



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

# KAETUD ÕHULIINI JUHTMETE PAIGALDUSTABELITE KOOSTAMINE ELEKTRILEVI OÜ VÕRGUSTANDARDI TARBEKS

INSTALLATION TABLES OF COVERED OVERHEAD LINE CONDUCTORS FOR  
ELEKTRILEVI OÜ STANDARD

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Risto Rusin

Üliõpilaskood: 153287AAVM

Juhendaja: Paul Taklaja

Tallinn, 2020

## AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

“20” mai 2020

Autor: Risto Rusin

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“20” mai 2020

Juhendaja: Paul Taklaja

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

# LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

*Autor:* Risto Rusin

*Lõputöö liik:* Magistritöö

*Töö pealkiri:* Kaetud õhuliini juhtmete paigaldustabelite koostamine Elektrilevi OÜ standardi tarbeks

*Kuupäev:* 20.05.2020

72 lk

*Ülikool:* Tallinna Tehnikaülikool

*Teaduskond:* Inseneriteaduskond

*Instituut:* Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

*Töö juhendaja(d):* Paul Taklaja, vanemlektor

*Töö konsultant (konsultandid):* -

## *Sisu kirjeldus:*

Antud lõputöö eesmärk oli koostada Elektrilevi OÜ projekteerimisettevõtete projekteerijatele valmis andmetabelid kahele erinevale kaetud õhuliini faasijuhtmele, mida on võimalik projekteerijal kasutada. Tabelite eesmärk on, et kõikidel projekteerijatel oleksid samasugused lähteandmed ja ka arvutustulemused, mida on võimalik lihtsamini kontrollida.

Uurimise käigus uuriti õhuliini faasijuhtmete erinevaid tüüpe ning nende konstruktsiooni. Kasutust on leidnud enamjaolt terasalumiinium faasijuhtmed, mille voolujuhtivaks osaks on alumiinium ning mehaanilise jäikuse annab teras. Jaotusvõrgus võetakse aina enam kasutusele kaetud õhuliini juhtmed, mille füüsilised omadused on samasugused nagu paljasjuhtmel, kuid on lisatud juurde isolatsioonikate.

Täiendavalt uuriti projekteerimise alusdokumente ning erinevaid kliimaatilisi olukordi, mis mõjutavad juhtmete tõmbejõudu ning mastide kandevõimet. Peamisteks koormuskombinatsioonideks on tuule- ja jäitekoormused, täiendavalt mõjutab ka temperatuur juhtmete sisejõudusid.

*Märksõnad:* õhuliin, juhe, tuulekoormus, jäitekoormus, riipe, tõmbejõud

## ABSTRACT

<i>Author:</i> Risto Rusin	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> Installation tables of covered overhead line conductors for Elektrilevi OÜ standard	
<i>Date:</i> 20.05.2020	72 pgs
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Senior Lecturer Paul Taklaja	
<i>Consultant(s):</i> -	
<i>Abstract:</i> <p>The goal of this graduation paper was to compile for the staff of Elektrilevi OÜ design companies easy in use data spreadsheets on two covered overhead power line phase cables. The spreadsheets would ensure that all design staff members have the same initial data and calculation results for easier verification by a third party. The data spreadsheets allow locating of values of cable suspension and attraction forces in different load combinations (for instance: wind load, ice load and their interaction) for the purpose of wooden pole dimensioning and checking for external or internal air intervals. The author of the graduation paper also developed calculation formula connections for determining the cable attachment point loads, with the input data derived from the aforementioned data spreadsheets.</p>	
<i>Keywords:</i> overhead power line, conductor, wind, ice, sag, tension	

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	<b>Kaetud õhuliini juhtmete paigaldustabelite koostamine Elektrilevi OÜ võrgustandardi tarbeks</b>
Lõputöö teema inglise keeles:	<b>Installation tables of covered overhead line conductors for Elektrilevi OÜ standard</b>
Üliõpilane:	<b>Risto Rusin, 153287AAVM</b>
Eriala:	<b>Elektroenergeetika</b>
Lõputöö liik:	<b>magistritöö</b>
Lõputöö juhendaja:	<b>Paul Taklaja</b>
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	<b>29.02.2021</b>
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>20.05.2020</b>

Risto Rusin  
Üliõpilane (allkiri)

Paul Taklaja  
Juhendaja (allkiri)

Jako Kilter  
Õppekava juht (allkiri)

## 1. Teema põhjendus

Elektrilevi OÜ püsivaks eesmärgiks on vähendada võimalike rikete ja rikestest põhjustatud toitekatkestuste arvu ning kestust võrgufirma klientidele. On teada, et paljasjuhtmetega õhuliinid on erinevatele, ilmastikutingimustest põhjustatud riketele altimad kui kaetud juhtmetega õhuliinid või kaabelliinid. Keskpingeliinide koguhulgast moodustavad jätkuvalt valdava enamuse (ca 68%) paljasjuhtmetega õhuliinid. Elektrilevi OÜ on sihiks võtnud tiheasustusega aladel asendada perspektiivis paljasjuhtmetega keskpingeliinid maakaabel-liinidega ja hõreasustusega piirkondades kaetud juhtmetega õhuliinidega.

## 2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on määrata keskpingevõrgu õhuliinidel kasutatavatele kaetud juhtmetele lubatavad koormused ja ripped ning koostada paigalduseks vajalikud andmetabelid erinevatele paigaldustemperatuuridele ja visangute pikkustele Elektrilevi OÜ võrgustandardi tarbeks.

### 3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- Kaetud õhuliini juhtme olemus
- Juhtmete arvutusmetoodika
- Standardsete koormusjuhtumite kirjeldamine
- Andmetabelite koostamine

### 4. Lähteandmed

Euroopa standard	EVS-EN 50341-1:2013
Eesti siseriiklikud erinõuded	EVS-EN 50341-2-20:2018
Elektrilevi OÜ	0,4-20 kV võrgustandard - 20 kV õhuliinid

### 5. Uurimismeetodid

Esmalt uuritakse kaetud õhuliini juhtme olemust ning mehaanilisi parameetreid ja töörežiimi. Teostati põhjalik uuring juhtmete arvutusmetoodika kohta ja koostati näidisarvutus. Uuriti tuginedes standarditele tuule- ja jäitekoormuseid, mis mõjutavad kaetud õhuliini juhtmeid.

Koostati eelneva analüüsi põhjal Elektrilevi OÜ võrgustandardi tarbeks andmetabelid.

### 6. Graafiline osa

Uurimistöö tulemusel koostati järgmised tabelid:

- Faasijuhtme CCST ACSR 62-AL1/ST1A W rippe ja tõmbe arvutused
- Faasijuhtme CCST ACSR 62-AL1/ST1A W paigaldustabel
- Faasijuhtme CCST ACSR 99-AL1/ST1A W rippe ja tõmbe arvutused
- Faasijuhtme CCST ACSR 99-AL1/ST1A W paigaldustabel

## **7. Töö struktuur**

Sisukord

Sissejuhatus

Teema päevakohasus ja taust, ülesanne ning oodatavad tulemused.

Põhiosa

1. Üldosa
2. Õhuliinid
3. Õhuliinile mõjuvad koormused
4. Koormuste määramismetoodika Elektrilevi OÜ standardi tarbeks

Kokkuvõte

Kasutatud kirjandus

Lisad

## **8. Kasutatud kirjanduse allikad**

Kasutatakse peamiselt õhuliinidega seonduvaid Eesti standardeid ja erialast kirjandust.

