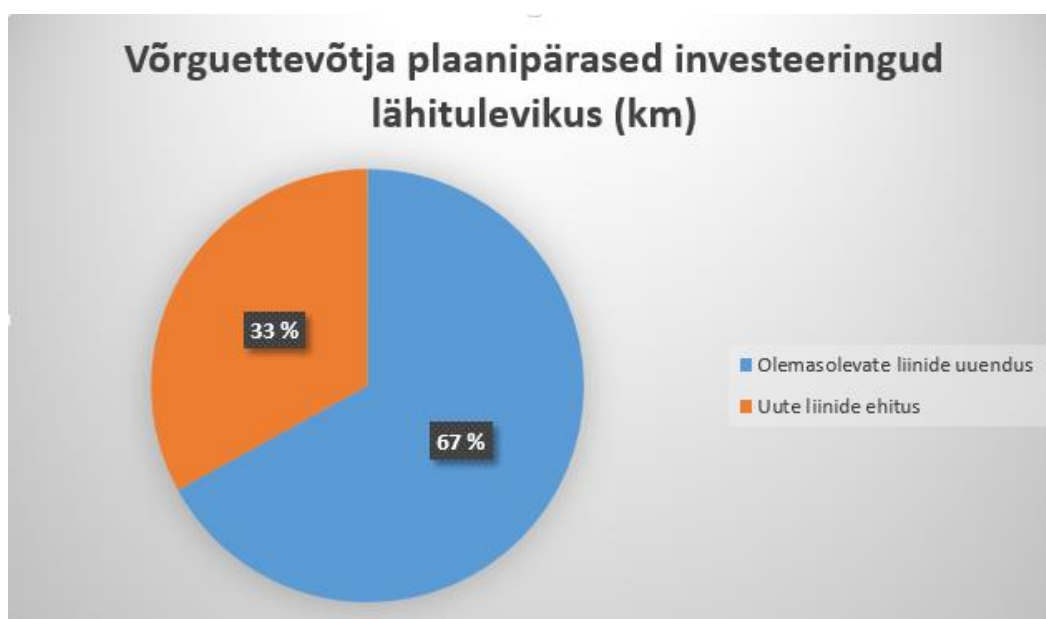
Joonis 3.1 Norra põhivõrgu ülekandeliinide vanus tänapäeval

Viieteistkümne aasta jooksul alates 1990. aastate algusest on kogetud märkimisväärne tarbimise suurenemine ilma täiendavate investeeringuteta võrguettevõtja poolt. Alles pärast rakendas võrguettevõtja meetmeid (põhimeetoditeks alajaama transformaatorite ja muude elektriseadmete väljavahetamine), et ülekandevõimsust suurendada. Nende lisameetmete potentsiaal on ära kasutatud, sest on lõppemas paljude liinide ja alajaamade tehniline eluiga. Järgnevatel aastatel on

vaja teostada investeeringuid, et rahuldada nii ühiskondlikud vajadused kui ka vajalik varustuskindlus.

3.2 Pinge tõstmine – kerge viis liini trassi taaskasutamiseks

Varustuskindluse parandamisel on suhteliselt asjakohane kasutada olemasolevaid ülekandeliinide trasse nii palju kui võimalik, enne kui plaanitakse hõivata selleks uusi trasse ja uusi piirkondasid. Seetõttu pinge tõstmine 300 kV-lt 420 kV-le on väga oluline olemasolevatel 300 kV mastidel ning selle realiseerimine litähtis kui järgmise põlvkonna plaan, mis on osa võrguettevõtja tuleviku strateegiast. Järgnevatel aastatel moodustab pinge tõstmine ca. 2/3 investeeringutest võrgu parandamiseks (Joonis 3.2).



Joonis 3.2 Investeeringumissuunad. Olemasolevate ülekandeliinide pingetõstmise vs uute liinide ehituse suhe.

Pingetõstmise hõlmab laia valiku tehnilisi lahendusi, alates olemasolevate dupleks faasiliinide isolatsioonidimensioneerimisest uuele 420 kV standardile või simpleksliinide ümberehitusele, mis hõlmab vanade faasijuhtide asendamist uute dupleks – juhtidega 420 kV pinges juures. See nõuab lisaks uusi 420 kV lahendusi alajaama poole peal. Tavaliselt võimaldatakse ülekandevõrgu pinget uuendamisel olemasolevatel süsteemidel üle kanda suuremat võimsust. Liini pingestatu muutus 300 kV-lt 420 kV-le võimaldab suurendada liini läbilaskevõimsust ligikaudu 40%. Olemasolevatel dupleksliinidel tähendab see aga 40-80% läbilaskevõimsuse suurendamist. Üleminek liini simpleks konfiguratsioonist 300 kV puhul 420 kV dupleks konfiguratsioonile võimaldab üle kanda kaks korda suuremat võimsust juhul kui olemasolev liin asendatakse kas tavalise dupleksfaasiliinidega või dupleks kõrgetemperatuuriliinidega. Olemasoleva ülekandeliini pinget uuendamine on parim

investeeringu lahendus enamasti 30 - 40 aastases perspektiivis. Seda kinnitab varem läbi viidud töökindluse analüüs mehhaaniliste ja elektriliste testide kujul mis aitab välja selgitada talitluses olevatel juhtmetel ja armatuuril järelejäänud talitluseaja.

3.3 Ehitusviiside puudused ja eelised

Uute ülekandeliinide ehitamine uutes trassides toob kaasa minimaalset kahju võrgusüsteemi varustuskindlustusele. Uute liinide ehitus võib toimuda ilma et nendel toimuvate ehituse tegevused võiksid põhjustada plaanilisi väljalülitusi olemasolevas võrgus. Samas aga uue trassi ehitamine on väljakutse mitmel põhjusel, kuna sellega kaasneb uute maapiirkondade hõivamine mis võib olla vastuolus kohalike maaomanike huvidega.

Keskkonna seisukohast on pinge tõstmine väga hea lahendus, võrgu võimsus suureneb, ilma et oleks vaja võtta kasutusele suuremat piirkonda. See aga muudab olemasoleva liini elementide uuendamise lihtsamaks, sest sellisel puhul muutub ehitusloa taotlusprotsess lihtsamaks võrreldes uue ülekandeliini ehituse korral. Kõik see tähendab, et pinge uuendamine on lahendus, mille elluviimine on kõige otsustavam vaadates nii ümbritseva keskkonna poolsest seisukohast kui ka hinnates, olemasolevate liinide eluiga milleks on estimateeritud 80 aastat. Teades, et vanemad liinid olid ehitatud 1960 aastate lõpus võime julgelt eeldada olemasolevatel liinidel kindla elektrivarustuse tagamist 30 – 40 aastases perspektiivis. Samas tuleb mainida et olemasolevate liinide uuendamisega kaasneb ümberehitus nõuab pikaajaseid väljaülitusi. Samas hea planeerimise korral võivad sellega kaasnevad kulud olla minimaalsed.

Pinge tõstmisel on ka rida miinuseid:

- Võib juhtuda et mõned vanad üksikud ülekandeliinid ei sobi ümberehituseks. Kuna liinil kasutatavate mastitüüpide tugevus võib pärast läbi viidud arvutusi osutada ebapiisavaks, et taluda uusi mehaanilisi koormuseid. Sel puhul tuleb vanad ülekandeliinid eemaldada ja asendada uutega.
- 300 kV dupleks tüüpi ülekandeliinid võib uuendada 420-kV standardile osaliselt kasutades töömeetmeid, mida teostatakse pinge all kandemastidel, kus seda on lubatud teostada lähtudes kehtivatest töömeetmete reeglitest. Ankrumastidel ja suurema liini saabumisnurgaga kandemastidel muutub aga teostatav töö liiga ohtlikuks ning selle puhul teostatakse töö väljalülitatud liinil.

Alajaama ehitiste ja komponentide uuendamine on aga samuti väljalülitusi nõutav protsess.

Pinge tõstmisega esineb ka teisi väljakutseid võrgusüsteemile. Kuna see toob kaasa suurema võimsuse ülekandmist, suuremat keerukust ja ka pikema ehitusprotsessi, mis nõuab kasvava koordineerimise nõudlust ja ka sõltuvust võimsuse edastamisel erinevate regioonide vahel.

3.4 Hinnang võimalikele ehitusalternatiividele

Reeglina on alati võrgusüsteemi stabiilsus ja projekti läbiviimine vastavalt hinnaootustele tehnilis-majandusliku analüüsi aluseks. Tänapäeval on selles analüüsis arvesse võetud süsteemi talitluskulud ehitusetapis ja ka hooldusperioodidel. Traditsiooniliselt ei ole ülekandevõrk dimensioneeritud selleks, et tagada varustuskindluse tagamist hooldusperioodil. Ka talitluskogemused erinevatel ülekandeliinidel näitavad, et isegi kui liini konfiguratsioon on edukalt dimensioneeritud võib ikkagi esineda märgatavaid nn pudelikaelu ülekandeliinil kas hooldusperioodidel või rike teke puhul. Teostades täiendavaid investeeringuid võrku, saab ülekandeliinide rikkeid märkimisväärselt vähendada. Samuti võib süsteemi releekaitse ulatust vähendada. Süsteemi releekaitse on hea ajutine meede, kui seda piiratud ulatuses kasutatakse. Kuid suuremahulise võimsuse ülekanne korral suureneb süsteemitegevuste keerukus ja see suurendab soovimatute rikete riski. Lisainvesteeringud aitavad seega suurendada võrgu töökindlust ja operatiivset paindlikkust, suurendades varustuskindlust. Pinge tõstmisel ei piisa traditsioonilise võimsuse ülekande vajaduse analüüsist, et hinnata, millised meetmed on selle juures vajalikud. Valides erinevaid alternatiive, tuleb põhjalikult uurida üksikasju, et saada selgeks, millised võimalused on üldse teostatavad ja millised on parimad. See kehtib järgmiste tingimuste kohta:

- Kas peab esmalt demonteerima olemasolevat võrku või kõigepealt ehitama uut ja demonteerima vana peale seda kui uus on ehitatud;
- Ehitusloa taotlemist ja ka ümbritseva keskkonda puudutavad võimalikud väljakutsed valitud trassil?
- Uuendusega kaasnevad meetmed olemasolevates 300 kV süsteemides. Näiteks olemasolevate liinitrasside ja alajaama pindalate taaskasutamine kõrgemale pingeniwoole üleminekul
- Keerukus ehitusetapis ja ehituseaeg
- Keerukus uue liini ehitusel talitluses olemasoleva kõrval (võimalik kõrge magnet- ja elektrivälja mõju uuel naaberliinil töötavatele inimestele)

3.5 Eeldatav kulude võrdlus uue liini ehituse ja olemasoleva liini pinge uuendamise vahel

Käesolevas analüüsis võrreldakse olemasoleva 300 kV ülekandeliini uuendamist uue 420 kV-se ehitusega. Võrdluseks on toodud välja arvatud keskmine kulu, mis hõlmab ainult armatuuri ja liini kulusid, kuid ka töövõtja kulusid iga projekti kohta. Arvesse ei lähe ilmastikuoludest tulenevad võimalikud lisakulud. Väljalülitustega seotud kulusid olemasoleval liinil samuti ei arvestata, sest need on võimalik viia miinimumi varajase ja korraliku planeerimise korral.

Kuna Norra maastik on kohati keeruline ning mastid paigaldatakse kohati kalju pinnasele võib sellega kaasnevaid kulusid mitmekordistada võrreldes sama masti paigaldusega tavalises maapinnases. Selleks, et uute mastide paigaldamine ei läheks liiga odavaks, arvestatakse et 30% paigaldatavatest mastidest asetatakse kaljuga kaetud pinnale.

Kõigepealt tuuakse välja kulud, mis keskmiselt oleks kasutatud uue liini ehitusel. Jaotatakse kulud järgmiselt: masti vundamentide ehitus, mastide paigaldus, millele lisatakse mastide hind, liinide paigaldus –millele lisatakse liinide ja tarvikute hind. [7]

Tabel 3.5 näitab kulusid mida läheb keskmiselt vaja uue 420 kV ülekandeliini ehituseks.

Tabel 3.5 Keskmised kulud uue 420 kV ülekandeliini ehitusel Norras

Kulu tüüp	Masti vundamentide ehitus, koos vundamendi ehituseks kuuluva materjaliga (€)	Mastide paigaldus koos mastide maksumusega (€)	Liinide ja tarvikute paigaldus koos liini ja tarvikute maksumusega (€)	Kulu 100 km liini ehituse peal kokku (€)
Kulu hind km kohta	282 860	12 150	273 540	
Kulu hind 100 km kohta	28 286 000	1 215 000	27 354 000	
Kulu 100 km liini ehituse peal kokku (€)	-	-		56 855 000

Edasi on toodud välja kulud, mida keskmiselt oleks investeeritud olemasoleva 100 km pikkuse ülekandeliini uuendamiseks 300 kV-lt 420 kV-le. Kulud jagatakse järgmiselt: kandemasti uuendus koos uute tarvikute oma hinna ja paigaldusega, ankrumasti uuendus koos uute tarvikute oma hinna ja paigaldusega.

Tabel 3.6 näitab kulusid mida läheb keskmiselt vaja 300 kV olemasoleva ülekandeliini uuendamiseks 300 kV-lt 420 kV-le.

Tabel 3.6 Keskmised kulud 300 kV ülekandeliini uuendamisel 420 kV-le Norras

Kulu tüüp	Kandemasti uuendus koos uute tarvikute oma hinna ja paigaldusega (€)	Ankrumasti uuendus koos uute tarvikute oma hinna ja paigaldusega (€)	Kulu 100 km liini uuenduse peal kokku (€)
Kulu hind km kohta	12 000	19 000	
Kulu hind 100 km kohta	1 200 000	1 900 000	
Kulu 100 km liini ehituse peal kokku (€)	-	-	3 100 000

Viidates tabelitele 3.5 ja 3.6 võrreldakse kulusid uue 420 kV ülekandeliini ehitamisel ja olemasoleva 300 kV ülekandeliini uuendamisel 420 kV-le.

On näha, et uue liini ehitus on peaaegu 20 korda kallim kui olemasoleva uuendamine. See on loogiline, sest töö maht uue liini ehituse juures on kordades suurem, ka materjali kogust ning selle maksumust ei anna võrrelda olemasoleva liini pinge uuendamisel.

On tähtis koostada korralik uuring lähima 40 – 50 aastase perspektiiviga tarbimise nõudluse analüüsimisel ja planeerimisel enne kui jõutakse otsusele, milline viis sobiks parem – kas olemasoleva liini uuendamine või uue liini ehitamine. Kuna sellest sõltub nii võrgu varustuskindluse stabiilsus, kuid ka võrguettevõtja investeeringute suurus maksumaksja kulude näol. On oluline võtta arvesse kogu projekti keerukust ning uute maapiirkondade hõivamise väljakutset eriti uue ülekandeliini ehituse planeerimisel.

Tuleb mainida, et kuna enamuse dupleks ülekandeliinidest on ehitatud 1970 - 1980 aastatel ning kogu prognoositud elueaks on hinnatud 80 aastat, siis on tähtis lähtuda võrgu tarbimise analüüsist järgmiste 30 aasta jooksul ning investeerida olemasoleva võrgu uuendamisele. Selle meetodiga saab taaskasutada olemasolevat infrastruktuuri ilma, et ümbritsev keskkond saaks kahjustada ning investeerida ehitusse kordades vähem kui see juhtuks uue liini ehitusel.

Ülekandevõrgu uuendamise viis on seega üldkokkuvõttes kõige ratsionaalsem viis kogu vajaliku tarbimisvõimsuse katmiseks lähimate aastate jooksul kuni olemasoleva liini eluiga võimaldab seda teha.

4 Isolaatorketi optimaalse pikkuse leidmine LPE tarkvara abil

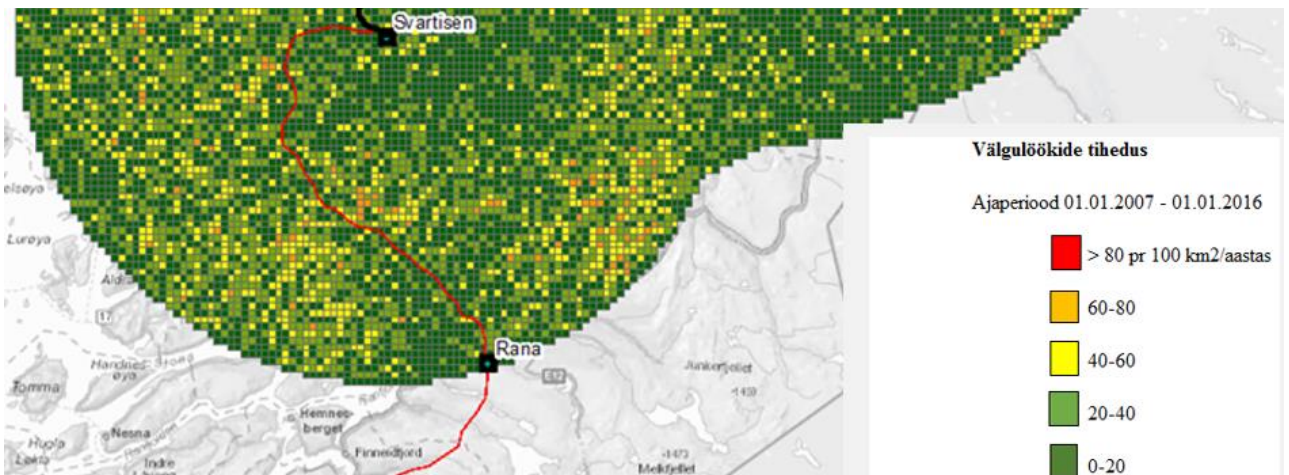
Käesoleva peatüki eesmärgiks on uurida ja tutvustada LPE (Line Performance Estimator) tarkvara kasulikkust, mida kasutatakse laialt kõrgepingeliini talitlusvõime arvutamiseks antud projektiprogrammis. Kontrollida kui palju ja kas üldse isolaatorketi pikemaks dimensioneerimine saab parandada antud terve kõrgepingeliini talitlust. Samas tuua välja näide antud arvutuse põhjal lähtudes elektrikatkestuste statistikast kuivõrd palju muutub kõrgepingeliini talitluse võime iga erineva rikke tüübi (saaste, jäite või äikesese) korral valitud ülekandeliini puhul.

4.1 LPE tarkvara tulemuste võrdlus käesoleva rikete statistikaga

Et veenduda LPE tarkvara arvutuste täpsuses viiakse läbi arvutused, mis põhinevad ühe ülekandeliini rikete statistika võrdlemisega LPE tarkvaras saadud tulemustega. Võrdluse kaudu saab hinnata LPE kui tarkvara sobilikkust ülekandeliinide dimensioneerimiseks. Võrdlus keskendub tavapärastel saadaval sisendandmetel, mis on eelnevates peatükides mainitud – äikesese löökide tihedus, saaste tihedus, jää juhtivus isolaatori pinnal, maapinna erijuhtivus ning mõõdetud masti jalgade maanduse üleminekutakistus. Võrdluse teostamiseks ei ole tehtud erilisi uuringuid kõrgema kvaliteediga sisendandmete saamiseks, kui normaalselt saadaval olevad andmed, mida kasutatakse kas olemasoleva ülekandeliini analüseerimiseks või uue liini planeerimiseks.

Liini talitlusvõime on arvutatud ühel 420 kV liinil, mis asub Norra põhjaosas. Selleks vaatleme Statnett SF poolt talitluses oleva 420 kV liini Svartisen – Rana.

Kõigepealt saadakse ülevaade äikesese löögitiheidusest, kui ühest riketekke põhjustajast ülekandeliinil. Allpool toodud joonis 4.1 näitab dokumenteeritud välgulöökkide tihedust 100 km²/aastas. Käesolevas töös vaadeldakse seda 9 - aastase ajavahemiku perioodil 01.01.2007 – 01.01.2016. [8]



Joonis 4.1 Svartisen – Rana 420 kV ülekandeliini dokumenteeritud välgulöökide tihedus 100 km² liini kohta aastas

On näha, et välgulöökide tihedus antud ülekandeliinil, mis on joonisel märgitud punase värviga on maksimaalselt 20/100 km²/aastas 9 aastase perioodi jooksul. Kuna liini ümbruses registreeritud äikesese tihedus varieerub enamusest 0 – 0,2 lööki/km²/aastas, siis lähtume konservatiivsest vaatest ja valime äikesese tiheduse suuruseks 0,2/km²/aastas.