## **9. Lõputöö konsultandid**

Puuduvad

## **10. Töö etapid ja ajakava**

Lõputöö juhendajale teiseks lugemiseks – 11.05.2020

Lõputöö valmis – 20.05.2020

# SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT .....	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	5
EESSÕNA.....	10
SISSEJUHATUS .....	11
1 Üldosa.....	12
1.1 Elektrisüsteem .....	12
1.1.1 Põhivõrk.....	13
1.1.2 Jaotusvõrk.....	14
2 Õhuliinid .....	15
2.1 Õhuliini konstruktsioon .....	15
2.1.1 Õhuliini juhtmed.....	16
2.1.2 Mastid.....	18
2.1.3 Isolatsioon ja tarvikud .....	20
3 Õhuliinile mõjuvad koormused .....	23
3.1 Projekteerimise alusdokumendid.....	23
3.1.1 Õhuliine käsitlev standard EN 50341-1 .....	23
3.1.2 Eesti siseriiklikud erinõuded EN 50341-2-20.....	25
3.1.3 Projekti erinõuded.....	26
3.2 Projekteerimise alused ja põhivalem .....	27
3.2.1 Piirseisundid .....	29
3.2.2 Projekteerimise põhivalem.....	29
3.3 Juhtme ripe ja tõmbejõud .....	30
3.4 Koormused .....	32



3.4.1 Koormuste tüübid.....	32
3.4.2 Liinile mõjuvad koormused .....	32
3.4.3 Tuulekoormus.....	33
3.4.4 Jäitekoormus .....	40
3.4.5 Temperatuurid.....	42
3.4.6 Koormuste koostoime .....	42
4 Koormuste määramismetoodika Elektrilevi OÜ standardi tarbeks.....	43
4.1 Faasijuhtmete tüübid .....	43
4.2 Lähteandmed.....	45
4.3 Tuulekoormus.....	46
4.4 Jäitekoormus .....	46
4.5 Temperatuurid.....	47
4.6 Koormusjuhtumid tugevuse analüüsimiseks.....	47
4.7 Koormusjuhtumid õhkvaheemike analüüsimiseks.....	48
4.8 Kinnituspunktides mõjuvate koormuste määramine.....	49
4.9 Koostatud ripete ja tõmbejõudude andmetabel.....	50
4.9.1 Kasutamise näide.....	51
4.10 Juhtmete paigaldustabelid .....	53
KOKKUVÕTE .....	54
SUMMARY .....	56
KASUTATUD KIRJANDUS .....	58
LISAD .....	60
Lisa 1 Faasijuhtme CCST ACSR 62-AL1/ST1A W rippe ja tõmbe arvutused .....	61
Lisa 2 Faasijuhtme CCST ACSR 62-AL1/ST1A W paigaldustabel.....	62
Lisa 3 Faasijuhtme CCST ACSR 99-AL1/ST1A W rippe ja tõmbe arvutused .....	63
Lisa 4 Faasijuhtme CCST ACSR 99-AL1/ST1A W paigaldustabel.....	64

## EESSÕNA

Lõputeema valik on valitud lähtuvalt autori enda suurest huvist õhuliinide ja nende projekteerimise vastu. Lõputöö koostaja on ise õhuliinide projekteerija alates bakalaureuseõpe lõpetamist.

Tahaksin tänada oma juhendajat Paul Taklajat ning lisaks oma tööandjat AS Connecto Eestit, et andis piisavalt vabadust lõputöö koostamiseks.

Lõputeema teemal rõõmsameelne luuletus.

*Energia edastamiseks on liinid,  
mis paistavad meile kui ripuvad niidid.  
Liinid meid saadavad linnateelt maale,  
elekter valgustab nii konkusid kui saale.  
Kaetud õhuliinijuhe pole ebamaine,  
ta ripe on väiksem kui õues on jäine.  
Võttes talt ära nii teki kui salli,  
paljaks õhuliinijuhtmeks nii ta saigi.*

Autori kontaktandmed on:

Risto Rusin

E-post: [risto.rusin@gmail.com](mailto:risto.rusin@gmail.com)

## SISSEJUHATUS

Lõputöö eesmärgiks on väljatöötada Elektrilevi OÜ-le projekteerimistöid teostavatele projekteerijatele valmis andmetabelid ning arvutusvalemid kaetud õhuliini juhtmetele, mida on võimalik projekteerimisel hõlpsasti kasutada. Käesolevad andmetabelid ja arvutusvalemid avalikustatakse Elektrilevi OÜ võrgustandardis.

Käesolev lõputöö koosneb nii teoreetilisest kui ka praktilisest osast, kus kasutatakse õhuliinide projekteerimise spetsiaaltarkvara.

Lõputöö teema on aktuaalne, sest jaotusvõrgu õhuliinidele on juba hakatud paigaldama uusi kaetud õhuliini juhtmeid ning lähitulevikus on oodata vastavate paigaldusmahtude olulist suurenemist. Kaetud õhuliini juhtmete paigaldamine jaotusvõrgus on suurendanud oluliselt võrgu talitluskindlust, st vähendanud võrgus toitekatkestuste määra. Talitluskindluse suurenemine on toimunud eelkõige seetõttu, et kaetud faasijuhtmed on ilmastikukindlamad ehk tuule- ja ka jäitekoormused tekitavad vähem kahjusid ning toitekatkestusi. Täiendava talitluskindluse kaetud õhuliinijuhtmele annabki paljasjuhtmele lisatud isolatsioon, mis kaitseb juhtmeid ka juhul, kui õhuliinidele peaksid langema puud. Jaotusvõrgu kaitsevööndi väiksuse tõttu on juhtmete täiendav kaitsemine oluline, kuna suurte tuulte korral on tihti paratamatuseks, et mõni puu langeb faasijuhtmetele.

Faasijuhtmete analüüsimisel on oluline vaadata mitut aspekti, juhtmete rippe suurenemist erinevate kliimaatiliste olukordade puhul ja lisaks on tähtis kontrollida juhtmetelt ülekanduvat jõudu mastidele, mis määrab ära masti või puuposti kandevõime. Töö põhiosas vaadeldakse detailselt, kuidas on võimalik määrata juhtmetest tulenevaid horisontaal- ja vertikaalsuunalisi koormuseid juhtmete kinnituspunktides. Selleks on töö autor väljaarendanud arvutusvalemi ning sellega kaasaskäivad andmetabelite kogumikud.

Lõputöö põhiosa koosneb neljast peatükist. Lõputöö esimeses peatükis vaadeldakse elektrisüsteemi olemust ja täiendavalt tutvustatakse Eesti põhivõrgu ja jaotusvõrgu suurust. Teises lõputöö peatükis tutvustatakse õhuliine ja nende erinevaid komponente. Eelkõige vaadeldakse õhuliinide juhtmete konstruktsiooni. Järgnevalt uuritakse mastide tähtsust ühe õhuliini komponendina ning nende mitmeid erineva kasutusotstarbega tüüpe ja käsitletakse isolaatsiooni valikut ning tarvikute eesmarke õhuliinil. Lõputöö kolmandas peatükis keskendutakse õhuliinile mõjuvatele koormustele ja neid käsitletavate alusdokumentidele. Neljandas peatükis koostatakse andmetabelid nii ripete kui ka tõmbejõudude kohta ning paigaldustabelid faasijuhtmete monteerimise otstarbeks.

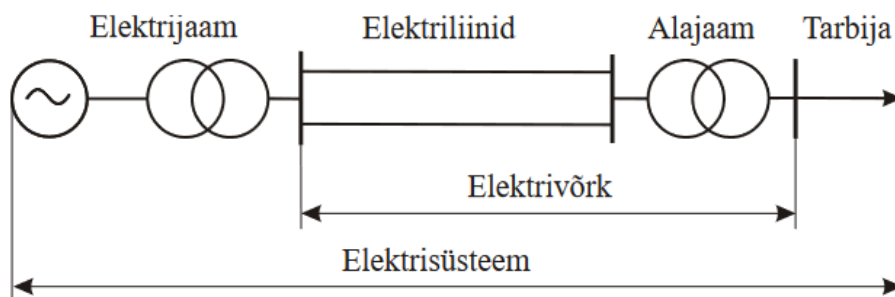
# 1 Üldosa

Antud peatükis tutvustatakse elektrisüsteemi olemust ja samuti Eesti elektrisüsteemi. Kirjeldatakse Eesti põhivõrku ja jaotusvõrku ning vaadeldakse Eestis kasutusolevaid pingeklasse.