Välgu mõju hindamiseks LPE tarkvaras on vaja lisaks järgmisi andmeid: liini pikkust (km), kõrgust merepinnast (m) ning mõõdetud andmeid pinnase tüübi kohta antud ülekandeliinil (selleks et määrata pinnase erijuhtivust) ja masti jalgade üleminekutakistust.

Tabelis 4.1 on toodud ümbritseva keskkonna andmed äikese mõju hindamiseks ülekandeliinile. [9]

Tabel 4.1 Ümbritseva keskkonna andmed kasutatud äikese mõju arvutamisel.

Liin	Süsteem pinge (kV)	Liini nr.	Liini pikkus (km)	Välgulöögi tihedus (1/km ² /aastas)	Kõrgus merepinnast (m)	Keskmine pinnase erijuhtivus
Svartisen-Rana	420	L803	79	0,2	600	2000

Arvutuste teostamiseks on vajalik teada ka kõrgepingeliini parameetreid. [10]

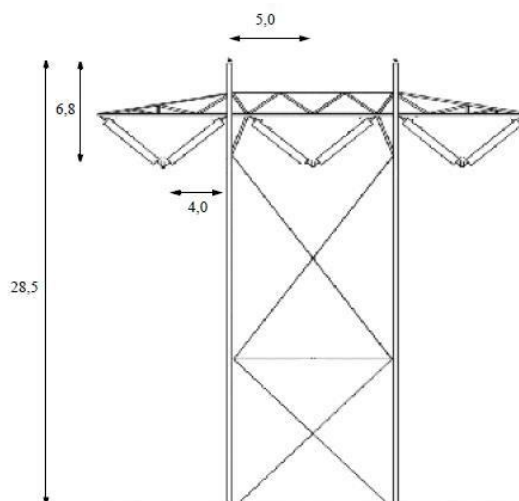
Tabel 4.2 toob välja 420 kV liini Svartisen – Rana tehnilisi andmeid. Allpool olev tabel 4.3 annab ülevaate Statnett SF poolt registreeritud erinevatest riketest ajaperioodil 2007 – 2015. Joonis 4.2 esitab masti geometriat mida kasutatakse arvutuste juures.

Tabel 4.2 Svartisen – Rana ülekandeliini tehnilised parameetrid

Komponent	Liini parameetrid
Faasijuhe	Dupleks Grackle
Faasijuhtme vajumine	12 m
Kaitsetrossi vajumine	12 m
Isolaatorketi ühenduspikkus	3,06 m
Isolaatori ülelöögipikkus	2,9 m

4.3 Kokkuvõte registreeritud võrguettevõtjalt saadud sündmustest perioodil 2007-2015

Liin	U _{max} (kV)	Pikkus (km)	Väljalülituste arv				Väljalülituste arv aastas		
			Saaste	Jäide	Äike	Tedmata	Saaste	Jäide	Äike
SVA-RAN	420	79	0	1	3	0	0	0,11	0,33



Joonis 4.2 Äikese mõju hindamiseks kasutatav masti konfiguratsioon

Mõõdetud mastide jalgede üleminekutakistused on ette antud võrguettevõtja poolt kõigi mastide kohta eraldi. Ülekandeliin koosneb 191 mastist, mis omavad erinevaid takistusi. Mõõdetud takistused on jaotatud 6 rühma esinduslike väärtuste järgi 10 – 250 Ω. Ülekandeliini esinduslikud takistuste

andmed kõigi mastide kohta on jaotatud 6 rühma ning nende väärtused on esitatud allpool olevas tabelis 4.4.

Tabel 4.4 Ülekandeliini esinduslikud takistuste andmed kõigi mastide kohta

Takistus (Ω)	Mastide arv
10	97
20	33
30	21
50	9
100	11
250	8

4.2 Äikese mõju hindamine

Ülekandeliin on jaotatud enam-vähem kuueks võrdseks sektsiooniks, kus igäihe pikkus on 13 km. Arvutused on välja toodud tabelis 4.5 ning neid võrreldakse statistiliste andmetega varem dokumenteeritud võrguettevõtja poolt, mis on toodud välja tabelis 4.3.

Tabel 4.5 Äikese esinemise korral registreeritud ja arvutatud määrad

Ülekandeliin	U _{max} (kV)	Liini pikkus (km)	Väljalülituste arv aastas (registreeritud talitluse sündmused)	Väljalülituste arv aastas (arvutatud ja ümmardatud)
			Äikese	Äikese
SVA-RAN	420	79	0,33	0,22
Liin	Statistiline ajaperiood (aastat)	Äikese poolt registreeritud riked	Äikese pärast registreeritud rikete määr 1/100 km/aastas	Arvutatud äikese rikete määr 1/100km/aastas
Svartisen-Rana	9	3	0,43	0,28

Kokkuvõtte arvatud ja registreeritud äikeselöövide määradest on näidatud tabelis 4.5. Nagu tabelist on näha, vastavad arvatud rikete määrad ülekandeliini kohta üsna hästi võrguettevõtja poolt registreeritud riketega. [15] Võrreldes võrguettevõtte poolt registreeritud sündmusi arvatud tulemustega LPE tarkvaras saab järeldada, et LPE arvutused peegeldavad suhteliselt täpselt ülekandeliinil toimuvaid rikkeid. LPE tarkvaras arvatud äikesese rikete määr 1/100km/aastas, milleks on **0,28 riket (~0,3) /100 km/aastas** võrreldes registreeritud rikete määraga **0,43 riket (~0,4)/100 km/aastas** annab veidi optimistlikumad tulemused. Tulemuste erinevust võib pidada minimaalseks ning antud aastate perioodi kohta võib LPE arvutusi pidada täpseteks.

4.3 Saaste ja jäite mõju hindamine

LPE kasutab statistilist meetodit arvutuste teostamiseks. Seda meetodit võib kasutada nii saaste kui ka jäite mõju hindamiseks, kuigi keskkonnastressi kirjeldavad kogused isolaatoritel on erinevad: ESDD tase mis on ületatud 2% ajast on kasutatud statistilise saastestressi iseloomustamiseks, samas kui 2% veekile juhtivusest on tulemus, mis on saadud sulanud jääst ning kasutatud jäite stressi iseloomustamiseks.

Statistiline meetod põhineb saaste ning jäite laboratoorsete testi tulemuste põhjal, mis omakorda saavutatakse ülelöögi rakendamise piki isolaatorketi isolatsiooni pikkust (kV/m) ja ülelöögi pingestandardhälve poolest. Saaste testide tulemused sisaldavad kuivsoola kihi meetodit (*Dry Salt Layer – DSL*) simuleerides ranniku keskkonda, kus mittelahustavate sadestiste sadestumistihedus ning tahke kihi meetod on vastavuses IEC saaste testi standardiga, mille puhul kasutatakse kõrge NSDD taset (3 mg/cm²). Jäätetesti tulemused on saadud jäite progressiivse testi tulemusel. (*Ice Progressive Test*). Kogu ülekandeliini peetakse mõjutatuks sama reostustasemega (sama saastetesti meetodit kasutatakse kõigi liini lõikude puhul), kuigi reostustase võib erinevates lõikudes olla erinev (nt üks on rannikule lähemal kuid teine asub hoopis kaugem mandril). [11]

Uuritav 420 kV ülekandeliin on jälgitud kuue aasta jooksul, sisukokkuvõtte ümbritseva keskkonna andmetest ja ka registreeritud võrgu talitluse parameetrite andmetest on esitatud tabelis 4.6. Isolaatorite geomeetrilised parameetrid, mis on paigaldatud antud liinil, on esitatud tabelis 4.7 ning nende saaste ülelöögi karakteristikud põhinevad varem läbi viidud testidel.

Tabel 4.6 Kokkuvõte ümbritseva keskkonna andmetest saaste mõju kohta saadud võrguettevõtjalt.

Liin	U _{max}	Pikkus (km)	Isolaatori tüüp	Arvestulik ESDD (mg/cm ²)	Arvutuslik sulatud jää juhtivus 98 % puhul (uS/cm)
SVA-RAN	420 kV	79	NTP	0,1	120

Tabel 4.7 Kokkuvõte tiku-müts tüüpi klaasisolaatorite geomeetristest parameetritest

Liin	Isolaatori tüüp/arv isolaatorketi kohta	Pikkus (m)	Diameeter (mm)	Lekkeraja pikkus (mm)	Spetsiifiline lekkeraja pikkus (mm/kV)
SVA-RAN	NTPx18	3,06	280	18x380	16,3

Tulemused mis esitavad saaste mõju ülekandeliinile on esitatud tabelis 4.8

Tabel 4.8 Saaste mõju arvutus 420 kV ülekandeliinil

Ülekandeliin	U _{max} (kV)	Lengde (km)	Väljalülituste arv aastas (registreeritud talitluse sündmused)	Väljalülituste arv aastas (arvutatud ja ümmardatud)
			Saaste	Saaste
SVA-RAN	420	79	0	0,06
	Ülekandeliin	Saaste rikete määr ülekandeliinil 100 km aastas		
Võrgu pinge (kV)			Registreeritud talitluse jooksul	Arvutatud LPEs
420	Svartisen - Rana		0	0,08

Võrreldes võrguettevõtte poolt registreeritud sündmusi arvutatud tulemustega LPE tarkvaras saab järeldada, et LPE arvutused annavad suhteliselt täpseid tulemusi ülekandeliinil toimuvatest riketest. LPE tarkvaras arvutatud äikesese rikete määr aastas on 0,06 riket/aastas ning 0,08 riket 100 km kohta aastas võrreldes registreeritud rikete määraga, milleks on 0 riket mõlemal puhul, annab peaaegu samu

tulemusi mõlema korra puhul toimuvatest riketest ülekandeliinil. Tulemuste vahet võib pidada minimaalseks ning antud aastate perioodi kohta võib LPE arvutusi pidada täpseteks.

4.4 Jäite mõju

Kokkuvõtte arvutatud ja liini talitluse jooksul registreeritud jäite poolt esitatud rikemäärad on esitatud tabelis 4.9.

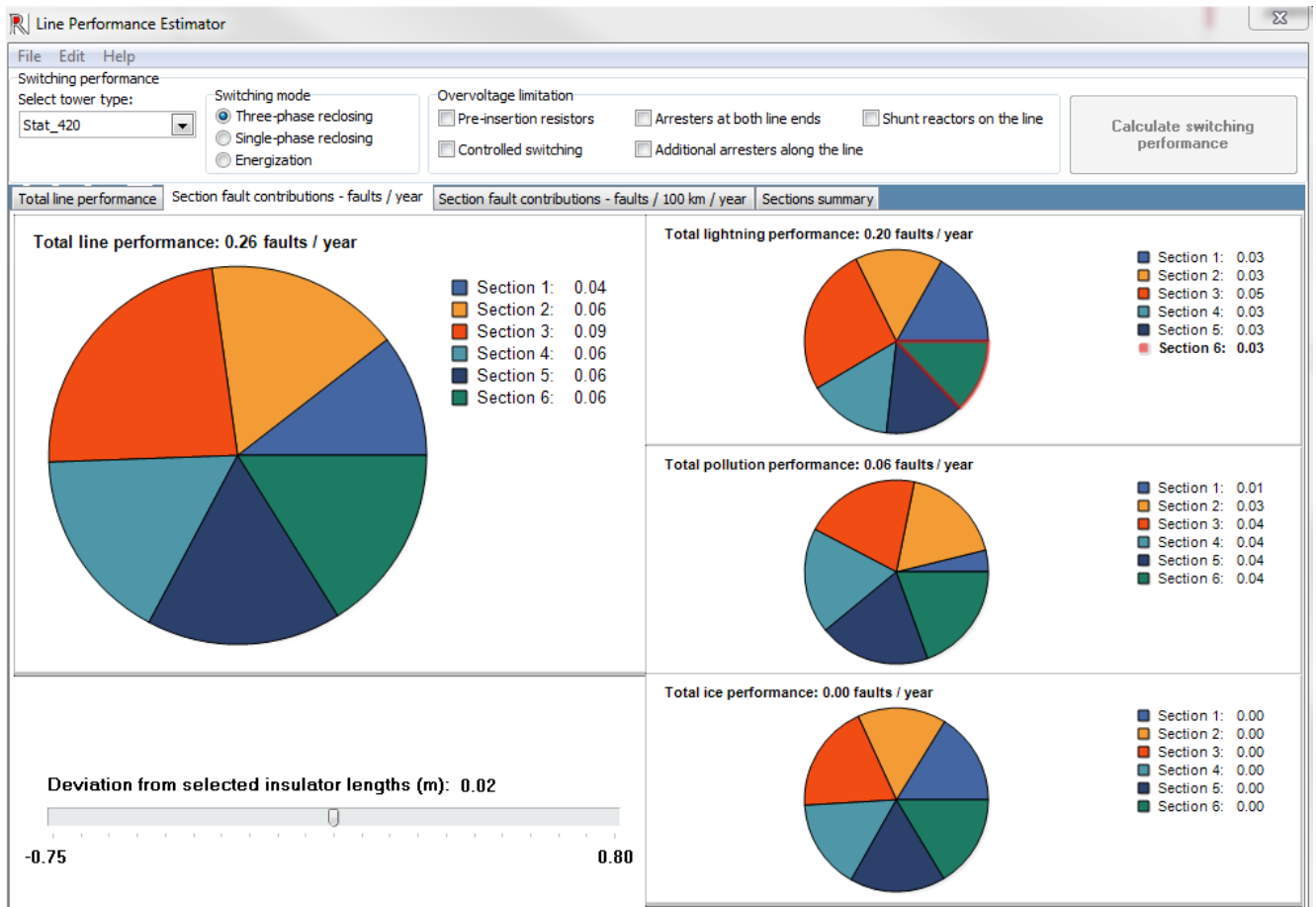
Tabel 4.9 Jäite mõju arvutus 420 kV ülekandeliinil

Võrgu pinge (kV)	Ülekandeliin	Rikete määr ülekandeliinil aastas	
		Registreeritud talitluse jooksul	Arvutatud LPEs
420	Svartisen - Rana	0,11	0
		Rikete määr ülekandeliinil 100 km aastas	
		Registreeritud talitluse jooksul	Arvutatud LPEs
		0,14	0

Tulemustest on näha, et LPE tarkvara annab välja veidi optimistlikumaid tulemusi kui talitluse puhul registreeritud rikete põhjal olevad väärtused. Need on omakorda marginaalsed ning näitavad väga väikesest erinevust võrgu ettevõtte poolt registreeritud tulemustega.

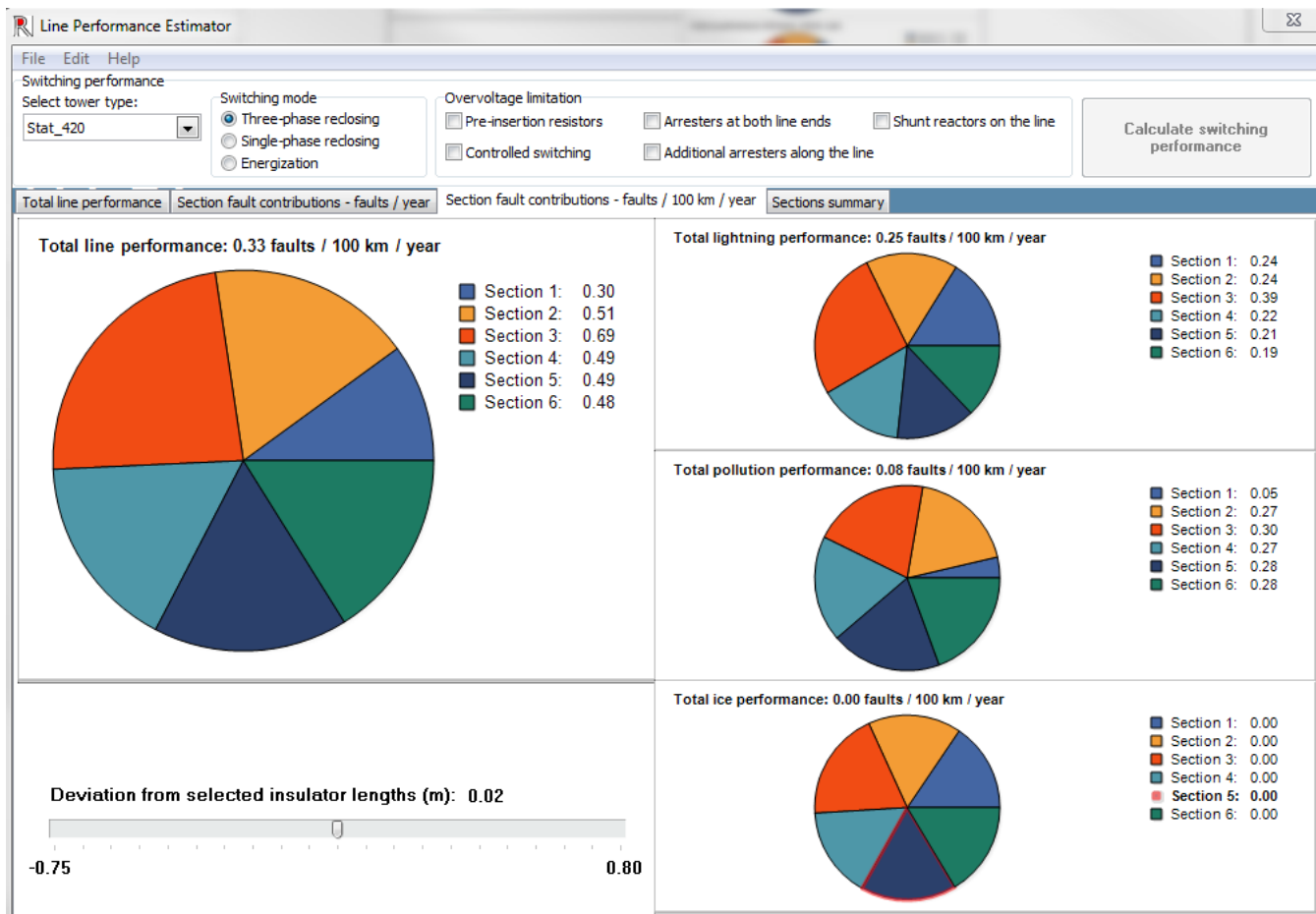
Väikesese erinevuse põhjuseks võib tuua ebakindlust fikseeritud rikete puhul võrguettevõtja poolt, kuna mõningatel juhtudel ei pruugi riket eristada saaste poolt tekitatud rikkega. LPE tarkvaras saadud tulemused on toodud välja allpool olevatel joonistel 4.3; 4.4.

Joonisel 4.3 allpool on näidatud rikete jaotus aasta kohta. Välgu mõju määr – 0,20 riket/aasta kohta; Saaste mõju määr – 0,06 riket/aasta kohta; Jäite mõju määr – 0,00 riket/aasta kohta



Joonis 4.3 Rikete jaotus ülekandeliinil aasta kohta.