## 1.1 Elektrisüsteem

Ühendust, kuhu kuuluvad elektrijaamad, elektrivõrgud ja elektritarbijad ehk elektrisüsteemi koormus nimetatakse ühise nimetajaga nagu elektrisüsteem. Kõik elektrisüsteemi osad toimivad ühtse tervikuna ja nende vahel on tihe side. Näiteks kui Eestis on generaator ja siit asukohast umbes 5000 km kaugusel Irkutskis Venemaal on samuti generaator, siis need peavad pörlema kooskõlastatult. [1]

Kogu elektrisüsteemi iseloomustab hästi alljärgnev graafik (vt Joonis 1.1), kus on ära toodud kõik elektrisüsteemi eelnimetatud osad.



Joonis 1.1 Elektrisüsteem [1]

Elektrisüsteemid talitlevad enamjaolt kui suured ühendsüsteemid ehk see tähendab seda, et mitme riigi elektrisüsteemid on omavahel kokku ühendatud. Suure ühendsüsteemil on mitmeid eeliseid nagu näiteks:

- suurem talituskindlus,
- agregaatide nimivõimsuse suurenemine,
- elektrituru toimimine. [1]

Elektrisüsteemi olulise ja suure osa moodustab elektrivõrk ehk elektriliinid, mis ühendavad elektrijaamu ja tarbijaid. Nende osakaal on märkimisväärne, mille tõttu ka vaadeldakse seda osa detailsemalt järgmistes peatükkides.

Nimipingeks nimetatakse pinget, millele elektriseade või elektrivõrk on ette nähtud ja millega teda määratletakse või iseloomustatakse. [2]

Järgides standardit IEC 60071, siis pinged klassifitseeritakse järgmiselt:

- Alla 1 kV – madalpinge,
- 1 kV ja 45 kV vahel – keskpinge,
- 45 kV ja 300 kV vahel – kõrgepinge,
- 300 kV ja 750 kV vahel – ülikõrgepinge,
- Üle 800 kV – ultrakõrgepinge. [2]

### 1.1.1 Põhivõrk

Põhivõrk koosneb kõrgepingeliinidest, mis ühendab omavahel kokku suuremad elektrijaamad, jaotusvõrgud ning samuti suurtarbijad, kes saavad toidet otse põhivõrgust.

Eesti põhivõrk on põhilises osas rajatud aastate 1955 ja 1985 vahemikul osana Nõukogude Liidu (praegune IPS/UPS) ühtsest energiasüsteemist. Peamiselt selleks, et oleks tagatud Leningradi (praegune Peterburi) ja Riia elektrivarustus Narvas põlevkivist toodetud elektriga. Eestis on peamisteks tarbimiskeskusteks Tallinn, Tartu ja Pärnu, mis on omakorda tinginud ülekandevõrgu laienemise ja tugevdamise nendesse piirkondadesse. [3]

Eestis kasutatavad nimipinged põhivõrgus on esitatud tabelis (vt Tabel 1.1).

Tabel 1.1 Põhivõrgu nimipinged [4]

Elektrivõrgu liik	Nimipinge, kV	Suurim võrgupinge, kV
Kõrgepingevõrgud	110	123
	220	245
Ülikõrgepingevõrgud	330	363

Eestis koosneb Põhivõrk järgmistest liinidest, mille pikkused on vastavalt:

- 330 kV – 1700 km,
- 220 kV – 158 km,
- 110 kV – 3424 km. [3]

Eestis rekonstrueeritakse järkjärgult vanu 330 kV elektriliine, mille planeeritud talitlusiga hakkab läbi saama või osadel puhkudel on juba läbi saanud, kuid liini olulisuse tõttu on see jätkuvalt talitluses.

### 1.1.2 Jaotusvõrk

Jaotusvõrk on oluline osa kogu elektrisüsteemist. Jaotusvõrgu eesmärgiks on jaotada elektrienergia põhivõrgu liitumispunktidest kuni tarbijateni. Antud võrgu omapäraks on, et see on enamasti rajatud radiaalvõrguna ehk see tähendab madalamat talitluskindlust tarbijatele. Iga rike või tõrge võib tähendada olukorda, kus mõni tarbija on selle tõttu elektrienergiata.

Eesti jaotusvõrgus on ligikaudu 65 000 kilomeetrit liine ehk see moodustab valdava enamuse (ca 92%) kogu elektrivõrgust. Eestis kasutatavad jaotusvõrgu pingeklassid on esitatud alljärgnevas tabelis (vt Tabel 1.2).

Tabel 1.2 Jaotusvõrgu nimipinged [4]

Elektrivõrgu liik	Nimipinge, kV	Suurim lubatav kestevpinge, kV
Madalpingevõrgud	0,4	0,44
Keskpingevõrgud	6	7,2
	10	12,0
	15	17,5
	35	40,5

Tarbijate tasutud võrgutasudest finantseeritakse jaotusvõrgu hoolduskulusid ja investeeringuid elektrivõrkudesse. Võrgutasu peavad maksma kõik elektritarbijad ja seda olenemata tarbitavast energia kogusest. Jaotusvõrgud on tegelikult loomulikud monopolid ja nende tegevust reguleerib ning kontrollib konkurentsiamet. [5]

Võrreldes jaotusvõrgu talitluskindlust põhivõrgu omaga, on see üldjuhul oluliselt madalam. See on tingitud sellest, et jaotusvõrgud on tavaliselt radiaalvõrgud ehk elektritarbija on ühendatud ühe elektriliiniga ja lisaks on jaotusvõrgu liinide ümber väiksemad kaitsetsoonid, mis tekitab rasketest ilmastikuoludest rikkeid. [5]

## 2 Õhuliinid

Seoses energiatarbimise kasvuga ja tarbimiskiirkondade muutumisega on vajalik ehitada nii uusi kui ka rekonstrueerida olemasolevaid õhuliine. Õhuliini abiga on võimalik tänapäeva kõige universaalsem energia ehk elektrienergia ülekanda punktist A punkti B.

Kõige esimene õhuliin rajati juba 1891 aastal Saksamaal. Antud õhuliini pingeklassiks oli 15 kV. Seda aastat võib nimetada algusaastaks, kui hakkas järjest üha rohkem uusi kolmefaasilisi vahelduv-voolusüsteeme tekkima. Kuna vahemaad on ka suurenenud, mille vahel on vajalik energiat ülekanda, siis on ka pingeklassid liinidel suurenenud. [4]

Eesti esimene 15 kV õhuliin, mis ühendas Kunda tsemenditehase elektrijaama (200 kW) ja Rakvere linna, rajati 1918 aastal. [4]