Joonisel 4.4 allpool on näidatud rikete jaotus liini 100 km ulatuses aasta kohta. Välgu mõju määr – 0,25 riket/100 km/aasta kohta; Saaste mõju määr – 0,08 riket/100 km/aasta kohta; Jäite suutlikkuse määr – 0,00 riket/aasta kohta



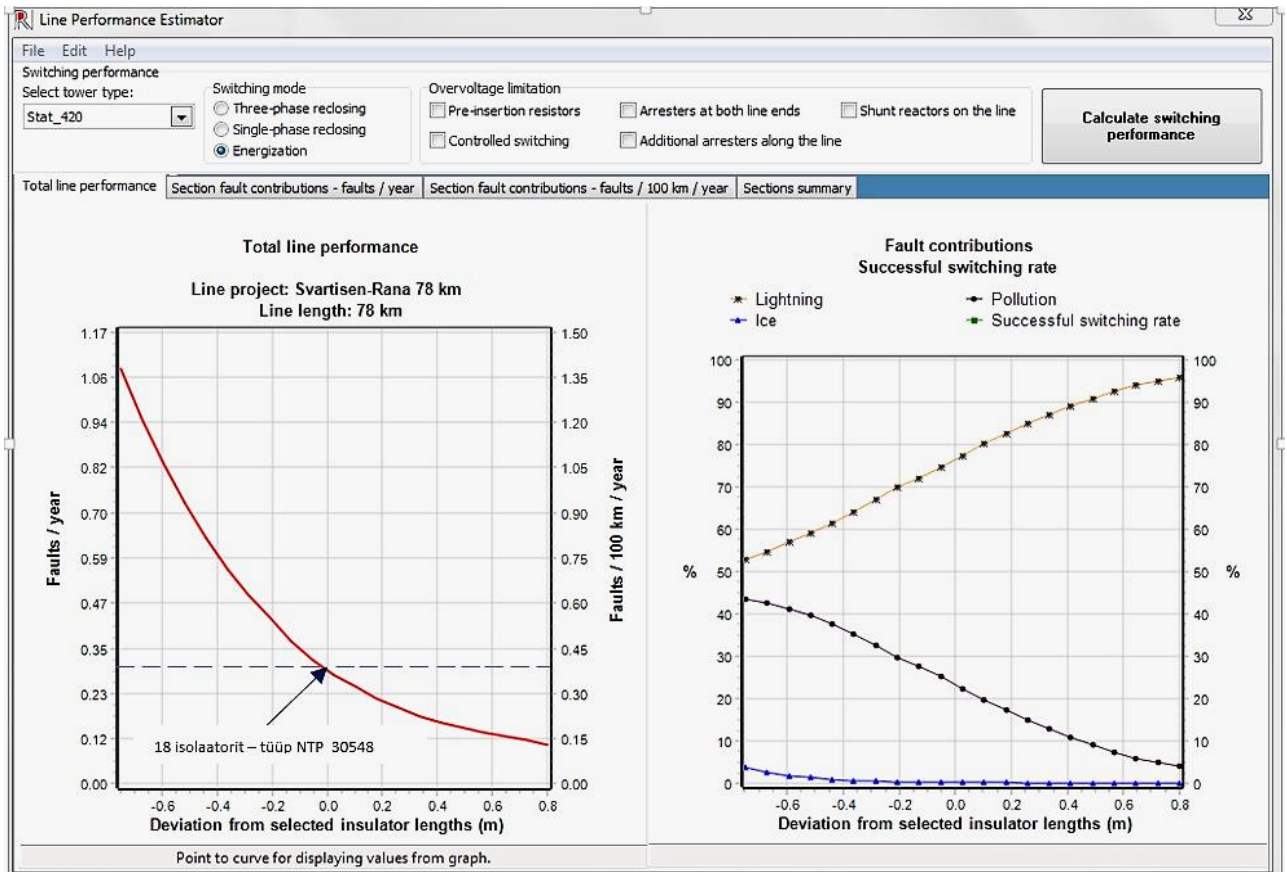
Joonis 4.4 Rikete jaotus ülekandeliini lõikudel 100 km ulatuses aasta kohta.

4.5 Isolaatorketi optimaalse pikkuse leidmine

Joonisel 4.5 on toodud LPE tarkvaras tehtud arvutusi, kus kontrollitakse valitud isolaatorketi pikkust ülekandeliini rikemäär suhtes. 420 kV ülekandeliin Svartisen – Rana; 191 masti, isolaatorketipikkus 3,06 m; tüüp NTP 30548. Rikemäär antud ülekandeliini kohta on 0,3 riket aastas. 0,38 riket/100 km/aastas.

Võrguettevõtte seab eesmärgiks projekteerida ja talitleda tulevast ülekandeliini rikemääruga, mis ei ole suurem kui 1 rike/100km/aastas. Tulemustest on näha, et isolaatori pikkus on valitud õigesti ja rikete arv 100 km ülekandeliini puhul ei ületaks lubatud rikete arvu aastas. [12]

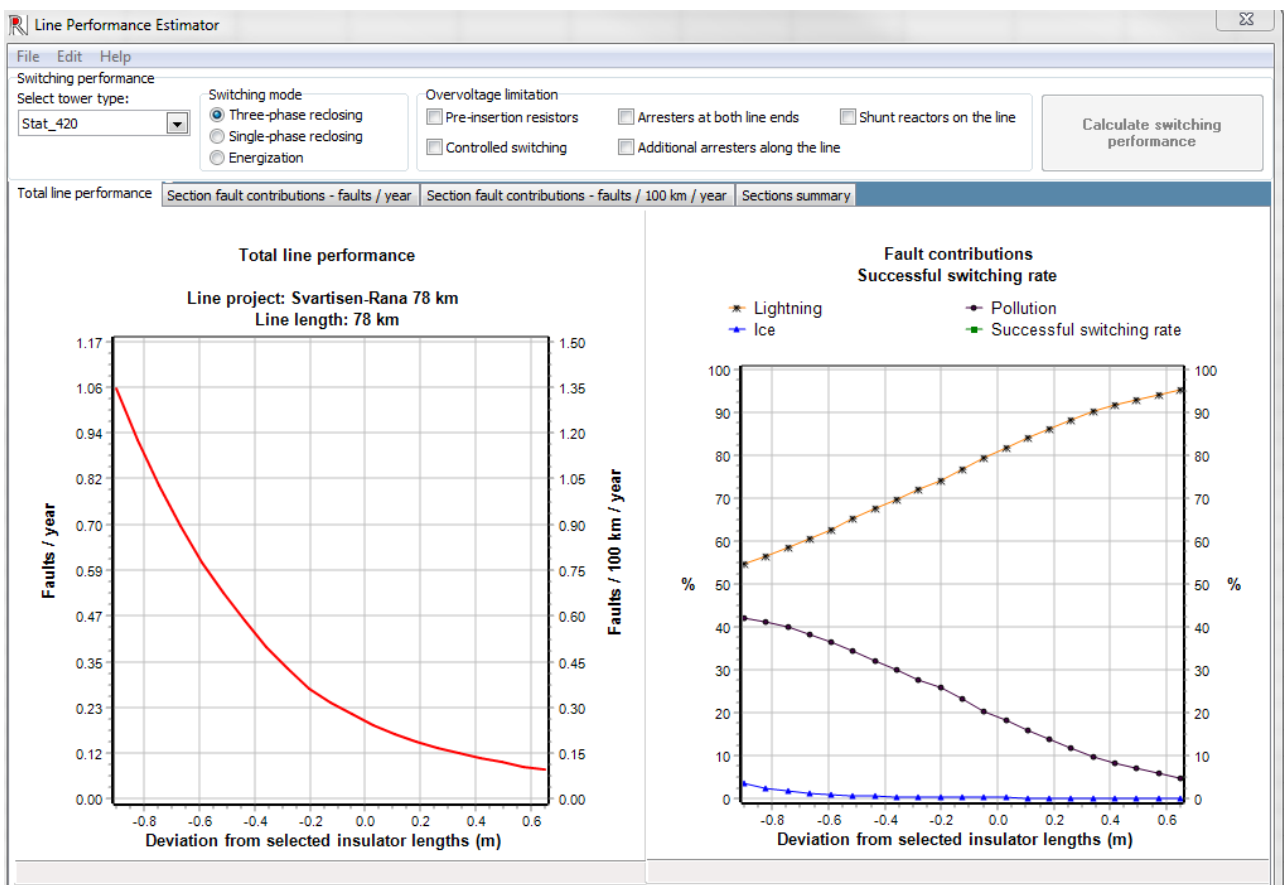
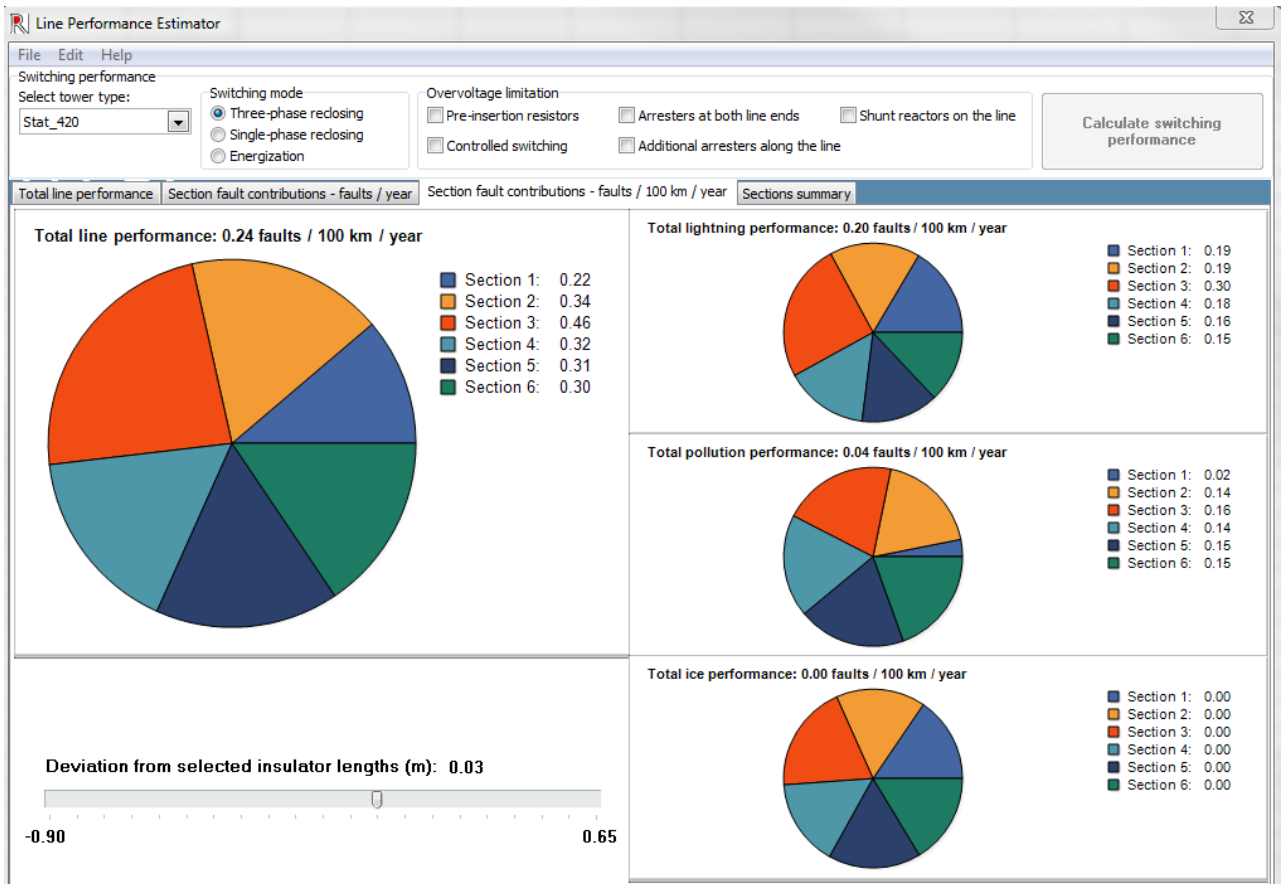
Selleks, et tõestada tarkvara arvutuste õigsust võrreldakse tulemusi, mille puhul isolaatorketile paigaldatakse üks lisa isolaator (isolaatorketil olevate isolaatorite arv on 19) ning, mis juhtub kui sama ülekandeliin talitletakse sama tüüpi 17 isolaatoriga. Arvutused on toodud allpool olevatel joonistel 4.6 ja 4.7.



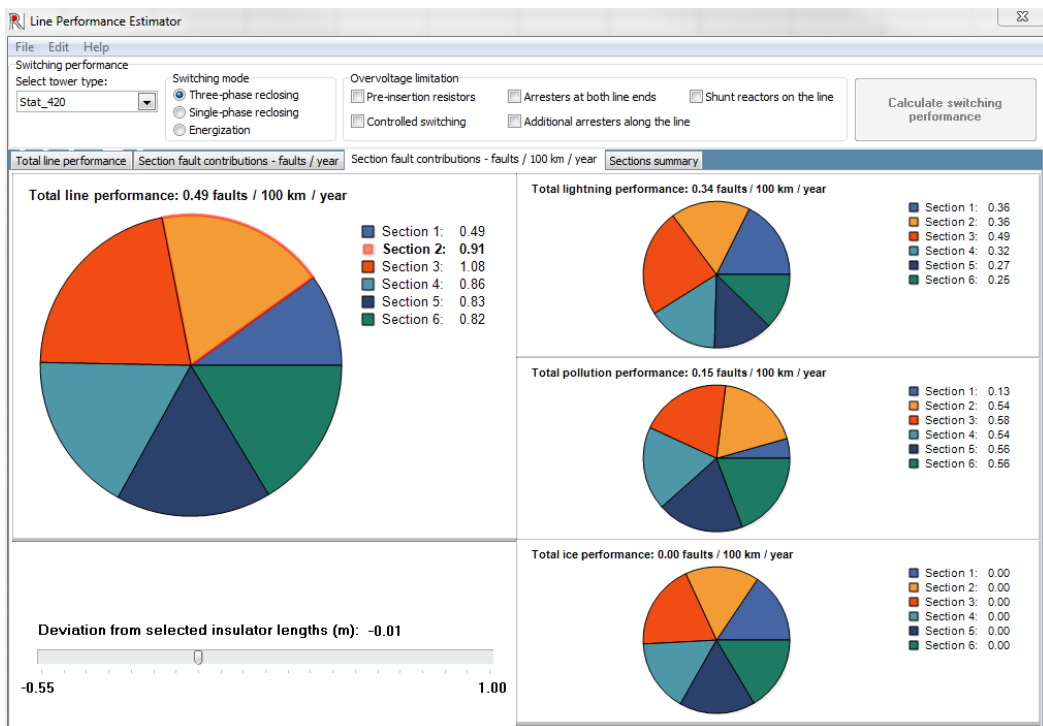
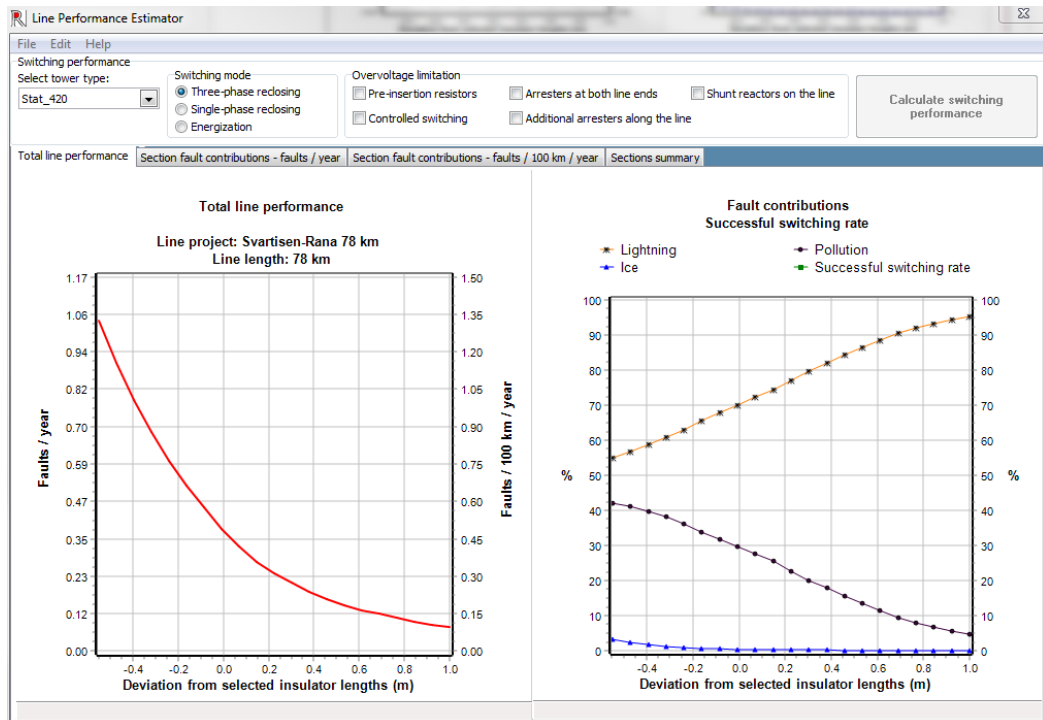
Joonis 4.5 Ülekandeliini talitlusvõime arvutus ja isolaatorketi dimensioneerimise optimeerimise kontroll.

Allpool oleval joonisel 4.6 on näidatud ülekandeliini rikkemäära arvutamine 420 kV ülekandeliinil Svartisen – Rana – Liin koosneb 191 mastist, kus valitud isolaatorketipikkuseks on 3,23 m. Valitud isolaatori tüüp on NTP 30548. Kogu ülekandeliini suutlikkus on 0,2 riket/aastas ja 0,24 riket/100 km/aastas. Seega võib järeldada et antud juhul isolaatorketi pikkus on valitud õieti ja võrguettevõtte poolt seatud eesmärk on täidetud kuna rikemäär 100 km kohta aastas on alla 1 rike/100km/aastas, ehk 0,24 riket/100km/aastas.

Allpool oleval joonisel 4.7 on näidatud ülekandeliini rikkemäära arvutamine 420 kV ülekandeliinil Svartisen – Rana – Liin koosneb 191 mastist, kus valitud isolaatorketipikkuseks on 2,89 m. Valitud isolaatori tüüp on NTP 30548. Kogu ülekandeliini suutlikkus - 0,38 riket aastas, 0,49 riket/100 km/aastas. Tulemustest võib järeldada et isolaatorketi pikkuse vähendamisel halveneb ülekandeliini suutlikkus ning ilmastikuolu parameetrid avaldavad suuremat mõju liini talitlusele.



Joonis 4.6 Ülekandeliini talitusvõime ja isolaatorketi dimensioneerimise optimeerimine.



Joonis 4.7 Ülekandeliini talitlusvõime ja isolaatorketi dimensioneerimise optimeerimine.

Läbi viidud arvustes on näha, et isolaatori lisamisel ülekandeliini isolaatorketile väheneb rikete arv tingitud äikesese löökidest. See on ka loogiline, sest kaitseliini kattuvuse nurk faasiliini suhtes väheneb, mis aga omakorda vähendab ülelöökide määra äikese puhul väiksema katvuse nurga korral. Standardiseeritud 18 isolaatoriga keti puhul on katvuse nurk $30,5^\circ$ (äikese mõju on 0,28 riket/100km/aastas) 19 isolaatoriga keti puhul on see $29,8^\circ$ (äikese mõju 0,20 riket/100km/aastas) ning 17 isolaatoriga keti puhul on see $31,1^\circ$ (äikese mõju 0,34 riket/100km/aastas).

Siiski, vastavalt saadud hinnangule saab tõdeda, et väiksemad liini lõigud on palju rohkem eksponeeritud saastele võrreldes jäitega. Antud erinevused osutuvad sellele, et sisendandmed jäite rikete arvutusteks peavad olema parandatud vastavalt reaalsele olukordadele (suudetakse eristada vahet saaste ja jäite vahel). Võrreldes talitlusriikete registreerimisega on samuti tähtis, et registreeritud rikked puudutavad sel juhul ainult isolaatoreid ning mitte mõningaid teisi jäite poolt puudutavaid ülelööke, nagu näiteks faasijuhtide kokku põrkamine. Siinkohal võib tuua välja soovitavaid parandusi sisestavate andmete kohta:

- Rikete puhul tuleb jälgida, kas kõiki rikkeid peetakse kui jäite puhul tekkivad isolatsiooni- või saaste poolt tekitatud -rikked;
- Arvutada kasutades registreeritud ilmastiku sündmusi (jäitetormide reaalselt arvu kasutades).

4.6 Järeldused tehtud arvutuste kohta

Üldiselt on LPE tarkvara kasutamisel saadud tulemused suhteliselt täpsed rikete määra täpsuse arvutamisel, kui neid võrrelda talitluse käigus registreeritud rikete sündmustega ülekandeliinil.