### 2.1 Õhuliini konstruktsioon

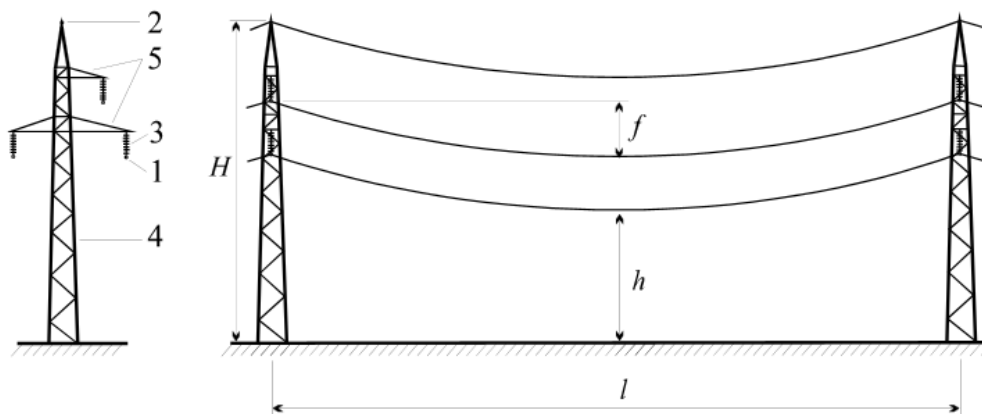
Projekteerimisel ja ka planeerimisel tuleb õhuliinide rajamisel arvestada erinevate koormustega, nagu näiteks tuulest ja jäitest põhjustatud mehaanilised koormused ning lisaks temperatuuri muutustest põhjustatud koormused. Arvestama peab ka tuulekoormuse dünaamilisusega, mis võib tekitada õhuliini juhtmete hüplemist ja samuti vibratsiooni, mille tõttu võivad juhtmed väsimuse tõttu puruneda. [4]

Alljärgnevalt on esitatud üldskeem (vt Joonis 2.1), kus on esitatud kõik õhuliini põhilised elemendid. Esimese positsioonina on esitatud õhuliini juhtmed, teisena õhuliinile paigaldatud piksekaitsetross, kolmandana faasijuhtmete isolaatorkett, neljandana masti tüvi ning viiendana traaversid, mille külge on kinnitatud isolaatorketid.

Antud joonisel on lisaks toodud õhuliini põhilised parameetrid. Nendeks on:

- $l$  – visangu pikkus, kahe masti vaheline kaugus,
- $f$  – juhtmete ripe, mida mõõdetakse juhtmete kinnituspunktist,
- $h$  – juhtmete gabariit maapinnani.

Gabariit on oluline õhuliinide planeerimisel, sest sellega tagatakse ümbruskonna ja inimeste ohutus.



Joonis 2.1 Õhuliini komponendid [4]

Õhuliinidel pingega 110 kV on keskmiseks visangu pikkuseks ca 210 m, 220 kV pingega õhuliinidel on selleks ca 300 m ning 330 kV õhuliinide korral on keskmiseks visangu pikkuseks ca 400 m. [4]

### 2.1.1 Õhuliini juhtmed

Juhtmete osakaal moodustab kogu õhuliini materjali maksumusest ca 20% - 30%. Seega on liinide projekteerimisel oluline teha head valikud nii juhtmete kui ka piksekaitsetrosside osas. Kõrgemate pingete korral on vajalik kasutada mitut juhet ühes faasis (nn lõhisfaas), samuti laiemaid kaitsevööndeid ja ka suuremaid liinimasti gabariite.

Parima juhtme valik sõltub mitmest parameetrist, nt elektrienergia ülekande kriteeriumitest, elektrilistest kadudest, maastikutüübist, mastide tüüpidest ja mitmest muust tegurist.

Kõrgematel pingetel kasutatakse õhuliini juhtmetena paljasjuhtmeid ehk millel puudub isolatsioonikate. Juhtme valik peab vastama eelmainitud kõikidele kriteeriumitele ehk juhe peaks olema hea juhtivusega, mehaaniliselt piisava vastupanuvõimega ja see peab toime tulema ka erinevate keemiliste reaktsioonidega. Kuna kõikidele kriteeriumitele vastamisega on keeruline ühe materjaliga juhet toota, siis enamasti on voolujuhtivaks osaks juhtmes alumiiniumtraadid, mehaanilist koormust kannavad üldjuhul terastraadid ning keskkonna talumise suurendamiseks kaetakse terastraadid kaitsva tsingikihiga ja vajadusel lisatakse juhtmesse ka tavotmäät. [4]

Õhuliini juhtmetena kasutatakse alumiinium juhtmeid või ka samuti terasalumiinium faasijuhtmeid, mis on tugevdatud terasega. Konstruktiooniliselt on juhtmed koostatud mitmest traadist, mis on omakorda kokku keeratud kihiti, mis annab juhtmetele piisava painduvuse ja samuti talitlus-kindluse. Selliseid juhtmed nimetatakse ka köisjuhtmeteks.



Põhivõrkudes on kasutusel ainult alumiiniumist ja terasest kombineeritud juhtmed ehk terasalumiiniumjuhtmed. Antud juhe on galvaniseeritud terastraatidest südamikuga punutud mitmest alumiiniumtraatide kihist koosnev kombineeritud faasijuhe. [4]

Juhtmeid, mida maailmas on kasutusel, on väga palju erinevaid. Need on erinevate ristlõigete ja ka tugevuse näitajatega.

Suurematel pingetel on üldjuhul tarvilik kasutada rohkem kui ühte juhet faasis. Seda seetõttu, et suurte pingetel kasvab elektriväljatugevus juhtmete pinnal sedavõrd suureks, et tekivad koroonakaod. Nende kadude vähendamiseks on võimalik kasutada mitut juhet faasis ehk lõhistatud faasi, millega on võimalik suurendada juhtme ekvivalentset läbimõõtu ja kumerusraadiust, mille tulemusel vähenevad väljatugevused juhtmete pinnal ja seeläbi ka koroonakaod.

Eesti kõrgepingevõrgus on enimlevinud järgmised faasijuhtmed:

- 330 kV – 3x Condor 402/52 ACSR,
- 110 kV – 1x Hawk 242/39 ACSR või 2x Hawk 242/39 ACSR,
- 20 kV – 1x CCST 62 AL1/ST1A W või 1x CCST 99 AL1/ST1A W.

Alljärgnevalt on esitatud joonis, milline näev välja terasalumiiniumjuhe ehk ACSR (vt Joonis 2.2).



Joonis 2.2 Terasalumiinium faasijuhe [6]

Jaotusvõrgus on kasutusel samase konstruktsiooniga terasalumiinium faasijuhtmed. Kaetud õhuliinijuhtmete korral lisatakse (paljas)juhtmele täiendavaks väliseks kihiks isolatsioonkate. Sellistele – kaetud õhuliini – juhtmetele mõjuvad suuremad tuule- ja jäitekoormused ning ka juhtme jahtumise omadused on halvemad, muudelt füüsikalistelt parameetritelt on need aga samased paljasjuhtmetele.

## 2.1.2 Mastid

Mast või post on õhuliini üks tähtsamaid komponente juhtmete kõrval. Mastid on vajalikud selleks, et kanda faasijuhtmeid õhus ja seda standardi kohaste õhkvahemikega maapinnast või muudest ristuvatest objektidest. Samuti peavad need olema piisava talituskindlusega, mis suudavad vastu võtta juhtmetest tulenevaid koormuseid ja lisaks ka muid koormuseid nagu näiteks tuulekoormuse mastile endale. Mastid koosnevad tavaliselt järgmistest elementidest:

- masti tüvi,
- püstikust piksekaitsetrossile,
- traaversid. [4]

Materjalid, millest mastid on koostatud, võivad olla väga erinevad. Maste valmistatakse raudbetoonist, terasest või ka puidust.

Lisaks erinevad isolaatorkettide kinnitused mastidel. Isolaatorkette on võimalik kinnitada mastidele, kas kandekettidena või ankrukettidena. Sellest tulenevad erinevad ka mastide tüübid.