Kõige täpsemad tulemused saadi ülekandeliinile saaste mõju hindamisel. Siiski on tulemustest selge, et kui ette antud ümbritseva keskkonnaandmed nagu masti jalgede takistus, pinnase erijuhtivus, ja ka äikese löökide tihedus on üksikasjalikumad ja täpsemad, siis LPE arvutuste tulemused paranevad märkimisväärselt.

Jäite mõju hinnang ülekandeliinile on veidi optimistlikum, kui seda võrreldakse talitluse jooksul registreeritud sündmustega. Siin aga esineb ebakindlus talitluse jooksul saadud andmete kohta väljalülituste puhul, sest on teadmata kuivõrd täpselt on esitatud jäite poolt esinenud rikked vastavuses tegelikku olukorraga.

5 LPE tarkvara kasutamine PLSCADD režiimis

Käesoleva peatüki eesmärgiks on uurida, kuidas töötab LPE tarkvara teises võimalikus mooduses ning näidata, kuidas teostatakse ülekandeliini rikete määra arvutamist arvestades nii äikese, saaste kui ka jäite mõju. Tarkvara käivitamiseks PLSCADD mooduses kasutatakse PLSCADD tarkvarast imporditud andmeid LPE tarkvaras. Viiakse läbi arvutusi kolme erineva olukorra kohta. Esmaselt hinnatakse liini kandemastide talitlusvõimet enne pinge uuendamist ehk 300 kV pinge talitluse korral. Seejärel korratakse arvutusi juba 420 kV-le pikendatud kandeisolaatoritel. Viimasena arvutatakse ülekandeliini talitlusvõimet kui kõiki isolaatorketide (nii kande - kui ka tõmbeisolaatorketide) lahendused on optimaliseeritud 420 kV-le.

PLS-CADD tarkvarast saab eksportida faile LPE tarkvarasse konkreetse kõrgepingeliini talitlusvõime arvutamiseks. Arvutamiseks valitakse tänase päeva seisuga 300 kV-st 420 kV-le uuendatud Tonstad – Fedra 2 ülekandeliini, mis asub Norra lõunaosas.

PLS-CADD sisaldab informatsiooni nii mastide kui ka faasi-ja ka kaitseliinide kohta ning võtab arvesse ka mastide geomeetriat koos minimaalse vahemikega pingestatud osade ja maandatud osade vahel. Seda kõike, et arvutada võimaliku ülelöögi määra, mis võib esineda erinevatel tuulekoormustel nii saaste, jäite, äikese, ja lülitusülepingete korral.

5.1 300 kV ülekandeliini rikete ja ülelöögi määra arvutamine

Arvutuse protsessi alustatakse vajalike failide eksportimisega LPE tarkvarasse. Selleks laeme alla varem kirjeldatud faile: "Structure.xml", "Temp" .xml "; "3 year" .xml; "50 year". xml. Seda iseloomustab joonis 5.1 allpool. Antud arvutuse versioonis jätame välja ankrumastide ülelöögi määra arvutamist, kuna nendega kaasatud arvutus tuleb viimases arvutuse versioonis juba uuendatud 420 kV-le ülekandeliinil, mis on meile kõige enam huvipakuv.

Arvutuse protsess alustatakse vajalike failide eksportimisega LPE tarkvarasse. Antud arvutuse versioonis jäetakse välja ankrumastide ülelöögi määra arvutamist, sest nendega kaasatud arvutus tuleb viimases arvutuse versioonis juba uuendatud 420 kV-le ülekandeliinil, mis on kõige enam huvi pakkuv.

Järgmise sammuna vaadatakse millised isolaatorkettide tüübid on kasutatavad antud ülekandeliini juures. Seda saab lihtsustatult kontrollida vaadates LPE tarkvaras olevat isolaatorketide andmebaasi eelnevalt imporditud PLSCADD tarkvarast "Structure.xml" faili kujul. Joonis 5.1 allpool näitab osa kasutatavatest isolaatorketidest valitud ülekandeliinil.

Insulator String Type	Unit Number	Unit Length	Arcing Horn Intrusion
H-21-16-E	14	0.17	0.26
2H-16-18-D-m	14	0.17	0.26
H-21-16-D	14	0.17	0.26
H-21-17-D-m	14	0.17	0.26
H-21-17-D-y	14	0.17	0.26
2H-16-17-D	14	0.17	0.26

Joonis 5.1 Isolaatorketide andmebaas 300 kV ülekanaliinil enne pinget uuendamist

Isolaatorkettide tüübid ja nende pikkused on toodud välja olemasoleva 300 kV paigaldusjuhendis. Näide paigaldusjuhendist ja kasutatavatest isolaatortüüpidest on toodud välja tabelites 5.1 ja 5.2 allpool. Isegi siis, kui isolaatorketi nimetuse järgi sisaldab isolaatorketti LPE andmebaasis 17 isolaatorit, saab seda arvu muuta sobilikule pingeniivoole, ehk vähendada isolaatorite arvu neljateistkümnele mis on antud juhul kirjeldatud paigaldusjuhendis ja ette nähtud 300 kV pingesüsteemi juures.

Tabel 5.1 Näidise lõik 300 kV ülekanaliini paigaldusjuhendist

Masti number	Masti tüüp	Asukoht (km)	Liini lõigu pikkus (m)	Isolaatorketi tüüp
258	Kandemast	37,1	512	H
259	Kandemast	37,612		H
260	Kandemast	37,9	534	H
261	Kandemast	38,434		H
262	Kandemast	38,6	616	H
263	Kandemast	39,216		H

Tabel 5.2 Lõik isolaatorketi tüüpi "H" joonisest ja isolaatori tüübist NTP – 33019

Klaasisolaatorid	Tugevus	Ülekanaliin
Isolaatrite tüüp: NTP	210 kN	Tonstad - Feda 2: 300 kV ülekanaliin
Materjal: karastatud klaas		Tarvikute tüübid: Armatuur ja klaasisolaatorid H
Tarnija: NTP		tüüpi isolaatorketi jaoks
Arv isolaatorketi kohta: 1 x 14 isolaatorit		

Kui isolaatorkettide kohta andmed on muudetud, saab sisse viia teised ülekandeliini parameetreid enne arvutuste teostamist LPE tarkvaras. Ülevaade sisestavatest andmetest 300 kV pingeniivoo puhul on toodud tabelis 5.3 allpool

Tabel 5.3 Kasutatavad parameetrid LPE arvutamisel 300 kV liini puhul

Parameeter	Suurus
Pinge	300 kV
# Mastide arv	106
Liini pikkus	44 km
Kõrgus üle merepinna	430 m
Ülekandeliini konfiguratsioon	Dupleks
Faasiliini diameeter	34.0 mm
Isolaatori tüüp	NTP K 33019
Isolaatori ühenduspikkus	2,55 m
Isolaatori ülelöögi pikkus	2,10 m
Pinnatakistus	50 Ohm
Välgulöögi tihedus	0,3/km ² /year
Pinna erijuhtivus	1000 Ohm
Saastesündmuste arv aastas	10
2% ESDD nivoo	0,04 mg/cm ²
Jäitesündmuste arv aastas	10
Arvutuslik sulava vee juhtivus isolaatoril (2%)	120 µS/cm

Arvutused LPE tarkvaras viiakse läbi kasutades 300 kV puhul kehtivat isolatsiooni pikkust isolaatorketidel. Selleks kasutatakse õiget isolaatorite arvu (ülelöögi pikkust) andmebaasis olevatel isolaatorketidel. Arvutatakse nii äikese, saaste kui ka jäite mõju ülekandeliinile 300 kV pingeniivoo juures. Tulenevalt sellest leitakse ka PFFO minimaalse määra suurust (*Power Frequency Flashover margin* – Liini talitluse puhul esineva minimaalse ülelöögi määra) %-des. i Kandeisolaatorketi

kõikumisel 50 –aastase tuulekoormuse puhul ei ole soovitatav, et õhuvahemik pingestatud osa ja mastikonstruktsiooni vahel on vähem lubatust vahekaugusest ehk alla PFFO 0% väärtusest.

Joonis 5.2 näitab joonise vasakul pool äikese, jäite ja ka saastemõju tulemuste määrasid ülekandeliinil nii aasta kohta kui ka 100 km pikkuse ülekandeliini kohta/aastas. Joonise paremal pool ülemises nurgas on aga näidatud erinevate rikete määrade suurused iga masti kohta. Vajadusel võib täpsemat ülevaadet saada kui jagada liini mitmeks sekstsiooniks (lõiguks). Joonise parema poole alumises nurgas on näidatud PFFO määr iga masti kohta diagrammi kujul. Joonise vasaku poole alumises nurgas on aga näidatud igal mastil kehtivad isolaatorketide tüüpide nimetused kuid ka PFFO margin väljendatuna protsentides (M%). SFFR, BFR, PFR ja IFR on siis vastavalt varjestuse(kaitseliini), tagasilöögi, saaste ja jäite rikkemäärad mida võib eksportida aruande näol iga masti kohta eraldi. 300 kV pingepuhul saadud tulemused – rikemäär liinil aasta kohta on 0,34, rike määr 100 km liinil /aastas on 0,79.

Kuna PFFO määra võrdlus on tähtis iga arvutuse juures, tuuakse allpool välja ka tabel, mis näitab PFFO minimaalse määra ülekandeliini kohta antud juhul 300 kV pingeniivo juures. Andmed tuleb eelenevalt eksportida LPE tarkvarast Exceli faili, et saada parema ülevaade minimaalsest määrast. Tabel 5.4 allpool toob välja tulemusi 300 kV PFFO kohta.

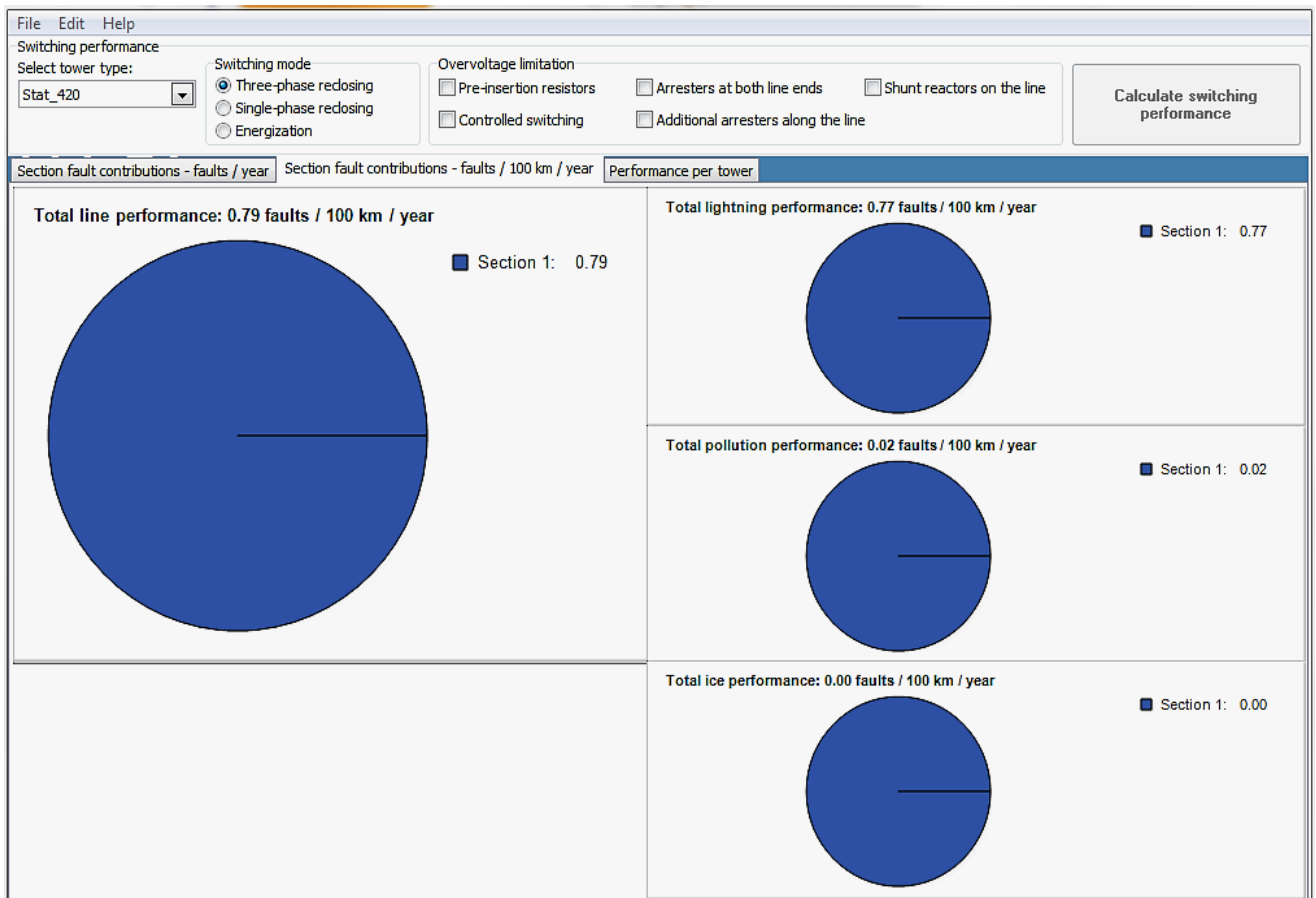
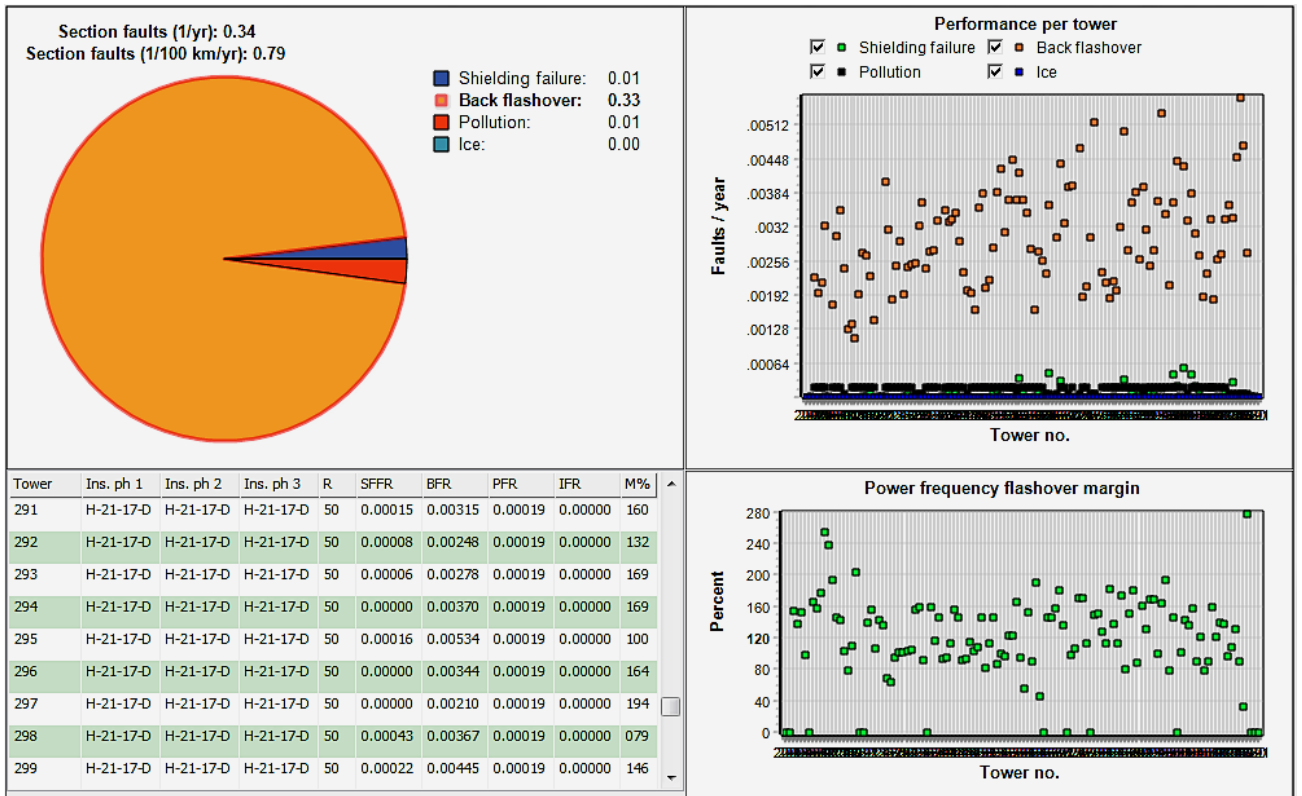
Parema ülevaate saamiseks ülelöögi sageduse määra suuruse leidmiseks tuuakse välja valem, mida kasutatakse selle arvutamiseks. Valem on defineeritud IEC 60071-2 lisas E. [13]:

$$U_{50RP} = 750\sqrt{2} \ln(1 + 0,55d^{1,2}) \quad (5.1)$$

U_{50RP} - 50% Purunemispinge (breakdown voltage-kV)

$d^{1,2}$ – faasi – maa vaheline õhkvahemik 50 – aastase tuulekoormuse puhul, saadud vastavalt PLSCADD tarkvara "structure.xml" failist.

Antud valem on integreeritud tarkvaras PFFO arvutamiseks 50-aastase tuule koormuse puhul mastidel kus faasi-maa vaheline õhuvahemik on tavaliselt kuni 3 meetrit.



Joonis 5.2 300 kV ülekandeliini rikete määra arvutus.

Tabel 5.4 Minimaalne PFFO 300 kV ülekandeliini kandemastidel on +99%.

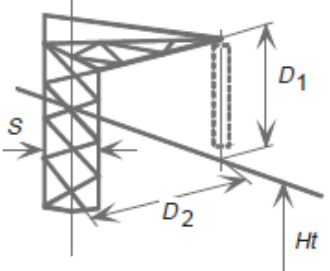
Performance per tower (No. of faults per year, percent margin, or risk indicator for flashover per switching event):						
Tower no.	Pollution	Ice	Shielding failure	Back flashover	Lightning	PF flashover margin
203	0,00051746293	0,00000000146	0,00000000000	0,00165856930	0,00165856930	138,58546659126
204	0,00051746293	0,00000000146	0,00000000000	0,00182503477	0,00182503477	152,71241692637
205	0,00051746293	0,00000000146	0,00001878190	0,00267878899	0,00269757089	99,02469579558
206	0,00023313566	0,00000000000	0,00000000000	0,00000000000	0,00000000000	0,00000000000
207	0,00051746293	0,00000000146	0,00000000000	0,00148924816	0,00148924816	165,91416381187
208	0,00192095719	0,00000009987	0,00000406324	0,00302502309	0,00302908633	157,93177030175
209	0,00192095719	0,00000009987	0,00000000000	0,00351325967	0,00351325967	177,30531685753
210	0,00103212410	0,00000003438	0,00000073820	0,00242734553	0,00242808373	255,28956378727
211	0,00051746293	0,00000000146	0,00000000000	0,00178365537	0,00178365537	239,09812849007
212	0,00051746293	0,00000000146	0,00000000000	0,00114029371	0,00114029371	194,30836170745
213	0,00051746293	0,00000000146	0,00000000000	0,00096866778	0,00096866778	145,74226205263
214	0,00051746293	0,00000000146	0,00000000000	0,00159798299	0,00159798299	143,29166315886
215	0,00051746293	0,00000000146	0,00001357422	0,00221051819	0,00222409241	103,66997151361
216	0,00103212410	0,00000003438	0,00001951518	0,00267637843	0,00269589361	98,84671327084
217	0,0005174629	0,0000000015	0,0000709451	0,0018459381	0,0019168832	109,7299791359
218	0,0010321241	0,0000000344	0,0000006344	0,0014575453	0,0014581798	203,6216903070
219	0,0002331357	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
220	0,0002331357	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
221	0,0005174629	0,0000000015	0,0000178833	0,0032737216	0,0032916050	140,1664895932
222	0,0010321241	0,0000000344	0,0000000000	0,0031608068	0,0031608068	156,7835856239
223	0,0005174629	0,0000000015	0,0000003062	0,0015287200	0,0015290263	106,7457752367
224	0,0005174629	0,0000000015	0,0000000000	0,0020926964	0,0020926964	142,7718721831
225	0,0005174629	0,0000000015	0,0000083906	0,0023975776	0,0024059682	136,0313008194

Õhkvahemikute korral, millede pikkus ulatub kuni 1 meetrini võetakse 50 – aastase tuulekoormuse puhul kasutusele järgmine valem:

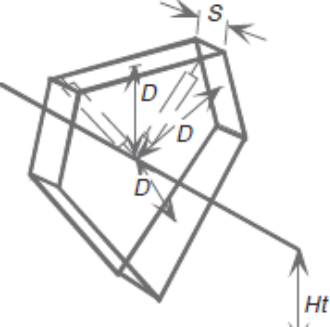
$$U_{50} = U_{50RP} (1,35K - 0,35K^2) \quad (5.2)$$

K – on õhuvahemiku tegur (defineeritud lülituspulsstestide abil) vastavalt PLSCADD tarkvara "structure.xml" failist. K viiteteguri suurus võib muuta vastavalt erinevate traaversite ja isolaatorketide konstruktsioonide korral.

Näide K teguri suurusest valitud lähtudes erinevate traaversite ja isolaatorketide tüüpidest on toodud allpool joonistel 5.3 ja 5.4.

Gap type	Parameters	Typical range	Reference value
 Conductor - Crossarm	K	1,36 - 1,58	1,45
	D_2 / D_1	1 - 2	1,5
	Ht / D_1	3,34 - 10	6
	S / D_1	0,167 - 0,2	0,2

Joonis 5.3 Viitetegur $K = 1,45$ kasutatakse arvutamisel põhiliselt portaalmasti välisfaasis

 Conductor - Window	K	1,22 - 1,32	1,25
	Ht / D	8 - 6,7	6
	S / D	0,4 - 0,1	0,2

Joonis 5.4 Viitetegur $K = 1,25$ kasutatakse arvutamisel põhiliselt portaalmasti keskfaasis

5.2 420 kV ülekandeliini rikete ja ülelöögi määra arvutamine kandemastidel

420 kV liini rikete määra arvutamiseks korratakse sama protsessi, mis on varem kirjeldatud 300 kV puhul, kuid sel korral vaadatakse millised isolaatorkettide tüübid on kasutatavad antud ülekandeliini uuendatud 420 kV pingeniivoo juures.

Järgmisena kontrollitakse, et LPE andmebaasi PLSCADD tarkvarast üle kantud isolaatorkettide andmed vastavad tegelikule süsteemipingele 420 kVle.

Seejärel veendudakse, et isolaatorkettide tüübid on antud ülekandeliini juures õigesti valitud suurendatud pingeniivoo puhul. Samuti kontrollitakse, et isolaatorite arv isolaatorketil vastaks projekteeritud konfiguratsioonile.

Isolaatorkettide õiged tüübid on toodud välja uuendatud 420 kV ülekandeliini tehnilises paigaldusjuhendis. Näide paigaldusjuhendist ja kasutatavatest isolaatoritüüpidest on toodud välja tabelis 5.5 allpool.

Tabel 5.5 Näidise lõik uuendatud 420 kV paigaldusjuhendist ülekandeliinil Tonstad-Feda 2

Pinge uuenduse projekt				Paigaldusjuhend Tonstad-Feda2 420kV			
				Projekteeris		Kontrollis	
Mast				Isolaatorketid			Isolaatorite arv keskfaasil
Nr.	Tüüp	Kõrgus (m)	Kaugus	Isolaatori tüüp välisfaasil	Isolaatorite arv	Isolaatori tüüp keskfaasil	
221	KM	27	6,8	H-21	17	H-21	17
222	KM	29	7,2	H-21	17	H-21	16
223	KM	17	7,5	H-21	17	H-21	17
224	KM	16	7,6	H-21	17	H-21	17
225	KM	21	8,1	H-21	17	H-21	17
226	KM	19	8,3	H-21	17	H-21	17

KM- Kandemast; AM - Ankrumast

Kui isolaatorketide andmed on muudetud viiakse sisse teised liini parameetreid enne arvutuste teostamist LPE tarkvaras. Ülevaade sisestavatest andmetest 420 kV pingeniivo puhul on toodud tabelis 5.6 allpool.

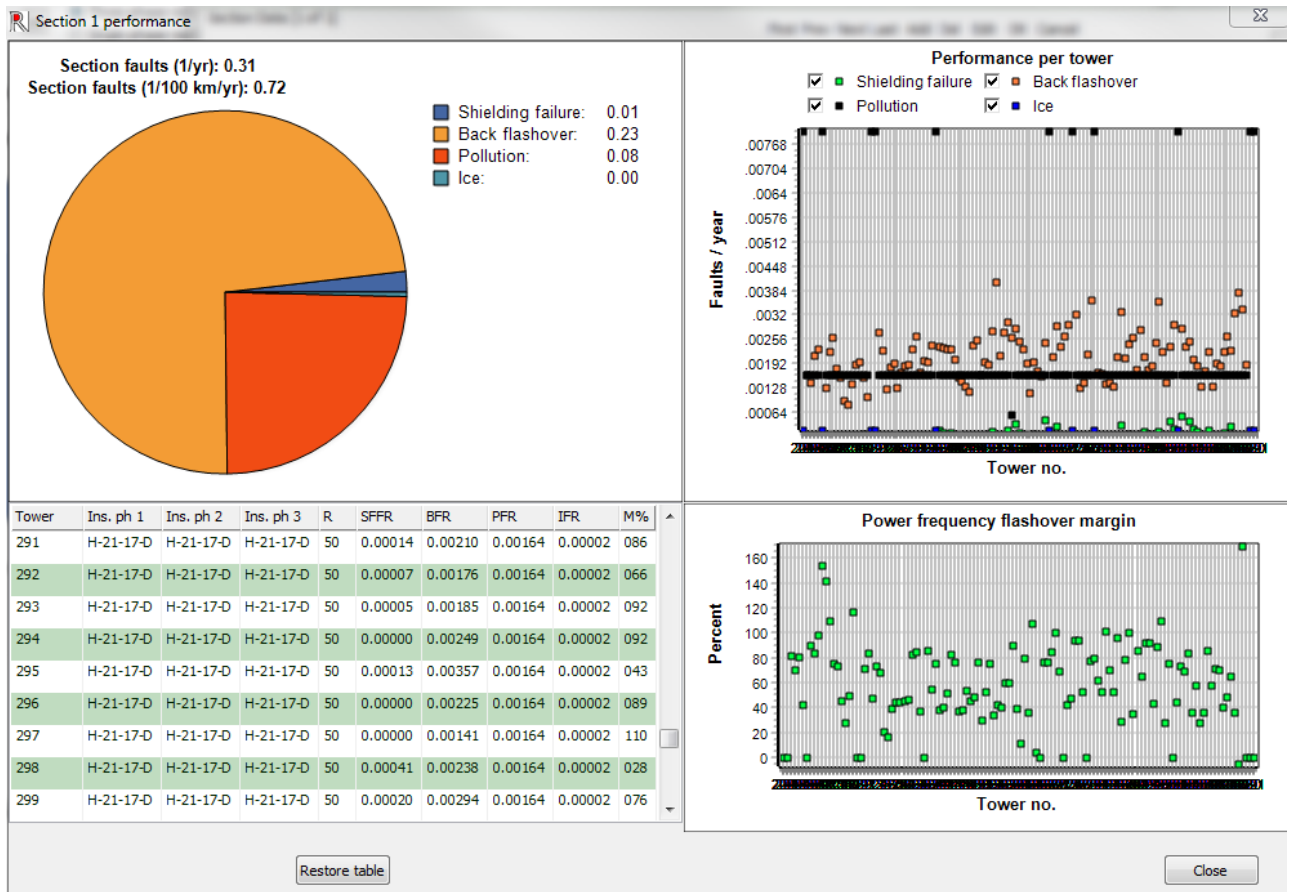
Tabel 5.6 Kasutatavad parameetrid LPE arvutamisel 420 kV liini puhul

Parameeter	Suurus
Pinge	420 kV
# Mastide arv	106
Liini pikkus	44 km
Kõrgus	430 m
Ülekandeliini konfiguratsioon	Duplex
Faasiliini diameeter	34.0 mm

Isolaatori tüüp	NTP K 33048 50
Isolaatori ühenduspikkus	3,06 m
Isolaatori ülelöögi pikkus	2,9 m
Pinnatakistus	50 Ohm
Välgulöögi tihedus	0,3/km ² /year
Pinna erijuhtivus	1000 Ohm
Saastesündmuste arv aastas	10
2% ESDD nivoo	0,04 mg/cm ²
Jäitesündmuste arv aastas	10
Arvutuslik sulatus jääjuhtivus isolaatoril (2%)	120 μS/cm

Edasi viiakse läbi LPE tarkavara abil arvutused kasutades 420 kV puhul kehtivat isolatsiooni pikkust isolaatorketidel. Selleks kasutatakse õiget isolaatorite arvu (ülelöögi pikkust) andmebaasis olevatel isolaatorketidel. Arvutatakse nii äikese, saaste kui ka jäite mõju ülekandeliinile 420 kV pingeniivoo juures. Tulenevalt sellest leitakse ka PFFO suurust (*Power Frequency Flashover margin* – Liini talitluse puhul esineva võimaliku ülelöögi määra) %-des.

Äikese, jäite ja ka saastemõju tulemused antud ülekandeliinil on toodud välja allpool. Joonis 5.5 näitab joonise vasakul pool erinevate rikete määrasisid 420 kV ülekandeliinil nii aasta kui ka 100 km ülekandeliini pikkuse kohta/aastas. Joonise paremal pool ülevas nurgas on aga näidatud erinevate rikete määrade suurused iga masti kohta. Vajadusel võib täpsemat ülevaadet saada kui jagada liini mitmeks sekstsiooniks (lõiguks). Joonise parema poole alumises nurgas on näidatud PFFO iga masti kohta diagrammi kujul. Joonise vasaku poole alumises nurgas on aga näidatud iga masti isolaatorketide tüüpide nimetused kuid ka PFFO margin protsentides (M%). SFFR, BFR, PFR ja IFR on siis vastavalt varjestuse (kaitseliini), tagasilöögi, saaste ja jäite rikkemäärad mida võib eksportida aruande näol iga masti kohta eraldi. Joonisel 5.5 on toodud arvutus 420 kV ülekandeliini kohta, millel on uuendatud kandemastid. Tulemustest näeb rikemäär aasta kohta, mis on 0,31. Rike määr 100 km /aastas on 0,72.



Joonis 5.5 420 kV ülekandeliini rikete määra arvutus, millel on uuendatud kandemastid.

Nii nagu see on esitatud 300 kV arvutuste juures, tuuakse välja ka 420 kV tabel, mis näitab PFFO keskmise määra ülekandeliini kohta antud juhul 420 kV pingeniivoo juures. Andmed tuleb eelenevalt eksportida LPE tarkvarast Exceli faili et saada parem ülevaade minimaalsest määrast. Tabel 5.7 allpool näitab näide taolisest tabelist, mis kehtib antud antud liini 420 kV pinge puhul. Arvutatud ülelöögi määr 420 kV puhul arvestades ainult kandemastide tulemusi on +28 %.

Tabel 5.7 Minimaalne PFFO määr 420 kV ülekandeliinil arvestamata ankrumastide tulemusi

Tower no.	Pollution	Ice	Shielding failure	Back flashover	Lightning	PF flashover margin (%)
203	0,0016427255	0,0000237417	0,0000000000	0,0021286606	0,0021286606	70,4182301831
204	0,0016427255	0,0000237417	0,0000000000	0,0032053034	0,0032053034	80,5089113482
205	0,0016427255	0,0000237417	0,0000197146	0,0034678398	0,0034875545	42,1605301648
206	0,0080179767	0,0001662285	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
207	0,0016427255	0,0000237417	0,0000000000	0,019547875	0,019547875	89,9387327522
208	0,0016427255	0,0000237417	0,0000010000	0,0033705591	0,0033715591	84,2370217719
209	0,0016427255	0,0000237417	0,0000000000	0,0039371484	0,0039371484	98,0752725404
210	0,0016427255	0,0000237417	0,0000000017	0,0027020997	0,0027021014	153,7783190579
211	0,0016427255	0,0000237417	0,0000000000	0,0023343524	0,0023343524	142,2130054329

212	0,0016427255	0,0000237417	0,0000000000	0,0014142220	0,0014142220	110,2203074096
213	0,0016427255	0,0000237417	0,0000000000	0,0012738575	0,0012738575	75,5302281339
214	0,0016427255	0,0000237417	0,0000000000	0,0020830257	0,0020830257	73,7797999443
215	0,0016427255	0,0000237417	0,0000139603	0,0028365812	0,0028505415	45,4785850232
216	0,0025063828	0,0000457182	0,0000217077	0,0034627431	0,0034844508	27,7476821415
217	0,0016427255	0,0000237417	0,0000970237	0,0023257219	0,0024227457	49,8071629062
218	0,0025063828	0,0000457182	0,0000000848	0,0018692263	0,0018693111	116,8726865328
219	0,0080179767	0,0001662285	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
220	0,0080179767	0,0001662285	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
221	0,0016427255	0,0000237417	0,0000177465	0,0041093073	0,0041270538	71,5475325908
222	0,0025063828	0,0000457182	0,0000000000	0,0040710542	0,0040710542	83,4168896677
223	0,0016427255	0,0000237417	0,0000000000	0,0018996229	0,0018996229	47,6755881952

5.3 420 kV ülekanaliini rike ja ülelöögi määra arvutamine kande- ja ankrumastides.

Nagu ka eelmise arvutamise juures kontrollitakse üle isolaatorkettide tüübid, mis on kasutatavad antud ülekanaliini 420 kV pingeniivoo juures. Impodritakse faasi-maa õhkvaahemike vahelised pikkused Excel makro kujul, mida hiljem teisendatakse txt. failiks. [14] Ülevaade uuendatud 420 kV-le tõmbeisolaatorkettidest ja nende puhul kehtivad faasi-maa vahelised õhkvahmikud on toodud tabelis 5.8 allpool.

Tabel 5.8 Tõmbeisolaatorkettidel kehtivad faasi-maa vahelised õhkvahmikud

Masti number	Isolaatorikett	Õhkvaahmikud								
		Temp 1 faas	3-aastane tuul 1. faas	50-aastane tuul 1. faas	Temp 2 faas	3-aastane tuul 2. faas	50-aastane tuul 2. faas	Temp 1 faas	3-aastane tuul 3. faas	50-aastane tuul 3. faas
219	dS 4.2m	4,46	3,10	2,50	2,60	2,60	2,60	4,04	2,60	1,98
220	Stkj	3,87	2,65	1,95	2,60	2,60	2,60	4,88	3,47	2,79
236	dS 4.2m	3,51	2,16	1,57	2,40	2,40	2,40	3,48	2,02	1,39
266	dS 4.2m	3,50	2,12	1,47	2,60	2,60	2,60	3,50	2,12	1,47
272	dS 4.2m	3,07	1,70	1,10	2,60	2,60	2,60	3,93	2,56	1,96
278	dS 4.2m	3,50	2,24	1,71	2,60	2,60	2,60	3,50	2,24	1,71
300	Stkj	3,07	1,87	1,16	2,40	2,40	2,40	4,21	2,71	1,99

Järgmiselt veendutakse, et isolaatorketti tüübid on õigesti valitud 420 kV pingel puhul. Isolaatorkettide õiged pikkused on toodud välja uuendatud 420 kV ülekanaliini tehnilises paigaldusjuhendis. Näide

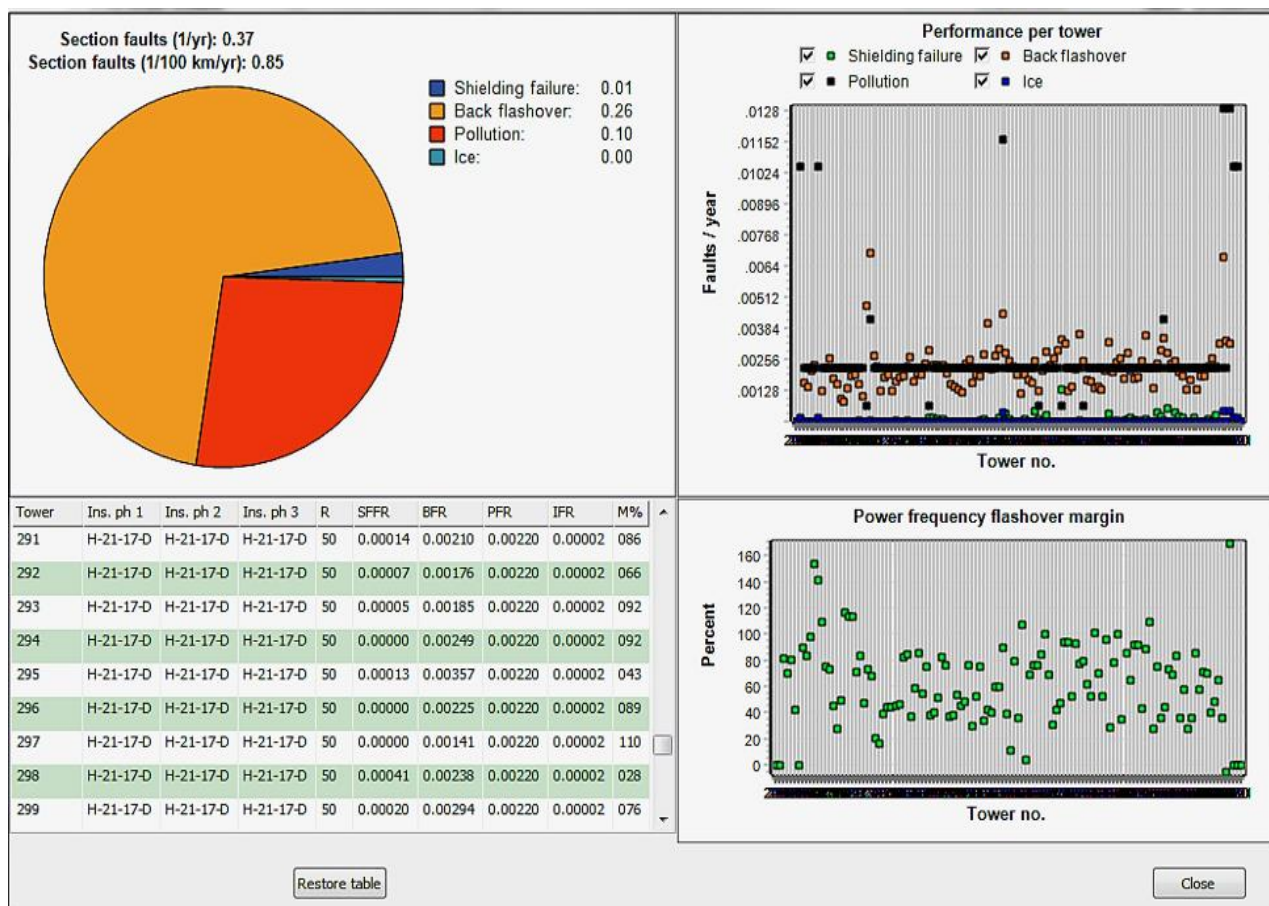
paigaldusjuhendist ja kasutatavatest isolaatoritüüpidest on toodud välja tabelis 5.9 allpool. Seda saab teha otseselt isolaatorketide andmebaasis kus ükshaaval muuta pikkusi iga kehtiva isolaatorketi puhul.

Tabel 5.9 Lõik uuendatud 420 kV paigaldusjuhendist

Pinge uuenduse projekt				Paigaldusjuhend Tonstad-Feda2 420kV			
				Projekteeris		Kontrollis	
Mast				Isolaatorketid			Isolaatorite arv keskfaasil
Nr.	Tüüp	Kõrgus (m)	Kaugus	Isolaatori tüüp välisfaasil	Isolaatorite arv	Isolaatori tüüp keskfaasil	
236	AM	29	11,6	2S-30	2x17	2S-30	2x17
237	KM	31	11,9	H-21	17	H-21	16
238	KM	122	12,4	H-21	17	H-21	17
239	KM	19	12,7	H-21	17	H-21	17
240	KM	19	13,2	H-21	17	H-21	17
241	KM	19	13,5	H-21	17	H-21	17

KM- Kandemast; AM - Ankrumast

LPE tarkvaras viiakse läbi arvutused kasutades 420 kV puhul kehtivat isolatsiooni pikkust isolaatorketidel. Selleks kasutatakse õiget isolaatorite arvu nii tõmbeisolaatorketide kui ka kandeisolaatorketidel antud ülekandeliinil. Allpool on toodud arvutused 420 kV liini kohta millel on uuendatud nii ankru- kui ka kandemastid. Rikkemäär aasta kohta on 0,37. Rike määr 100 km /aastas on 0,85 (joonis 5.6).