Mastid on võimalik jaotada järmistesse kategooriatesse:

- Kandemast

Kandemasti eesmärk on kande faasijuhtmeid sirgel joonel. Normaalolukorras ei kandu kandemastile faasijuhtmete tõmbejõud ja seetõttu saab need projekteerida suhteliselt kerged. Kandemastide hulk õhuliinil on kõige suurem võrreldes kõikide teiste masti tüüpidega. [7]

- Nurga-kandemast

Nurga-kandemast on sarnane kandemastiga, mis kannab faasijuhtmeid, kuid nendes mastides muutub liini suunamuutus. Sellest tulenevalt on kandeketid antud mastis viltu tulenevalt mõjuvast horisontaalsest koormusest. Tavaliselt nurga-kandemaste kasutatakse kuni 20° liini suunamuutuseni. [7]

- Ankrumast

Võrreldes kandemastiga peab ankrumast kandma ka kogu faasijuhtme tõmbejõudu ehk antud mastile on juhtmed kinnitatud tõmbekettide abil. Ankrumast on mõeldud kasutamiseks, kus liini suunamuutus on  $0^\circ$ . [7]

- Nurga-ankrumast

Sarnaselt nurga-kandemastile peab antud masti kasutama, kui liini suunamuutus on suurem kui  $20^\circ$  ning käesolevale mastile on samuti isolaatorkettide tüübiks tõmbeketid. Tõmbekettide abil kantakse juhtmete tõmbejõud üle masti konstruktsioonile. [7]

- Lõpumast

Lõpumast on oma olemuselt nagu ankrumast, aga antud mast on mõeldud kandma ühepoolset faasijuhtmete resulteeruvat tõmbejõudu. Selliseid maste kasutatakse näiteks alajaama ees, kus õhuliin lõppeb ja edasine visang alajaama portaali on tühise koormusega võrreldes eelneva visanguga. [7]

- Spetsiaalmast

Spetsiaalmastidena kasutatakse vahel maste, kui on vajalik teostada näites faasijuhtmete transpostisiooni. Lisaks kasutatakse spetsiaalmaste veekogude ületamisel, kus on vajalik tagada suuremad õhkvahemikud. Alljärgnevalt on toodud üks näide spetsiaalmastist, 330 kV õhuliini hargnemismastist (vt Joonis 2.3). [7]



Joonis 2.3 330 kV hargnemismast

### 2.1.3 Isolatsioon ja tarvikud

Faasijuhtmete ja piksekaitsetrossi kinnitamiseks mastile kasutatakse spetsiaalseid tarvikud. Nendeks on kandekett, mis on mõeldud juhtmete kandmiseks ja ei ole mõeldud vastu võtma faasijuhtmete täieliku tõmbejõudu, ja tõmbekett, mis on mõeldud taluma kogu faasijuhtmete tõmbejõudu.

Isolaatorketti tuleb paigaldada nõuete kohane isolatsioon, mis on vastavuses pingeklassile ja samuti regiooni saastatusele. Üldine reegel isolatsiooni määramiseks on esitatud alljärgnevalt:

$$Isolaatorite arv = \frac{U_s \cdot USCD}{\sqrt{3} \cdot L_i} \quad (3.1)$$

kus  $U_s$  on suurim võrgupinge, kV,

$L_i$  on isolaatori lekkerada, mm,

USCD on ühiklekkerada, mm/kV.

Vastavalt standardile EVS-EN 50341-2-20 on Eestis kasutusel järgmised saastetasemed:

- Väga madal – liin asub kaugemal kui 10 km merest või inimtekkelisest saasteallikast. Ühiklekkerada võrgu suurima lubatava kestva pinge rakendumisel isolaatorile on 22,0 mm/kV.
- Madal – liin asub 5 kuni 10 km kaugusel merest või inimtekkelisest saasteallikast. Ühiklekkerada võrgu suurima lubatava kestva pinge rakendumisel isolaatorile on 27,8 mm/kV.
- Keskmine – Liin asub 1 kuni 5 km kaugusel merest või inimtekkelisest saasteallikast. Ühiklekkerada võrgu suurima lubatava kestva pinge rakendumisel isolaatorile on 34,7 mm/kV.
- Kõrge – liin asub saastava tööstuse või elava liiklusega maantee läheduses. Ühiklekkerada võrgu suurima lubatava kestva pinge rakendumisel isolaatorile on 43,3 mm/kV.
- Väga kõrge – liin asub tugevalt saastava tööstuse lähedal. Ühiklekkerada võrgu suurima lubatava kestva pinge rakendumisel isolaatorile on 53,7 mm/kV. [8]

Õhuliini tarvikute valikul peab lähtuma järgmist:

- Liinitarvikud peavad vastama elektrilistele parameetritele nagu näiteks lühisvoolu termiline tugevus ehk tarvikud peavad lühise korral suutma taluda neile rakenduvaid lühisvoole ja lühisvooludest põhjustatud temperatuure.
- Tarvikud peavad olema ilmastikukindlad ja tõrgeteta talitlema kogu liini planeeritud eluea vältel, milleks on Eestis tavaliselt ca 50 aastat. Selleks peab tarvikutel olema tagatud korrosioonikindlus.
- Lisaks peab liinitarvikutel olema tagatud piisav mehaaniline tugevus ja vastavalt standarditele peab samuti olema tagatud osavarutegur materjali tugevusele.

Õhuliini tarvikud peavad täitma järgmisi ülesandeid: olema mehaanilised kinnitusvahendid, tagama elektrilised ühendused juhtmete vahel ja samuti kaitsma faasijuhtmeid ning isolaatoreid. Vastavalt erinevatele standarditele on õhuliini tarvikud projekteeritud vastavalt selliselt, et neid on võimalik panna kokku mitmest erinevast detailist.

Vastavalt tarvikute ülesandele peavad tarvikud olema lõpuühendamisteks, kandma juhtmeid või ka ühendama faasijuhtmeid – selliselt on tarvikud ühendatud otse faasijuhtmele. Näiteks on kandeklemm, lõpuklemm, paralleelpoltklemmid või faasijuhtmete vibratsioonisummutid ühendatud vahetult juhtmega. Eelnimetatud detailid koosnevad enamasti mitmest erinevast detailist, mis ühendatakse kokku omavahel poltide abiga.

Tarvikud, millega isolaatorkett ühendatakse masti konstruktsiooni külge on samuti õhuliini tarvikute kategooriasse kuuluvad vajalikud detailid. Tuleb mainida, et isolaatorid, nt klaas- või komposiitisolaatorid, ei kuulu tarvikute kategooriasse. Ehk kõik detailid, mis on masti konstruktsiooni kinnitusest kuni kande- või lõpuklemmini on õhuliini armatuur, nagu näiteks U-polt, erinevad kolgid, elektrivälja ühtlustusrõngad ja paljud muud tarvikud.

Kõikidel õhuliini tarvikutel peab olema tagatud mehaaniline tugevus, mis sõltub enamjaolt juhtmete tüübist, nende arvust lõhisfaasis ja jõust. Samuti peab tagatud olema tarvikute termiline taluvus, et erinevate lühisvoolude korral need n-ö ülesse ei sulaks. Üldjuhul tuleb arvestada alajaamades esinevate maksimaalsete lühisvooludega, mille kestuseks on 1 sekund.

Ka välimus on oluline, kuna halva välimuse või konstruktsiooniga detailidel võivad suurenedada koroonakaod. Koroonakadude vähendamiseks või välistamiseks on vajalik kõik kasutatavate detailide konstruktsioonid laboratoorselt üle kontrollida.

Piksekaitsetrossi kinnitamiseks kasutatakse põhimõtteliselt samu tarvikuid kui faasijuhtmete korral, kuid isolaatoreid antud kinnitustes ei kasutata. Piksekaitsetrossidele on ette nähtud ka mõnevõrra vähemnõudlikud tehnilised tingimused, nii mehaanilised kui ka elektrilised.