Joonis 5.6 420 kV ülekandeliini minimaalse rikete määra arvutus kande-ja ankrumastidel

Kuna PFFO määra võrdlus on tähtis protsessi iga arvutuse juures, tuuakse välja tabel, mis näitab PFFO keskmise määra ülekandeliini kohta antud juhul 420 kV pingeniivo juures nii kande- kui ka ankrumastide kohta. Andmed tuleb eelnevalt eksportida LPE tarkvarast Exceli faili et saada parem ülevaade keskmisest määrast. Tabel 5.10 allpool toob välja tulemusi 420 kV ülekandeliini PFFO kohta, uuendatud ankru-ja kandemastidega. Arvutatud ülelöögi määr on +4%

Tabel 5.10 Minimaalne PFFO määr ankrumastidega 420 kV liinil

Tower no,	Pollution	Ice	Shielding failure	Back flashover	Lightning	PF flashover margin
264	0,020520360	0,000007909	0,000000000	0,001598920	0,001598920	108,0169056
265	0,020520360	0,000007909	0,00045800	0,002476469	0,002934470	4,1592917
266	0,005422282	0,000000647	0,000136743	0,001274699	0,001411442	69,4223604
267	0,020520360	0,000007909	0,000020998	0,002117549	0,002138547	76,11065452
268	0,020520360	0,000007909	0,000283285	0,002901438	0,003184723	76,08659123
269	0,020520360	0,000007909	0,000000000	0,002356029	0,002356029	84,700512
270	0,020520360	0,000007909	0,000000000	0,002629259	0,002629259	100,866944
271	0,020520360	0,000007909	0,000000000	0,002946303	0,002946303	69,14918912
272	0,005422282	0,000000647	0,001329598	0,003404256	0,004733854	31,23404595

Kõigist kolmest arvutustest saadud tulemused on toodud välja allpool olevas tabelis 5.11.

Tabel 5.11 Ülekandeliini rikete määrad ja ülelöögimäära suurused arvutatud LPE tarkvara abil

	Suurus	Varem registreeritud talitluse riked 1982-2011	Ülekandeliini arvutatud suutlikkus*		
			Versioon 2	Versioon 3	Versioon 4
Süsteemi pinge	kV	300	300	420	420
Rikete määr:					
Äikese	1/100 km/yr	0,6	0,8	0,5	0,6
Saaste	1/100 km/yr	0,1	0,01	0,18	0,23
Jäite	1/100 km/yr	0,1	0,00	0,00	0,00
Min. PFFO määr*	%	-	+97	+28	+4

*Märkus: Ankrumastid ei ole arvesse võetud versioonidel 2 ja 3.

*PFFO – Min. Power Frequency Flashover Margin (minimaalne voolusageduse ülelöögi määr)

Üleval toodud tabelis olevad tulemused jaotatakse mitmeks versiooniks. Versioon 2 toob välja tulemusi 300 kV ülekandeliini kohta enne pinge tõstmist. Versioon 3 toob välja tulemusi 420 kV-le uuendatud ülekandeliini kohta arvestades ainult kandemastide tulemusi. Versioon 4 näitab 420 kV - le uuendatud ülekandeliini kohta arvestades nii kande- kui ka ankrumastide tulemusi.

5.4 Järeldused

Versioonis 2, kus olemasoleva ülekandeliini talitletakse 300 kV süsteempingega hõlmab arvutus ainult kandeisolaatorkette. Selle juures saadud tulemusi annab võrrelda pikaajaliselt kogutud andmete näol rikete statistikana. Põhiliselt keskendudes välgulöögi statistikale ja saaste sündmustele. 50 – aastase tuulekoormuse korral esindatud minimaalne ülelöögi määr ületab +50%, antud ülekandeliini juhul on see aga +97%.

Versioonis 3 on esindatud uuendatud liin, pikendatud isolaatorketidega kandemastidel, mis dimensioneeritud isolatsiooni poolest täidab minimaalsete vahemike nõudeid uuendatud 420 kV pingele üleminekul. Arvutus hõlmab ainult kandeisolaatorkette. Väiksem välgu ülelöögi määr on tingitud suurenenud isolaatorketi ülelöögi pikkusest. Saaste rike määr on suurenenud vähendatud lekkeraja tõttu mis on tingitud pingesüsteemi üleminekul 300 kV-st 420 kV-le sama isolaatoritüüpi valiku puhul keti pikendamisel. Ülelöögi määr on vähendatud tänu suurendatud isolaatorketi pikkuse tõttu kus selle väärtuseks on +46%.

Versioonis 4 on esindatud optimaliseeritud isolaatorketide pikkustega uuendatud ülekandeliin. Arvutus hõlmab nii tõmbe- kui ka kandeisolaatorkette. Kui pikendatud isolaatorketid optimaliseeritakse 420 kV tööks, siis nii välgu löögist kui ka saaste rike määrast põhjustatud talitluse rikemäär suureneb isolaatorketide lühendamise tõttu.

Antud juhul 420 kV-le uuendatud ülekandeliin vastab seatud eesmärkidele. Tulemustest võib näha et liinile seatav eesmärk väljalülituste arvu 100 km liini aastase perioodi suhtes on samuti täidetud – väliparameetrite mõju saaste, äikese ja jäite näol viib liini talitluse rikeni alla 1 väljalülituse aastas. Antud puhul on see suurus 0,85. Väliparameetritest tingitud rikemäärad pole samuti nähtavalt suurem kui neid võrrelda tulemustega enne pinget uuendamist. PFFO minimaalne ülelöögi määr arvutuste viimases versioonis on suurem kui 0% igas mastis. See aga tähendab et projekteerimistöö on oma eesmärged täitnud.

Lõputöö kokkuvõte

Statnett SF kui Norra suurimal võrguettevõtetel on plaanis teha suuri investeeringuid 6 miljardi euro suuruses olemasoleva võrgu uuendamiseks või uusehituseks järgmise 15 aasta jooksul. Pinge uuendamine kui üks peameetmetest hõlmab laia valiku tehnilisi lahendusi. Alates olemasolevate dupleks faasiliinide isolatsiooni deminsioneerimisest uuele 420 kV standardile või simpleks liinide ümberehitus mis hõlmab vanade faasiliinide asendamist uute dupleks - liinidega, mis talitletakse 420 kV pinge juures. Ülekandeliini komponentide ja armatuuri uuendamine uuele pinge süsteemile kuid ka suurema voolu talitluse puhul kaasneva temperatuuri tõstmine võimaldab olemasolevatel dupleksliinil 40-80% võimsuse suurendamist. Üleminek simpleks konfiguratsioonist 300 kV puhul 420 kV dupleks konfiguratsioonile võimaldab üle kanda kaks korda suuremat võimsust juhul kui eksisterende faasiliin asendatakse kas tavalise dupleksfaasiliinidega või dupleks kõrgtemperatuuriliinidega. Tuginedes varem läbi viidud töökindluse analüüsile, mille abil on välja selgitatud talitluses olevatel juhtmetel ja armatuuril järele jäänud talitluseaeg, võib julgelt väita, et ülekandeliini pinge uuendamine on parim investeeringu lahendus enamusjuhtudel 30 - 40 aastases perspektiivis.

Varustuskindluse parandamisel on suhteliselt asjakohane kasutada olemasolevaid ülekandeliinide trasse nii palju kui võimalik, enne kui plaanitakse hõivata selleks uusi trasse ja uusi piirkondasid. Seetõttu pinge uuendamine 300 kV-lt 420 kV-le on väga oluline olemasolevatel 300 kV mastidel ning selle realiseerimine on tähtis, kui järgmise põlvkonna plaan, mis on osa võrguettevõtja tuleviku strateegiast. Järgnevatel aastatel moodustab pinge uuendamine ca. 2/3 investeeringutest võrgu parandamiseks mõõdetuna kilomeetrite järgi.

Keskkonna seisukohast on pinge uuendamine väga hea lahendus, võrgu võimsus suureneb, ilma et oleks vaja võtta kasutusele märkimisväärselt suuremat piirkonda. See aga muudab olemasoleva liini elementide uuendamist kergemaks, kuna sel puhul muutub ehitusloa taotlusprotsess lihtsamaks võrreldes uue ülekandeliini ehituse korral. Kõik see tähendab, et pinge uuendamine on lahendus mille elluviimine on kõige otsatrbekam vaadates nii ümbritseva keskkonna poolsest seisukohast kui ka hinnates olemasolevate liinide eluiga milleks on estimateeritud 80 aastat.

Antud töö koostamise eesmärk oli eelkõige jagada kogemust teiste võrguettevõtetega, et anda ülevaadet võimalikest tehnilistest lahendustest juhul kui olemasoleva võrgu eluiga aitab vähendada investeeringuid pinge uuendamise näol. Samuti on see hea näide konseptsioonist, mille puhul võib teha minimaalselt investeeringuid varustuskindlust kahjustamata ning et rahuldada tarbimisvajadusi mõnekümne aasta võrra või isegi seni kuni ülekandeliini eluiga jätkub. Antud ülesanne puhul on

vajalik tõestada, et mitte iga regiooni puhul ei ole vajalik niivõrd suur investeering, et rahuldada kasvavat elektritarbimist. Enamus juhtudel piisab ka pingesüsteemi uuendamisest. Ülesanne on huvitav, sest see annab ülevaate, kuidas on võimalik tänapäeval kõrgepingeliini uuendada kõrgemale pingesüsteemile ilma oluliste maksumusteta võrreldes uue liini ehitusega.

Töö annab täpse kirjelduse projekteerimise erinevatest etappidest ülekandeliini pingesüsteemi uuendamisel 300 kV-st 420 kV-le. Seejuures oli tähtis tuua välja, millised on projekteerimise käigus suuremad väljakutsed vajalike õhuvahemike säilitamiseks olemasolevates 300 kV mastides. Selle juures tuuakse välja millist tarkvara kasutatakse ning milliseid nõuandeid ja reegleid jälgitakse.

Lisaks oli koostatud lühendatud tehnilis-majanduslik hinnang näitamaks eeliseid ja puuduseid olemasoleva ülekandeliini uuendamisega võrreldes uue ülekandeliini ehitusega.

Pinge uuendamisel on suur potentsiaal mitte ainult 300 kV üleviimisega 420 kV - le vaid ka teistel pinge tasemetel. Projekti elluviimiseks on suur vastutus samas ülekandevõrgu ettevõttes töötavatel plaani ja analüüsimisega tegelevatel spetsialistidel. Kuna nende prognooside järgi võetakse tähtsaid otsuseid tulevikus plaanitava ülekantava võimsuse suhtes nii riigi siselt kui ka selle ülekandmiseks naaberriikidele. Sellest peamiselt sõltub tuleva investeeringu suurus ning valitud kontseptsioon võrgu planeerimisel. Õigete ja täpsete sisendandmete kogumine on üks tähtsamaid ülesandeid pinge tõstmise projekteerimise juures. Selleks et saada võimalikult täpseid rikemäärade tulemusi nii terve liini kui ka iga individuaalse masti kohta, tuleb kasutada võimalikult täpseid andmeid nii ülekandeliini enda kui ka esinevate ilmastikuolude kohta antud piirkonas. Isolaatorketide pikkuste optimeerimisel on väga tähtis lähtuda kindlatest projekteerimisreeglitest ning kasutada selleks spetsiaalselt välja töötatud tarkvara. Laboratoorsete testide läbiviimine kui üks osa projekteerimise protsessist oli vajalik selleks et määrata lubatud õhkvahemikud 420 kV-le üleminekul. Selleks uuriti ulelöögi teket erinevate isolaatorketide tüüpide puhul olemasolevatel 300 kV mastidel kolme erineva tuulekoormuse puhul.

Töös lahendati praktilised ülesanded LPE tarkvara abil, mida kasutatakse ülekandeliini võime arvutamiseks nii olemasolevatel uuendatud liinidel kui ka uute liinide planeerimisel. Üheks ülesandeks oli võrrelda vastavust 420 kV ülekandeliinil registreeritud rikete statistika ja LPE tarkvaras teostatud arvutusi vahel mis olid läbiviidud kasutades ümbritseva keskkonna mõjuvate tegurite sisendandmeid. Samuti veenduda et läbi viidud arvutused on vastavuses isolaatorketi dimensioneerimise kriteeriumi nõuetega. Saadud tulemused on suhteliselt täpsed rikete määra täpsuse arvutamisel, kui neid võrrelda talitluse käigus registreeritud rikete sündmustega

ülekanaliinil. Arvutused tõestasid ka isolaatorketi dimensioneerimise kriteeriumi vastavust ülekandevõrgu poolt seatud eemärgile.

Teiseks ülesandeks uuriti, kuidas töötab LPE tarkvara teises võimalikus režiimis ning näidata kuidas teostatakse ülekanaliini rikete määra arvutamist arvestades nii äikese, saaste kui ka jäite mõju. Arvutused viidi läbi kasutades PLSCADD režiimi (rakendati PLSCADD tarkvarast imporditud andmeid) LPE tarkvaras. Nagu projekteerimisjuhend ette näeb, võrreldi kolme erinevat talitluseolukorda võttes arvesse nii erinevaid tehnilisi lahendusi kui ka süsteemi pinget nii 300 kV kui ka 420 kV korral. Esmaselt hinnati liini kandemastide talitlusvõimet enne pinget uuendamist ehk 300 kV pinget talitluse korral. Seejärel viidi läbi arvutusi liinil millel on 420 kV-le dimensioneeritud kandeisolaatorid. Viimasena arvutati ülekanaliini talitlusvõimet kui kõiki isolaatorketide (nii kande- kui ka tõmbeisolaatorketide) lahendused on optimaliseeritud 420 kV-le.

Tulemustest on selge, et kui ette antud ümbritseva keskkonnaandmed nagu masti jalgede takistus, pinnase erijuhtivus, ja ka äikese löökide tihedus on üksikasjalikumad ja täpsemad, siis LPE arvutuste tulemused paranevad märkimisväärselt. Võrreldes talitlusrikete registreerimisega on samuti tähtis, et registreeritud rikked puudutavad sel juhul ainult isolaatoreid ning mitte mõningaid teisi jäite poolt puudutavaid ülelööke, nagu näiteks faasijuhtide kokku põrkamine.

Kirjandus

- [1] EN 50341-1 Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV -- Part 1: General requirements - Common specifications
- [2] Sisedokument „ *Guidelines for voltage upgrading design* “, Statnett SF
- [3] Sisedokument, „ *LPE Users manual 4.0.1.0*“ , STRI AB
- [4] Sisedokument, „ *Using LPE for calculating the line performance in Statnett`s upgrading projects*“, STRI AB.
- [5] Line Performance Estimator: Program description, Lightning and Switching studies, C. Engelbrecht & J. Lundquist, STRI AB
- [6] Sisedokument, Nettutviklingsplan 2017 “ <http://www.statnett.no/Nettutvikling/Nettutviklingsplan-2017/>, Statnett SF
- [7] Sisedokument, „ *Beregning av lednings basisestimat* “, Statnet SF
- [8] Sisedokument „ *Montasjeinstruks L803 Svartisen-Rana* “, Statnett SF
- [9] Sisesokument, *Driftsforstyrrelser Statnett 2009 – 2016*. Statnett SF
- [10] EN 50182 (2001) Conductors for overhead lines – Round wire concentric lay stranded conductors
- [11] Sisetarkvara, „ *Line Performance Estimator* “, Statnet SF
- [12] FEF 2006, Forskrift om elektriske forsyningsanlegg
- [13] IEC 60071-2 Insulation co-ordination - Part 2: Application guide
- [14] Sisedokument, *Check of the internal clearances in tension towers*, Statnett SF

LISA 1. Rikket Svartisen – Rana ja Tonstad – Feda liinidel

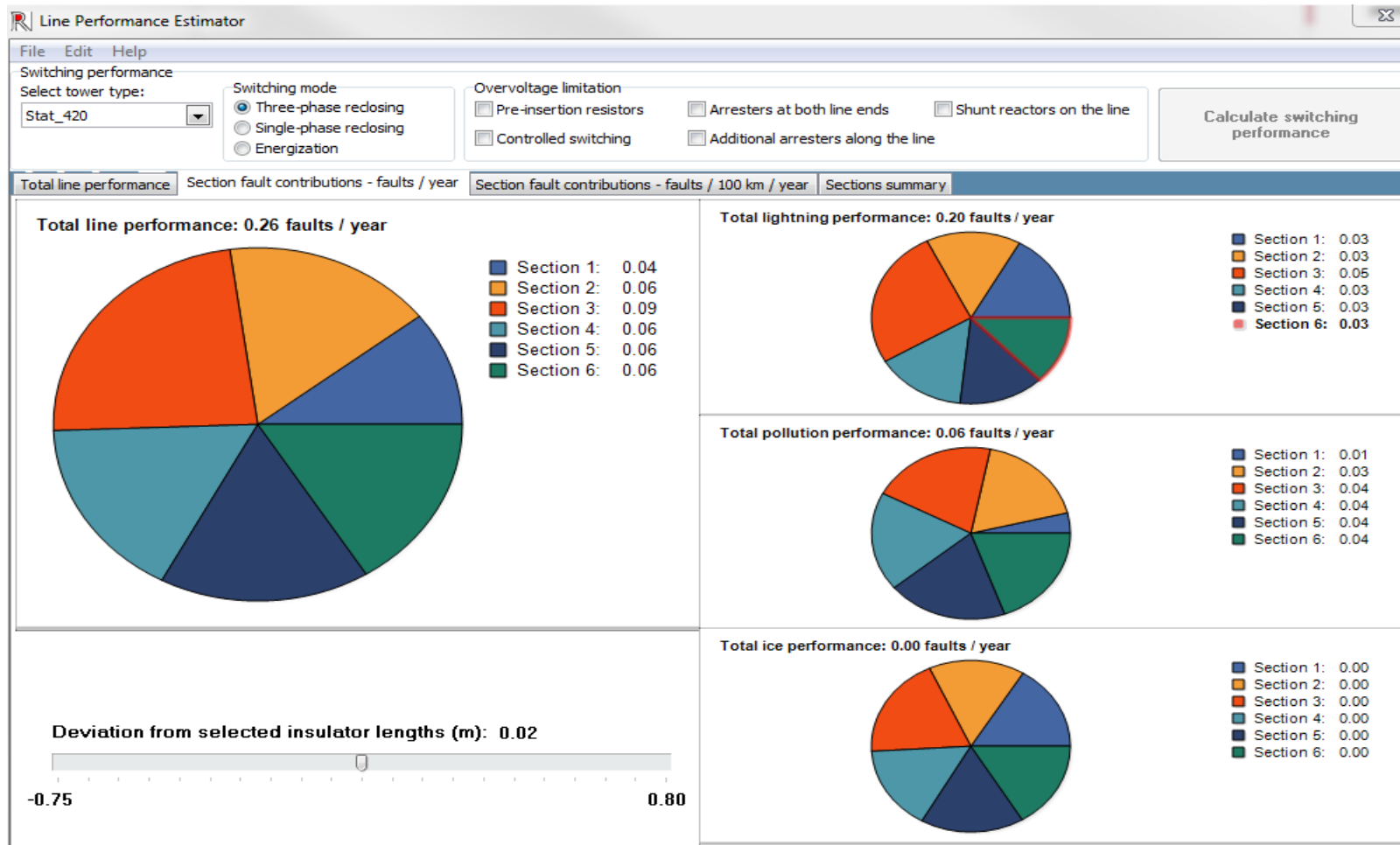
Tabel L1.1. Statnett SF poolt registreeritud Svartisen – Rana ülekanделиinil esinevate rikete arv aastatel 2009 – 2017

Antall av TYPE_RAPPORT				Kolonnetiketter										
Radetiketter	FEILSTED_FEIL	ARSAK_FEIL	ARSAKDETALJ_FEIL	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Totalsum	
Godkjent	M 420 Rana-Svartisen	omgivelser	snø/is			1							1	
			tordenvær	1		1		1					3	
	S 420 Sima-Dagali	omgivelser	vind			2		1	5	1	1		10	
			snø/is	1	1			1				7	10	
Under arbeid	M 420 Rana-Svartisen	omgivelser	ukjent				1						1	
			vind			5				1			6	
			vind										1	1
			(tom)										1	1
Totalsum				1	1	9	2	2	6	2	1	9	33	

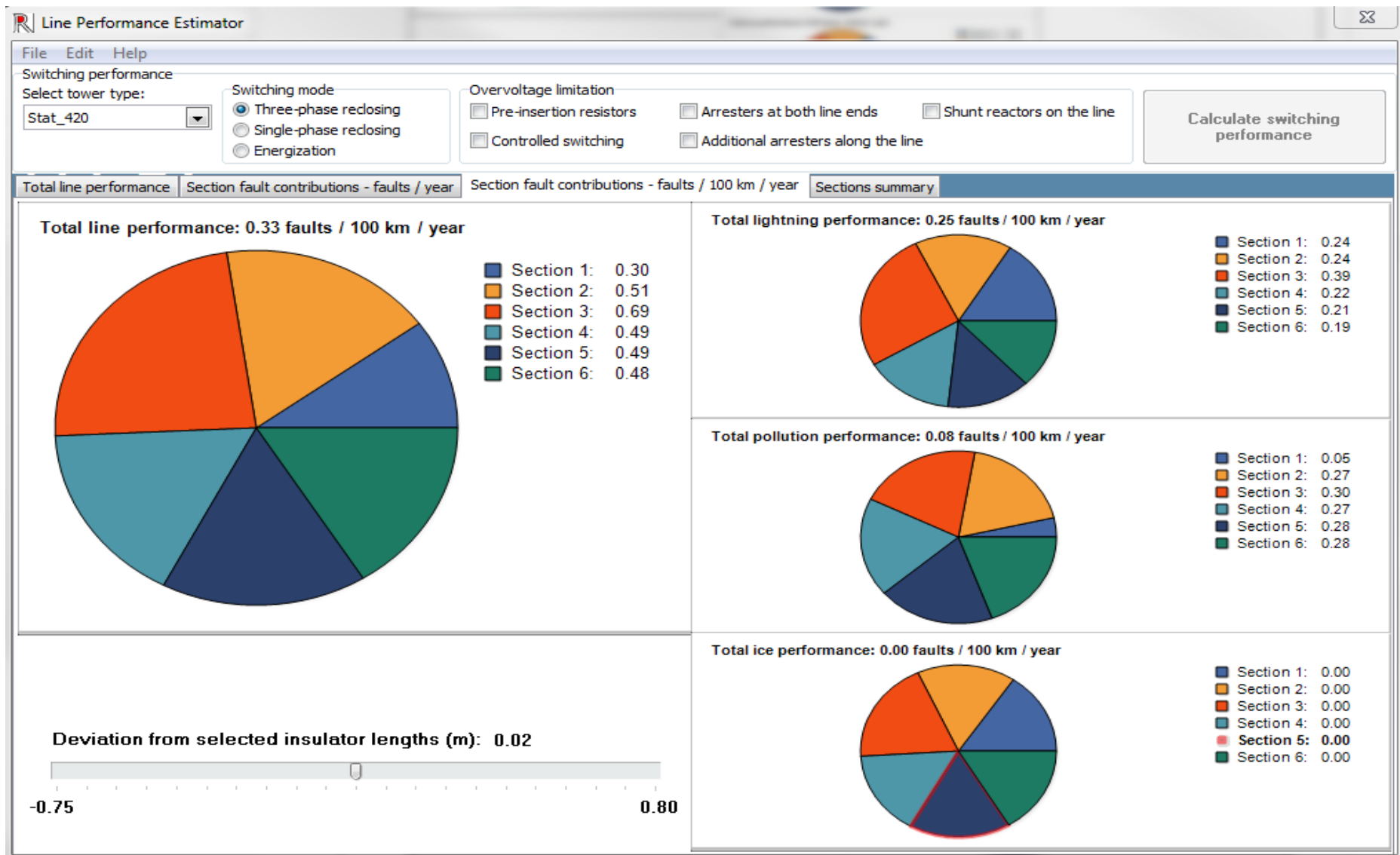
Tabel L1.2. Statnett SF poolt registreeritud Tonstad – Feda 2 esinevate rikete arv aastatel 2009 – 2017

Antall av TYPE_RAPPORT				Kolonnetiketter									
Radetiketter	FEILSTED_FEIL	ARSAK_FEIL	ARSAKDETALJ_FEIL	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Totalsum
Godkjent	M 300 Tonstad-Feda 2	omgivelser	snø/is			1							1
			tordenvær	1		1		2	1				5
			vind			1		3	2	1	2		
Totalsum				1	1	2		5	3	1	2		15

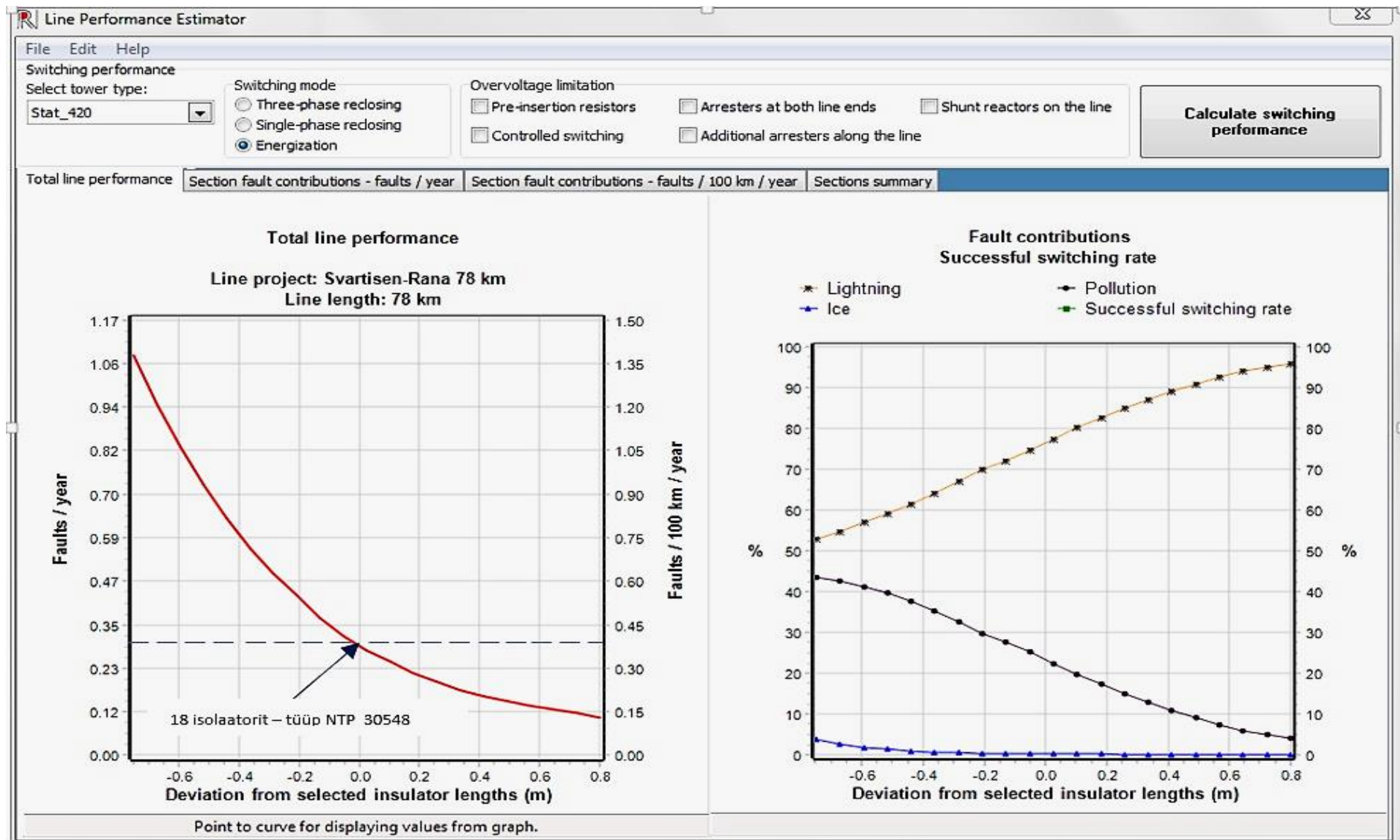
LISA 2. LPE arvutuste tulemused



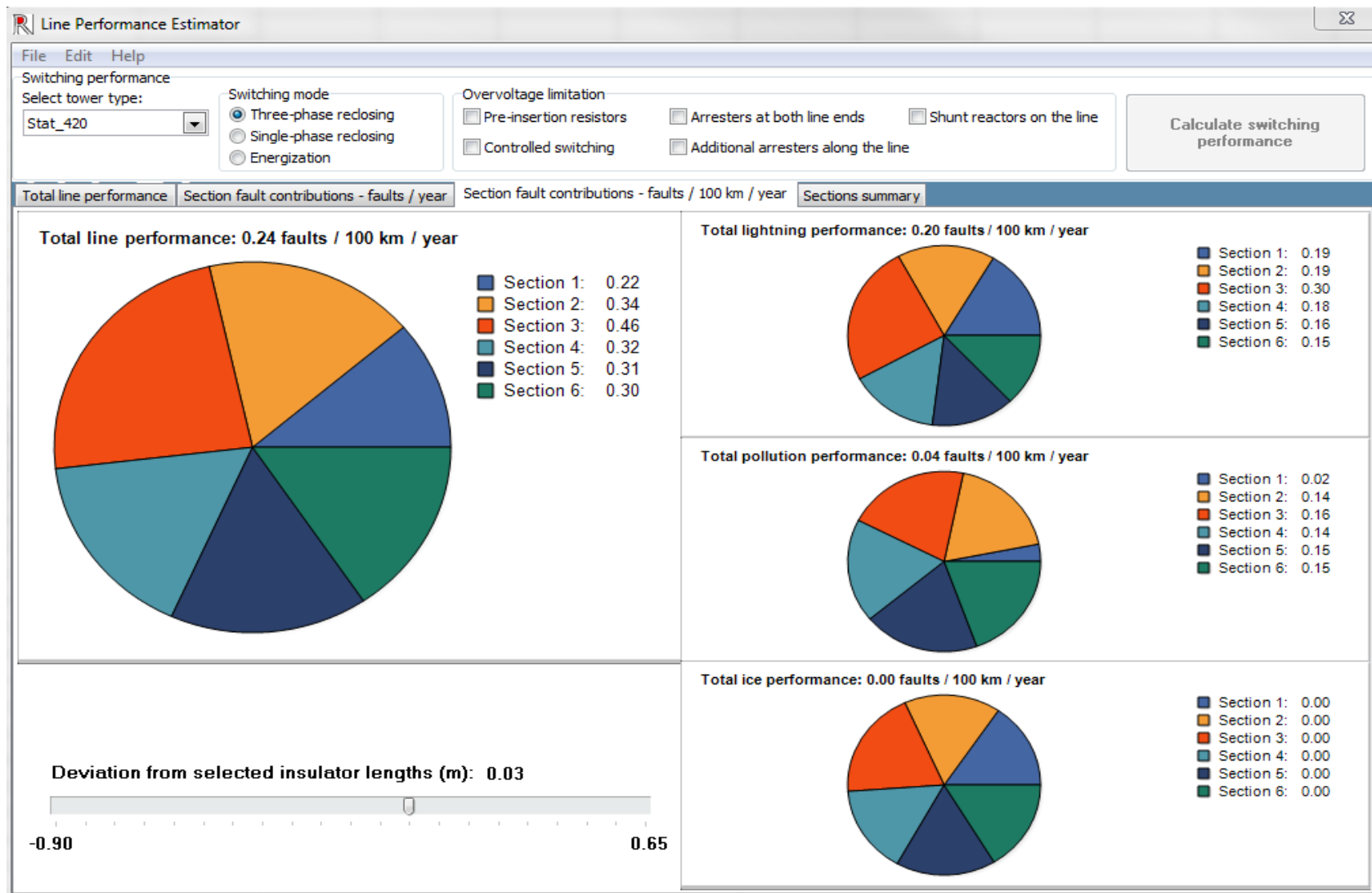
Joonis L2.1 Rikete jaotus ülekandeliinil aasta kohta.



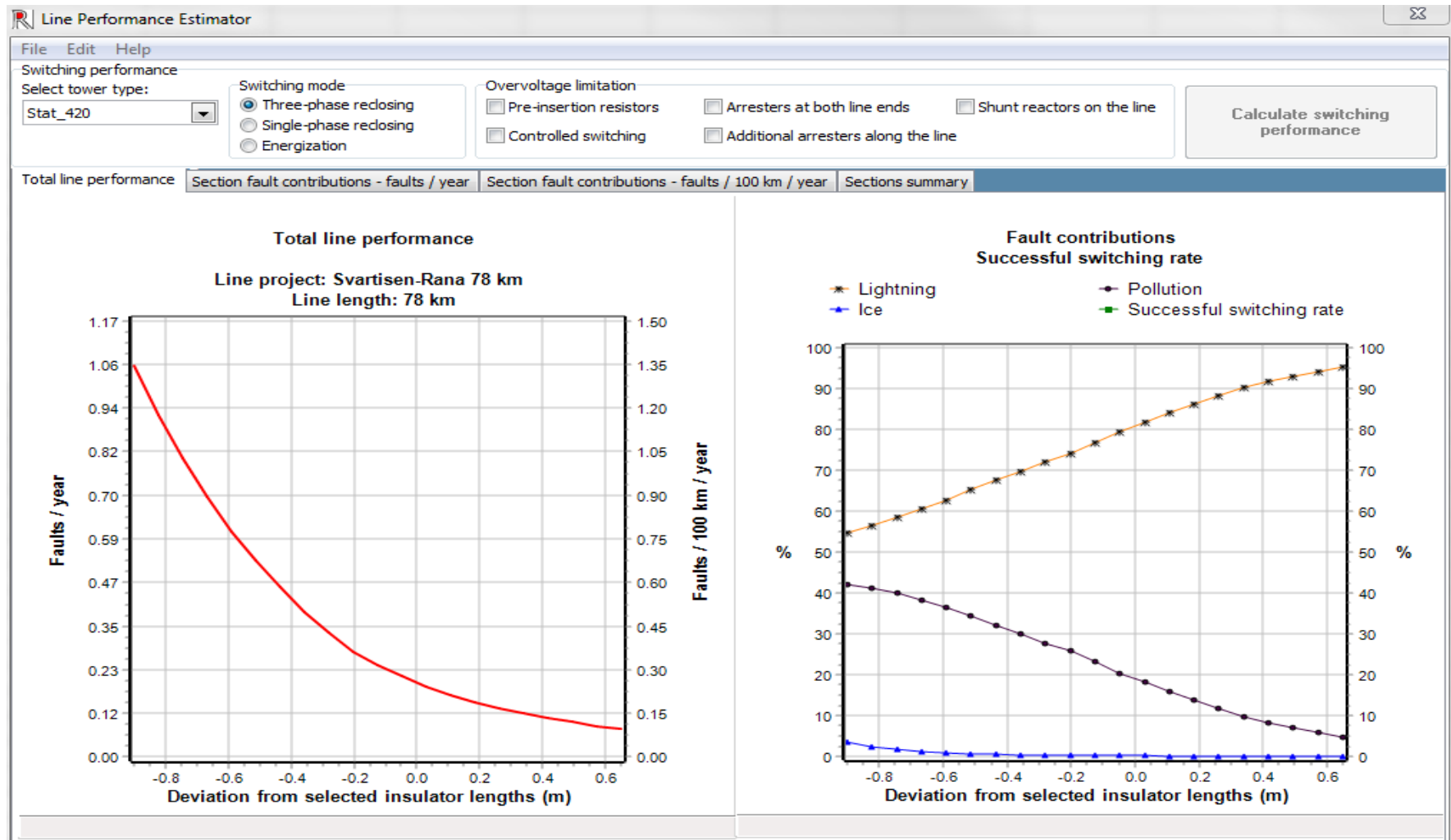
Joonis L2.2 Rikete jaotus ülekandeliini lõikudel 100 km ulatuses aasta kohta.



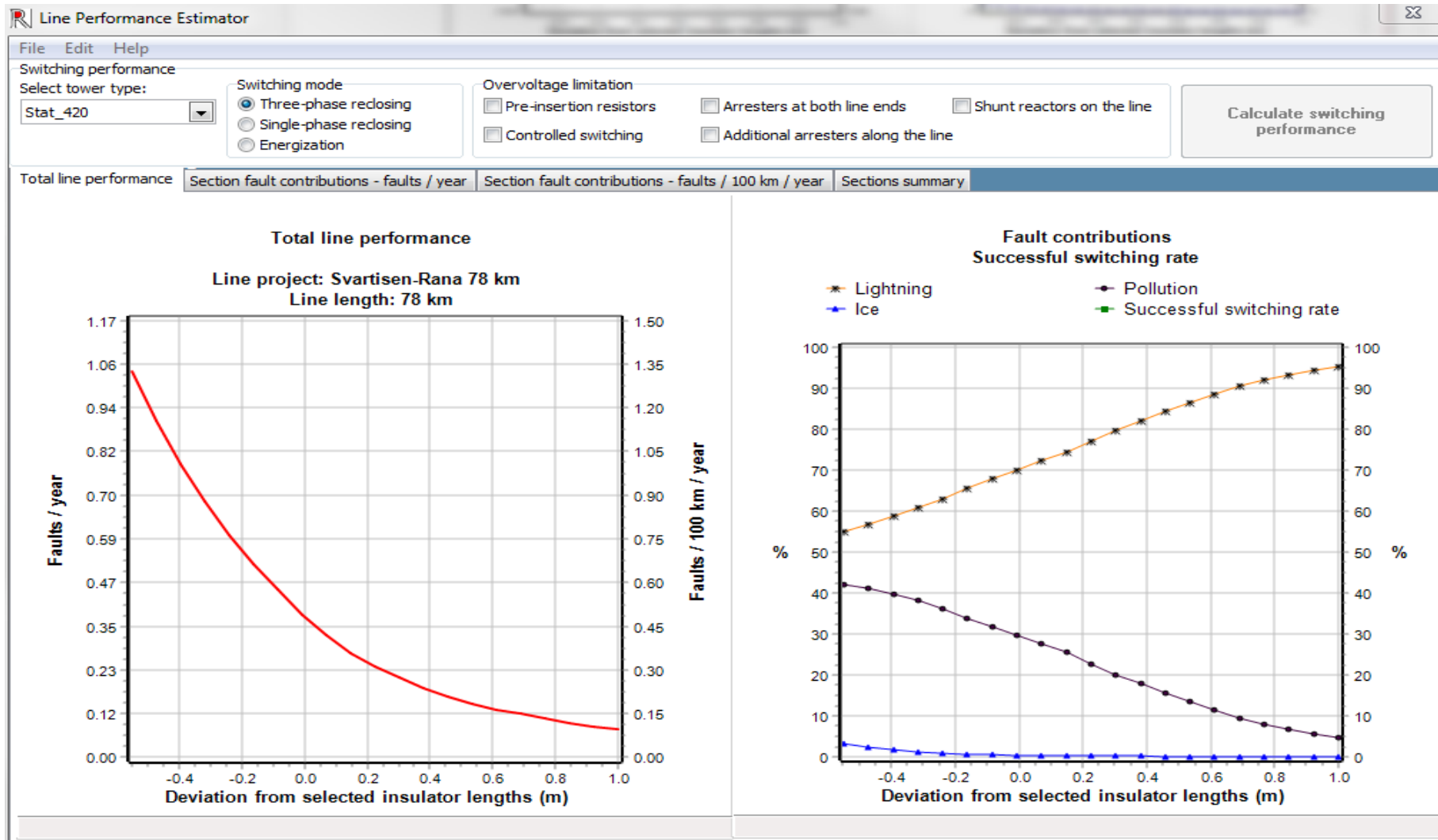
Joonis L2.3 Ülekandeliini talitlusvõime arvutus ja isolatoorketi dimensioneerimise optimeerimise kontroll.