### 3 Õhuliinile mõjuvad koormused

Antud peatükis vaadeldakse õhuliinidele mõjuvaid koormuseid ja nende analüüsimist. Põhifookus on suunatud jaotusvõrgu õhuliinidele. Täiendavalt on käsitletud antud peatükis kasutatavaid alusdokumente ning Eesti siseriiklike erinõudeid.

#### 3.1 Projekteerimise alusdokumendid

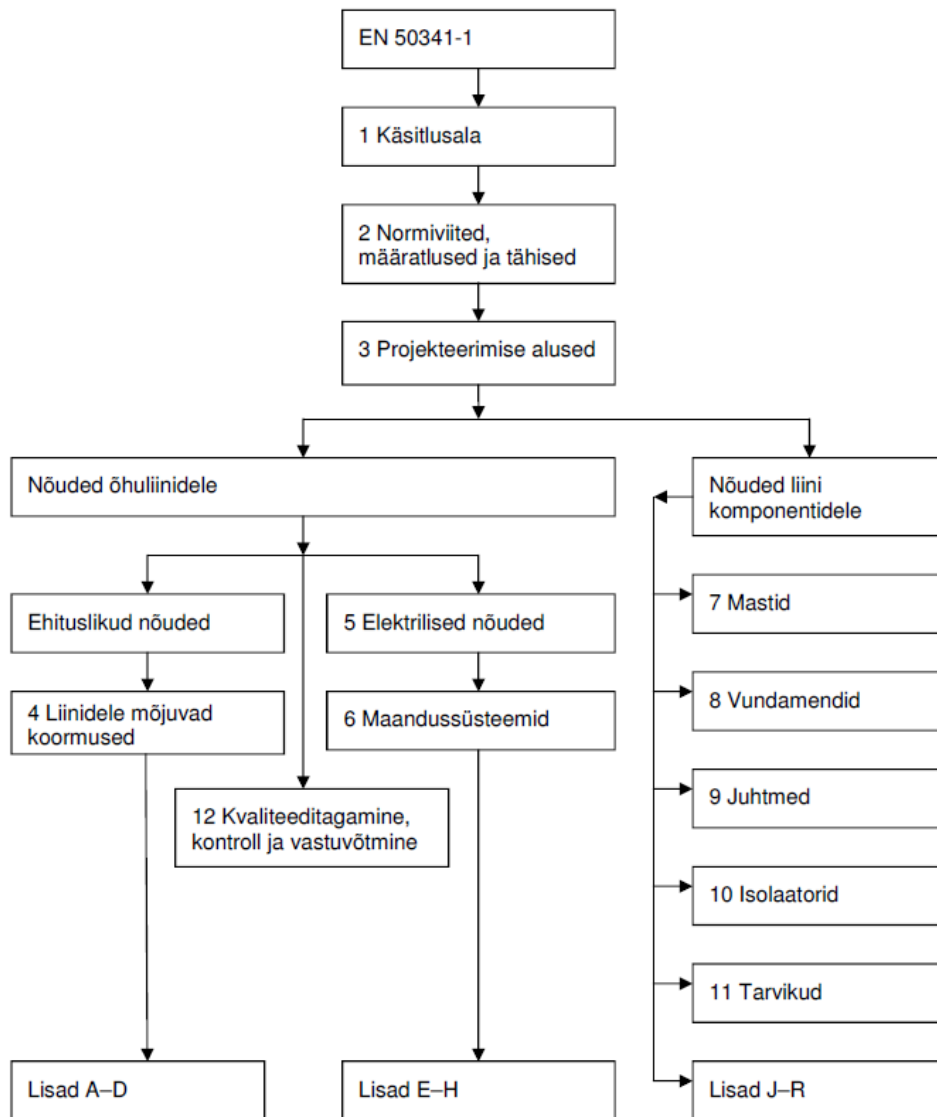
##### 3.1.1 Õhuline käsitlev standard EN 50341-1

Antud standard hõlmab endas nii elektriõhuliinide ehitamist kui ka projekteerimist. See standard käsitleb ainult üle 1 kV ja nimisagedusega alla 100 Hz õhuline. Seda standardit kasutatakse enamasti uute õhuliinide projekteerimiseks. Olemasolevate õhuliinide korral kasutatakse seda standardit juhul kui vastavas riigis on tehtud tarvilikud täiendused siseriiklikes erinõuetes.

Standardit EN 50341-1 võib rakendada järgmistele liinidele:

- paljasjuhtmega õhuliinidele nimivahelduvpingega üle 1 kV ja nimisagedusega alla 100 Hz,
- kaetud juhtmetega õhuliinidele ja samuti õhukaabelliinidele nimivahelduvpingega üle 1 kV kuni 45 kV ning nimisagedusega alla 100 Hz,
- optilistele piksekaitsetrossidele ehk OPGW ja optilisele faasijuhtmele OPCON,
- antud standard aga ei rakendu nimipingega üle 45 kV kaetud juhtmetega õhuliinide projekteerimisele ja ka ehitamisele. Seetõttu, et sise- ja välisõhkvahemikud võivad olla väiksemad selle standardiga kehtestatust. [9]

Käesolevas standardis esitatakse Euroopa ühised eeskirjad õhuliinide projekteerimiseks. Antud standard koosneb järgmistest osadest, mis on toodud joonisel (vt Joonis 3.1).



Joonis 3.1 Standardi struktuur [9]

Kolmandas peatükis määratletakse ära sellele standardile vastavad projekteerimise alused ehk õhuliinide ehitusliku, geotehnilise kui ka mehaanilise projekteerimise alused ja üldised põhimõtted. Antud peatükki peab kindlasti käsitlema koos eurokoodeksitega, milleks on vastavalt 1, 2, 3, 5, 7 ja 8 eurokoodeks. Ning selle standardi nõuded on ülimuslikud nimetatud eurokoodeksite vastavates jaotistes toodu suhtes. [9]

Joonisel esitatud alapeatükkides 4 kuni 6 määratletakse üldised nõuded, mis peavad olema täidetud õhuliinide ehitusliku ja elektrilise osa projekteerimisel. [9]

Peatükid 7 kuni 11 käsitlevad liini projekti olulistest parameetritest tulenevaid ehituslikke ja elektrilisi nõudeid õhuliini komponentidele. [9]



### 3.1.2 Eesti siseriiklikud erinõuded EN 50341-2-20

Käesolev standard kujutab endast Euroopa standardi EN 50341-1 juurde kuuluvaid Eesti siseriiklikke erinõudeid ehk lühendina SEN. Siseriiklikud erinõuded määratakse ära igas Euroopa riigis, kus on kasutuses Euroopa standard EN 50341-1. Teadaolevalt ei ole näiteks meie lõunanaabrite juures, Lätis ja Leedus, kasutuses Euroopa standardit ja need riigid lähtuvad jätkuvalt nõukogudeaegsetest nõuetest.

Antud standardis määratletakse ära siseriiklikud erinõuded, mis peegeldavad kohalikke olusid või ka praktikat, mida ei ole võimalik muuta isegi pika aja jooksul. Kohalikud tingimused on nagu näiteks:

- temperatuurid,
- tuulekiirused,
- jäätetihedused,
- pinnase eritakistus.

Samuti täpsustatakse vajalikke õhkvaheemike, talitluskindlust, osavarutegureid jms.

Siseriiklikes erinõuetes on üheks olulisemaks õhuliinidele esitatavaks nõudeks töökindluse nivoo valimine. Eestis rakendatakse kolme töökindluse nivood alljärgneva tabeli (vt Tabel 3.1) kohaselt.