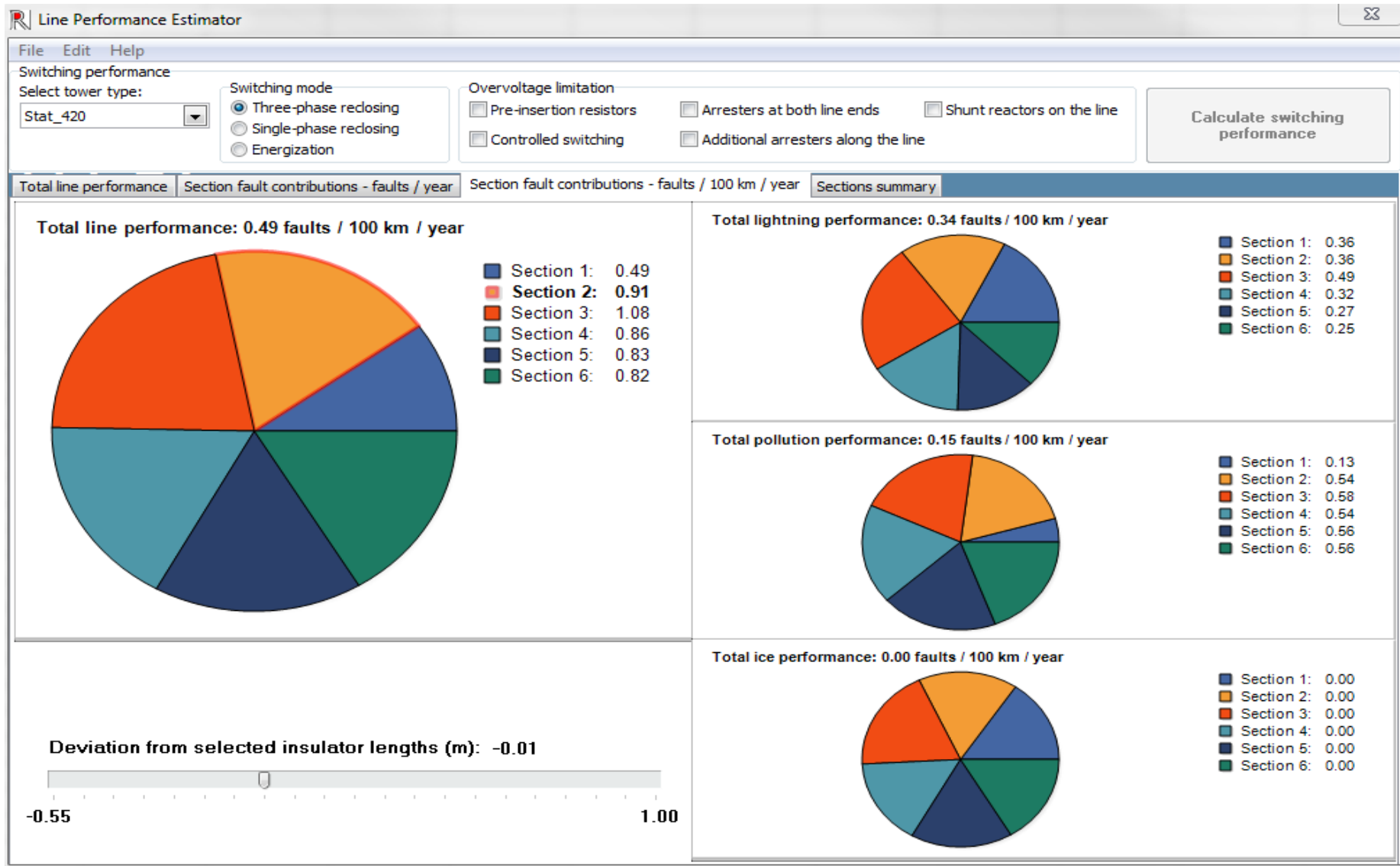
Joonis L2.4 Ütekandeliini talitlusvõime ja isolaatorketi dimensioneerimise optimeerimine.



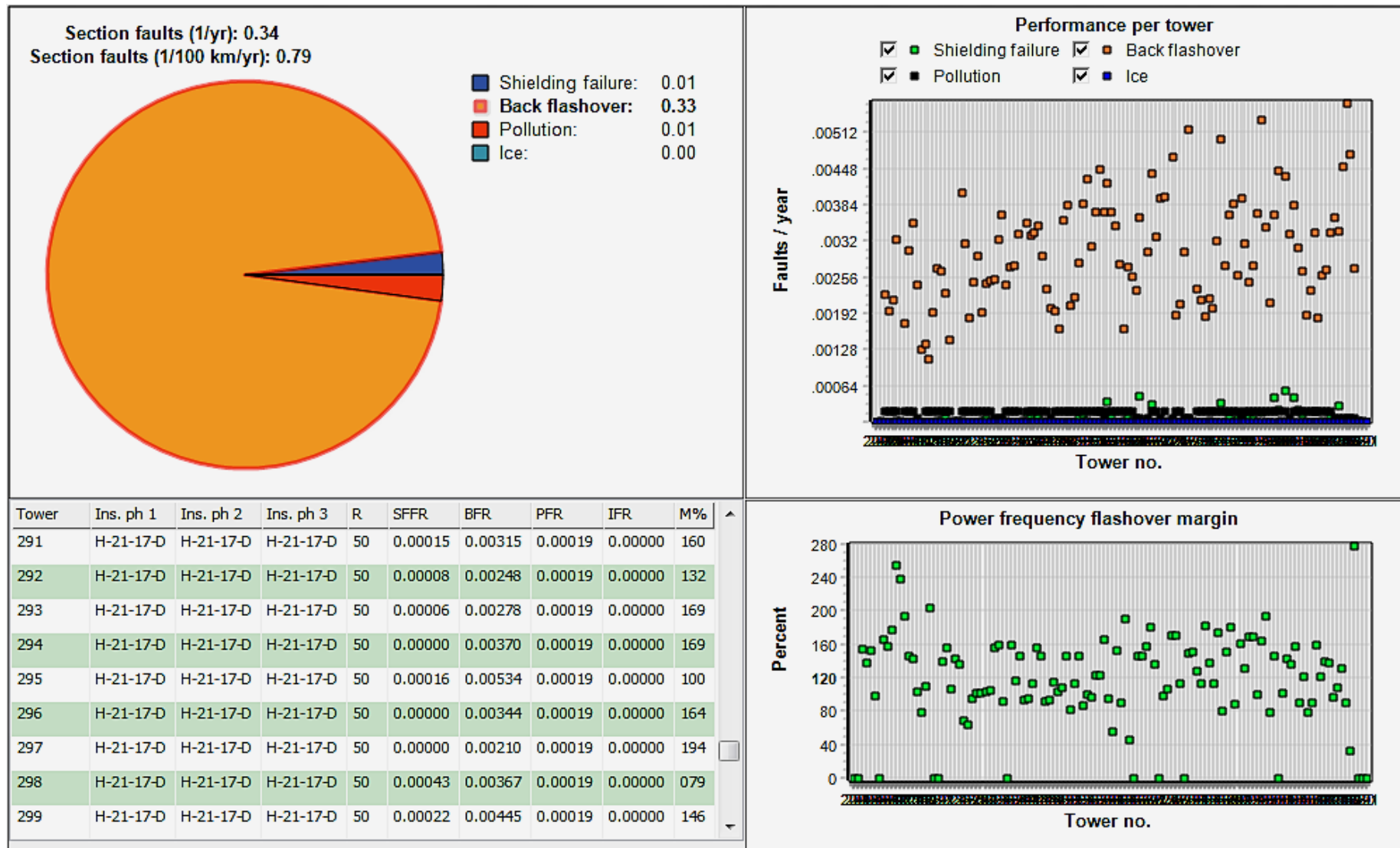
Joonis L2.5 Ütekandeliini talitlusvõime ja isolaatorketi dimensioneerimise optimeerimine.



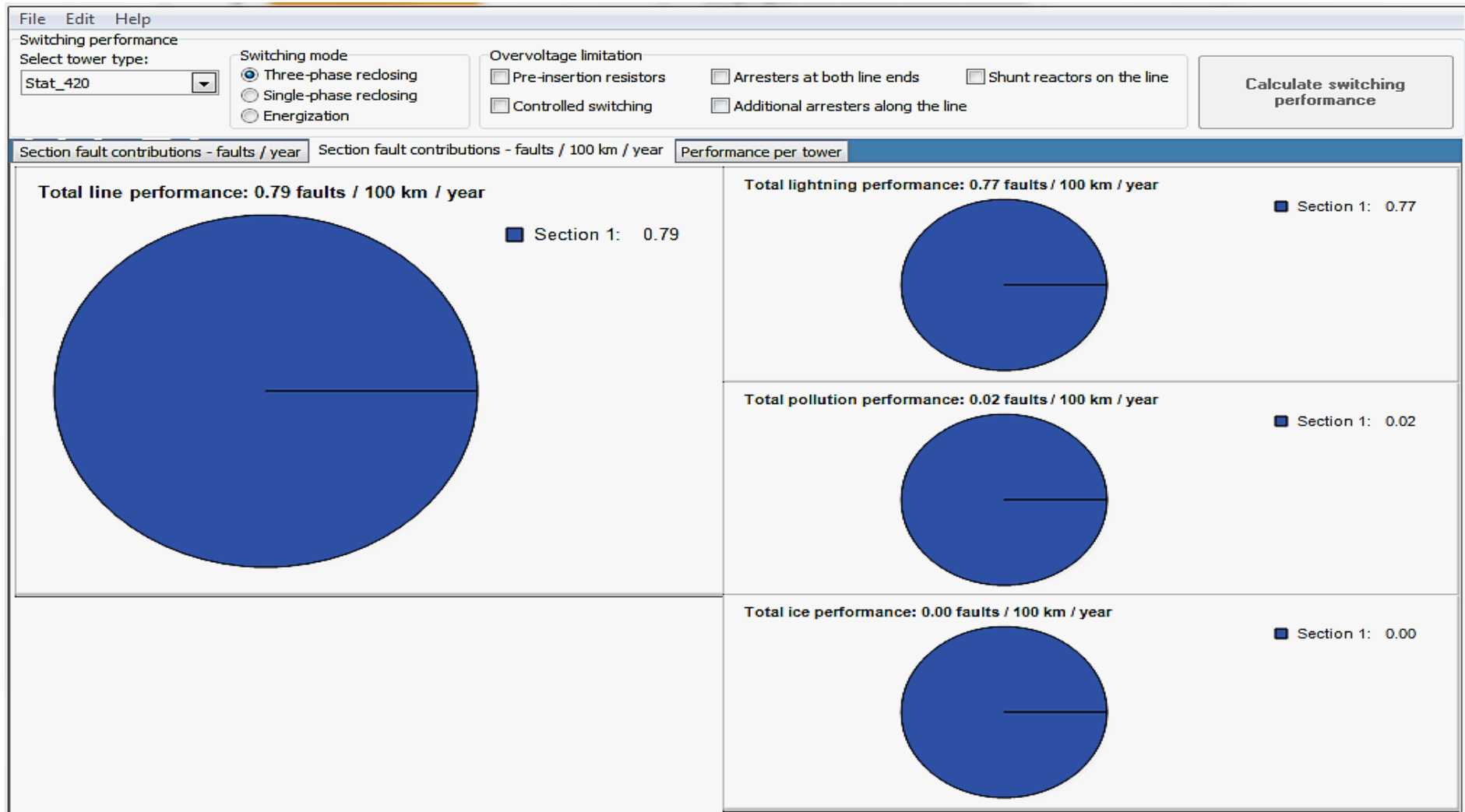
Joonis L2.6 Ülekandeliini talitlusvõime ja isolaatorketi dimensioneerimise optimeerimine.



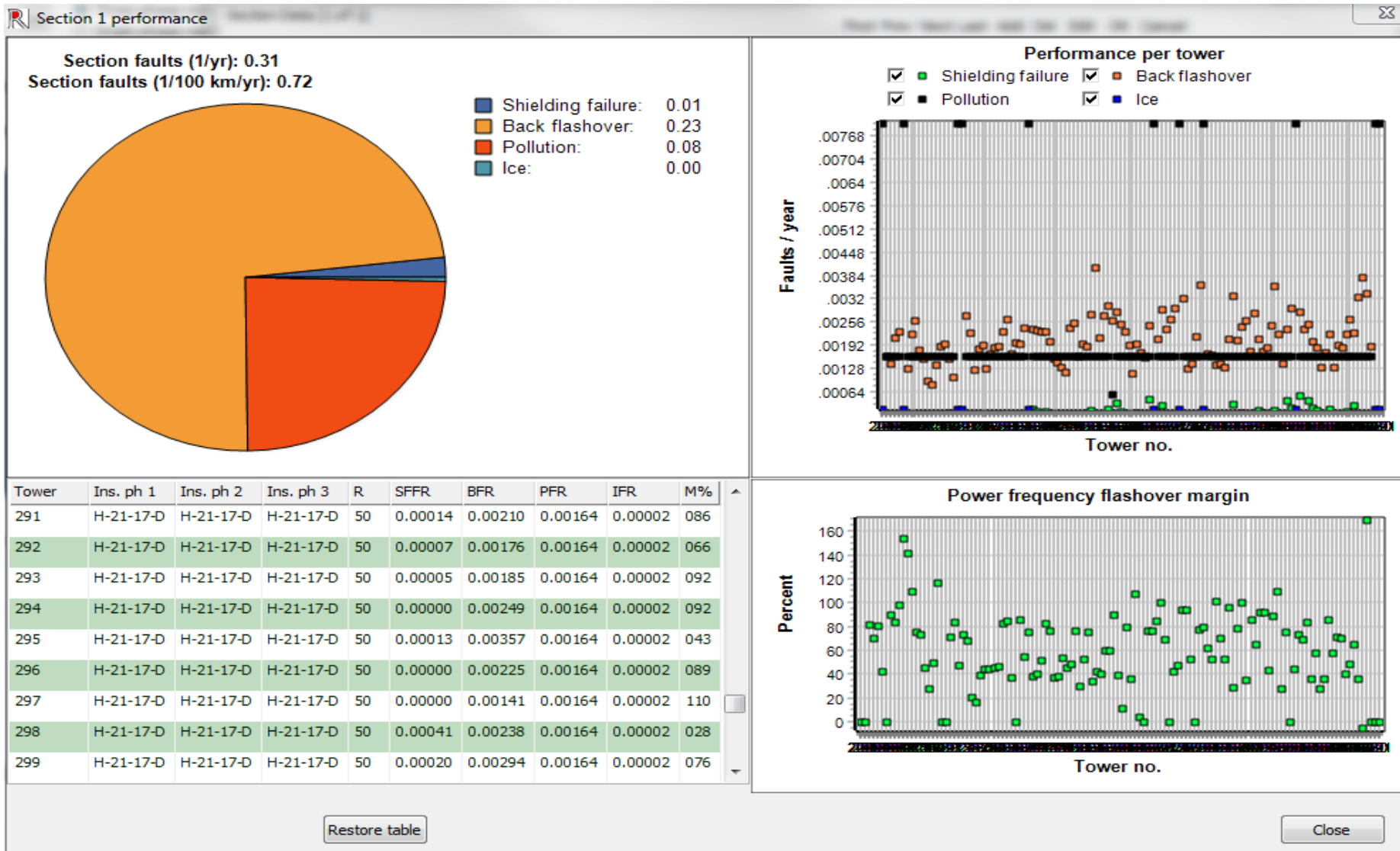
Joonis L2.7 Ülekandeliini talitlusvõime ja isolaatorketi dimensioneerimise optimeerimine.



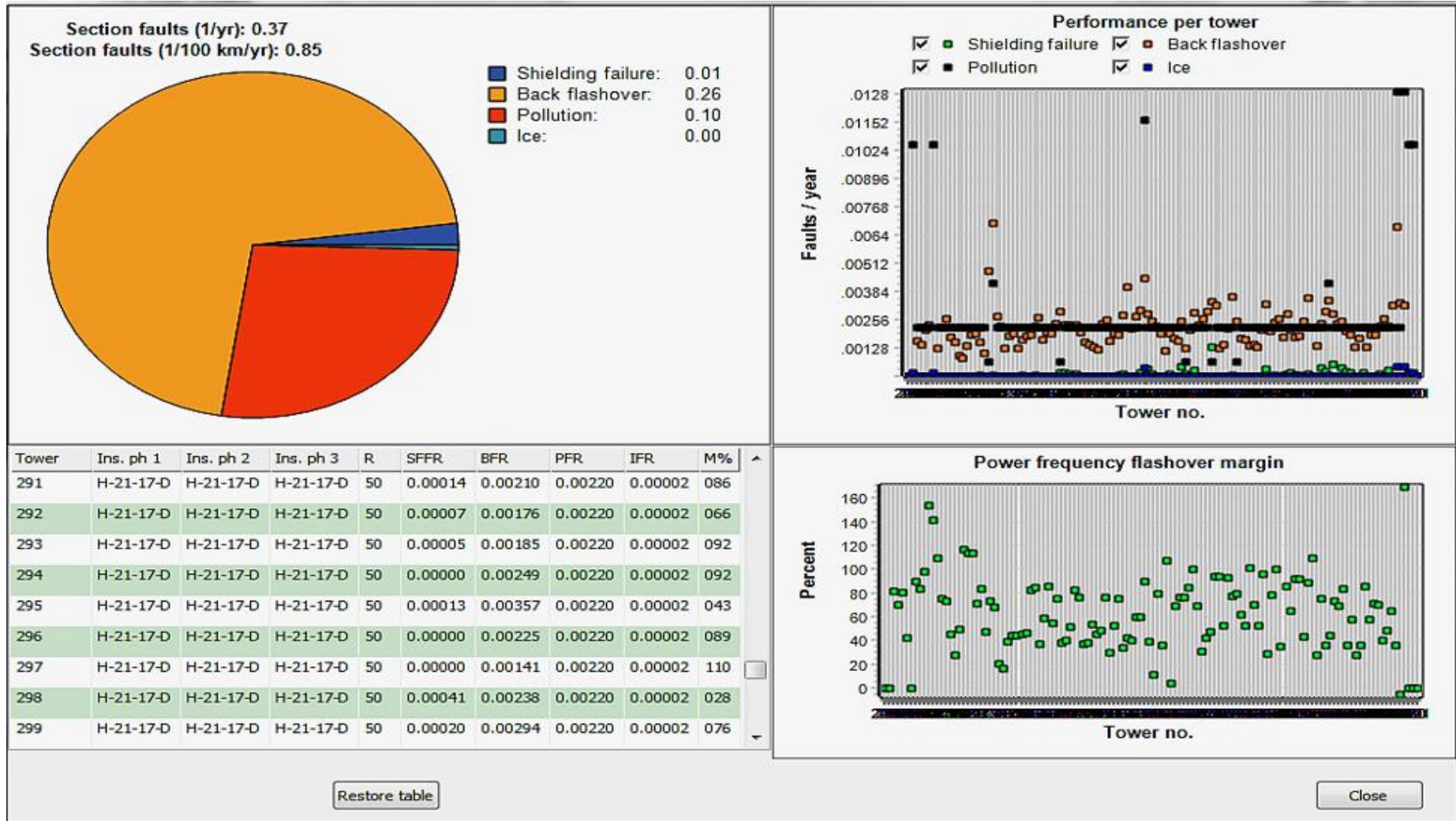
Joonis L2.8 300 kV ülekandeliini rikete määra arvutus.



Joonis L2.9 300 kV ülekandeliini rikete määra arvutus.



Joonis L2.10 420 kV ülekandeliini rikete määra arvutus, millel on uuendatud kandemastid.



Joonis L2.11 420 kV ülekandeliini minimaalse rikete määra arvutus kande-ja ankrumastidel