Tabel 3.1 Töökindluse nivood [8]

Töökindluse nivoo	Nimipinge	Liini tüüp
1	$U_n < 110 \text{ kV}$	Tavalised liinid
	$U_n = 110 \text{ kV}$	Vähetähtsad liinid
2	$U_n = 110 \text{ kV}$	Tavalised liinid
3	$U_n \geq 110 \text{ kV}$	Suure tähtsusega liinid

Liinide tüüp loetakse üldjuhul alati tavaliseks, kui ei ole eraldi tehtud täpsustust näiteks projekti erinõuetes.

### 3.1.3 Projekti erinõuded

Projekti erinõuded on dokument, mis sisaldab mõne konkreetse rajatise või liini komponendi materjalidele, dimensioneerimisele, valmistamisele ja püstitamisele esitatud nõudeid. Need nõuded võivad täiendada eelmistes peatükkides mainitud standardite nõudeid, kuid projekti erinõuded ei tohi leevendada selle tehnilisi nõudeid ega ka asendada selles standardis kindlaks määratud miinimumnõudeid.

Eestis on nii põhivõrgu ettevõttel Elering AS kui ka jaotusvõrgu ettevõttel Elektrilevi OÜ-l koostatud enda täiendavad tehnilised nõuded. Need dokumendid rakenduvad kõikidele uutele õhuliinidele, mida need ettevõtted planeerivad või rajavad. Alljärgnevalt on esitatud nende dokumentide loetelu:

- Põhivõrk (ettevõtte Elering AS)
  - 701 Projekteerimine
  - 702 Ehitamine
  - 703 Materjalid
- Jaotusvõrk (Elektrilevi OÜ)
  - P339 0,4 -20 kV võrgustandard - 20 kV õhuliinid

Käesoleva töös keskendutakse peamiselt jaotusvõrgu võrgustandardile ja samuti selle koostamisele.

## 3.2 Projekteerimise alused ja põhivalem

Õhuliinid peavad olema projekteeritud ja ka ehitatud selliselt, et need täidaks järgmisi nõudeid:

Õhuliin peab täitma oma otstarvet piisava ökonoomsusega ja töökindlusega – antud nõue tuleneb liini töökindluse vajadusest,

Nagu eelmises peatükis kirjeldatud on liini töökindlus ja selle nivoo oluline. Õhuliinidele rakendatakse kolme töökindlus nivood, mis iga üks vastab mingile kindlale ilmastikutingimuste kordusperioodile T (vt Tabel 3.2).

Tabel 3.2 Töökindluse nivood [9]

<b>Töökindluse nivoo</b>	<b>Ilmastikutingimuste teoreetiline kordusperiood T (aastat)</b>
1	50
2	150
3	500

Õhuliin peab minimaalselt vastama esimesele töökindluse nivoole, mida nimetatakse ka baasnivooks. Kuna töökindluse tegelikku väärtust on keeruline määrata, siis kõrgemaid töökindluse nivooid vaadeldakse kui suhtelisi baasnivoo suhtes.

Väiksemaid töökindluse nivooid võib rakendada ainult ajutistele liinidele, mis ehitatakse maksimaalselt kuni 1 aastaks. Töökindluse vähendamine on tingitud sellest, et näiteks Eestis ajavahemikul aprillist kuni oktoobrini puudub jäide ja seega ei ole vaja jäitekoormust arvestada ajutise liini projekteerimisel. Ajutistele liinidele võib rakendada järgmisi kordusperioode (vt Tabel 3.3).

Tabel 3.3 Ajutiste õhuliinide kordusperioodid [9]

<b>Kestus</b>	<b>Ilmastikutingimuste teoreetiline kordusperiood T (aastat)</b>
kuni 3 päeva	2
kuni 3 kuud (kui üle 3 päeva)	5
kuni 1 aasta (kuid üle 3 kuu)	10

- Kuna madal- ja keskpinge õhuliinid on suhteliselt madalad, siis nendele mõjuvad koormused muutuvad liini kõrguse ja maapinna ebatasasuste tõttu, kuid baasnivood ei tohi võtta siiski alla 1.
- õhuliinil ei tohi mõne selle komponendi vigastumine laieneda tõsiseks ahelavariiks – antud nõue tuleneb liini turvalisuse vajadusest,
- Turvalisuse nõuded määravad ära selle, kui peaks juhtuma mõni ettenägematu sündmus või kui mõni materjal puruneb, siis see purunemine peab piirnema ainult antud liini osaga või selle lähiümbrusega.
- Kui turvalisust on vaja suurendada, siis on näiteks võimalik paigaldada liinile tihemini ankrumaste, mis piiraksid ahelavarii võimalikku ulatust.
- õhuliin peab olema selle ehituse kui ka käidu kestel inimestele ohutu, tekitada ei tohi vigastusi või surmasid inimestele – antud nõue tuleneb liini ohutuse vajadusest.

Õhuliinide projekteerimisel arvestatakse avariikoormustega, mis on mõeldud kontrollimatult laienevate ahelavariide vältimiseks. [9]

### 3.2.1 Piirseisundid

Konstruksiooni või mõne elemendi piirseisundiks nimetatakse seisundit, mille ületamisel ei vasta konstruktsioon enam nõuetele. Projekteerimisel on oluline jälgida, et ükski element ei ületaks selle piirseisundit. Piirseisundid jagunevad omakorda veel kaheks:

- 1) Kandepiirseisund – tegemist on konstruktsiooni purunemisega või üleliigse deformatsiooniga. Purunemine tähendab väljanõtkumist, ülemäärane deformatsioon või ümberkukkumine, mis võib ohustada inimesi. [9]
- 2) Kasutuspiirseisund – tegemist on olukorraga, kus konstruktsioonil ei ole tagatud kasutuskriteeriumid. Kasutuspiirseisund puudutab elektrilisi isoleerõhkvahemikke, juhtmete ja seadmete mehaanilist funktsioneerimist. Näiteks vibratsioon, mis põhjustab kahjustusi juhtmetele ja mastidele. [10]

### 3.2.2 Projekteerimise põhivalem

Ehitusliku projekteerimise üldine põhimõte tugineb piirseisundi kontseptsioonil, mida rakendatakse koos osavarutegurite meetodiga. See tähendab, et projekteerimisel rakendatakse järgmist seost (vt Valem 3.1). [9]

$$E_d \leq R_d \quad (3.1)$$

kus  $E_d$  on koormuste mõju summaarne arvutuslik väärtus ja  $R_d$  on arvutuslik konstruktsiooniline kandevõime ehk see on määratletud järgmise seosega (vt Valem 3.2).

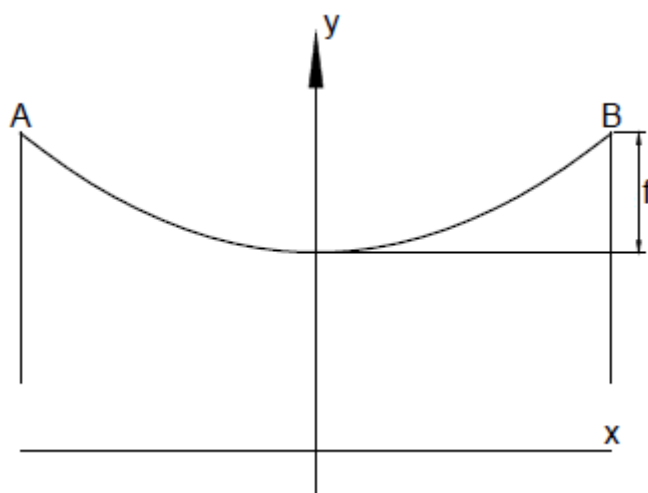
$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (3.2)$$

kus  $X_k$  on materjali normväärtus ja  $\gamma_M$  on materjali omaduse osavarutegur. [9]

Igal õhuliini kasutataval materjalil on erinev osavarutegur. Need on erinevad seetõttu, et määrata kindlaks elementide purunemise järjekord.

### 3.3 Juhtme ripe ja tõmbejõud

Õhuliini juhtme ripet arvutatakse selliselt, et juhe on võtnud parabooli kuju ehk ripe ja tõmme arvutatakse parabooli meetodiga. Täpsem meetod, millega juheta on võimalik analüüsida on aheljoone meetod, kuid kuni 500 m visangute puhul on erinevus meetodite vahel väga väike. Seetõttu võib alla 500 m visangute korral teha lihtsustuse ja kasutada parabooli meetodit.



Joonis 3.2 Juhtme ripe

Kui juhe on kinnitatud kinnituspunkti A ja B (vt ), siis juhtme ripe visangu keskel on välja arvutatav järgmise seose abil:

$$f = \frac{w \cdot l^2}{8 \cdot H} \quad (3.3)$$

kus  $w$  - juhtme omakaal, N/m,

$l$  - visangu pikkus, m,

$H$  - juhtme tõmbejõud, N. [7]

Juhul, kui visangu pikkus hakkab ületama 500 m, on ripet võimalik arvutada täpsema seose abil, mis on esitatud alljärgnevalt [11] [12]::

$$f = \frac{w \cdot l^2}{8 \cdot H} + \frac{w^3 \cdot l^4}{8 \cdot H^3} \quad (3.4)$$

Parabooli meetodist on samuti võimalik tuletada juhtme pikkus visangus, kui juhe on mõnel kindlal koormusjuhtumil ja tõmbejõu mõju all. Juhtme pikkuse määramiseks visangus peab kasutama eelnevalt leitud ripet ja visangu pikkust ehk tuleb kasutada alljärgnevat seost [11] [12]:

$$L = l + \frac{8 \cdot f^2}{3 \cdot a} \quad (3.5)$$

Kuna ilmastikutingimused ei ole konstantsed ja õhutemperatuur kui ka muud kliimatingimused muutuvad ajas pidevalt, siis juhtme mehaanilised omadused sõltuvad ka suuresti kliimatingimustest. Järgmiseks vaadeldaksegi juhtme rippe määramisel kõige olulisemat valemit, mida nimetatakse juhtme olekuvõrrandiks. Selle abil on võimalik määrata ära juhtme mehaaniline pingsus. Juhtme olekuvõrrand võtab arvesse temperatuuri muutusi ning tuulest ja jäitest põhjustatud lisakoormusi juhtmele.

Alljärgnevas olekuvõrrandis on kasutatud juhtme tõmbejõu asemel juhtme mehaanilist pinget, mis on tõmbejõu suhe juhtme ristlõike pindalasse.

$$\sigma - \frac{\gamma^2 E a^2}{24 \sigma^2} = \sigma_0 - \frac{\gamma_0^2 E a^2}{24 \sigma_0^2} - \alpha E (t - t_0), \text{ N/mm}^2 \quad (3.6)$$

kus  $a$  - visangu pikkus, m

$E$  – juhtme elastsusmoodul, N/mm<sup>2</sup>

$\alpha$  – juhtme joonpaisumistegur, 1/°C

$\sigma$  – juhtme lõplik pingsus, N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_0$  – juhtme esialgne pingsus, N/mm<sup>2</sup>

$\gamma$  – juhtme lõplik erikoormus, N/m·mm<sup>2</sup>

$\gamma_0$  – juhtme esialgne erikoormus, N/m·mm<sup>2</sup>

$t$  – juhtme lõplik temperatuur, °C

$t_0$  – juhtme esialgne temperatuur, °C. [10] [13]

## 3.4 Koormused

### 3.4.1 Koormuste tüübid

Õhuliini projekteerimisel kasutatakse erinevad koormusjuhtumeid. Vastavate koormusjuhtumite iseloomud on erisugused.

Näiteks võib esineda koormus, mis on staatiline ehk see koormus ei põhjusta konstruktsiooni või konstruktsioonelementide märgatavat kiirendust, samas aga võib esineda koormus, mis on dünaamiline ehk see koormus põhjustab konstruktsiooni või konstruktsioonelemendi märgatavat kiirendust.

Koormusi on olemas kolme erinevat tüüpi. Nendeks koormusteks on:

- Püsikoormus ehk seda tähistatakse  $G$  – antud koormus on kogu õhuliini talitlusaja vältel konstantne. Selleks koormuseks on näiteks juhtmete ja mastide omakaal. Samuti on nende muutused keskvaärtuse suhtes tühised ja/või mille muutused on alati samasuunalised, kuni koormus saavutab teatud piirvaärtuse. [10]
- Muutuvkoormus ehk seda tähistatakse  $Q$  – antud koormus on tuule- ja jäitekoormused või temperatuuri erinevustest tulenevad muutuvad koormused. See koormus tõenäoliselt ei esine kogu arvutusliku olukorra vältel. Selle koormuse väärtuse muutused keskvaärtuse suhtes on aga märgatavad. [10]
- Juhukoormus ehk seda tähistatakse  $A$  – koormus, tavaliselt lühiajaline, mille märgatava suurusega ilmumine arvutusliku talitlusea kestel on vähetõenäoline. Paljudel juhtudel võib juhukoormus põhjustada raskeid tagajärgi, kui pole rakendatud eriabinõusid. [10]

### 3.4.2 Liinile mõjuvad koormused

Liinile määratavatel koormustel on võimalik standardi järgselt kolm erinevat lähenemist. Järgmiseks vaadeldakse kõiki kolme lähenemist:

- 1) Antud lähenemine põhineb Euroopa standarditel, mis määravad ära baasandmed. Baasandmeteks on näiteks piirtuulekiirus.



- 2) Antud lähenemine põhineb välisvaatlustega saadud andmete kogumil. Kogutud statistilised andmed saab teisendada baasandmeteks, mis on seejärel kasutatavad õhuliini põhistandardi tingimustega.
- 3) Kolmas lähenemine põhineb pikaajalisel praktikal, kus on kogutud kliimaatilisi andmeid juba ca alates aastast 1900. Nendeks andmeteks on näiteks tuule baaskiirus, jäitekoormus või suurim tuulesurve. Lisaks peavad need andmed tagama minimaalselt esimese töökindlusnivoo ehk kordusperioodi 50 aastat. [9]

### 3.4.3 Tuulekoormus

Käesolev peatükk sisaldab reegleid, millega peab arvestama tuulekoormuse määramisel. Tuulekoormused määratakse tuule normkiiruse alusel ehk need sõltuvad tuule piirkiirusest.

Tuule baaskiirus  $V_{b,0}$  on normväärtus aastase tõenäosusega mitte üle 0,02 ehk see on ka võrdne kordusperioodiga 50 aastat.

Tuule keskmine kiirus on sõltuv järgmistest teguritest:

- Tuule baaskiirusest,
- Tuule suunategurist – antud väärtuse soovituslikuks väärtuseks on 1,0,
- Baaskõrgusest maapinnast,
- Maapinna ebatasasusest,
- Orograafiategurist – antud väärtuse soovituslikuks väärtuseks on 1,0. Jättes arvestamata topograafia mõju, kui pinnareljeefi kalle vastutuult on suhteliselt väike. Kui aga pinnareljeef suurendab tuulekoormust üle 5 %, siis tuleks see arvesse võtta oroograafiateguri abil.

Järgmiseks vaadeldakse, kuidas on võimalik määratleda tuulekoormust. Tuulekoormust on võimalik määrata järgmise seose abil:

$$V_h(h) = V_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_o \cdot k_r \cdot \ln\left(\frac{h}{z_0}\right) \quad (3.7)$$

kus  $V_{b,0}$  - tuule baaskiirus, m/s,

$c_{dir}$  - suunategur,

$c_0$  - orograafiategur,

$k_r$  - maastikutüübi tegur

$h$  - kõrgus maapinnast,

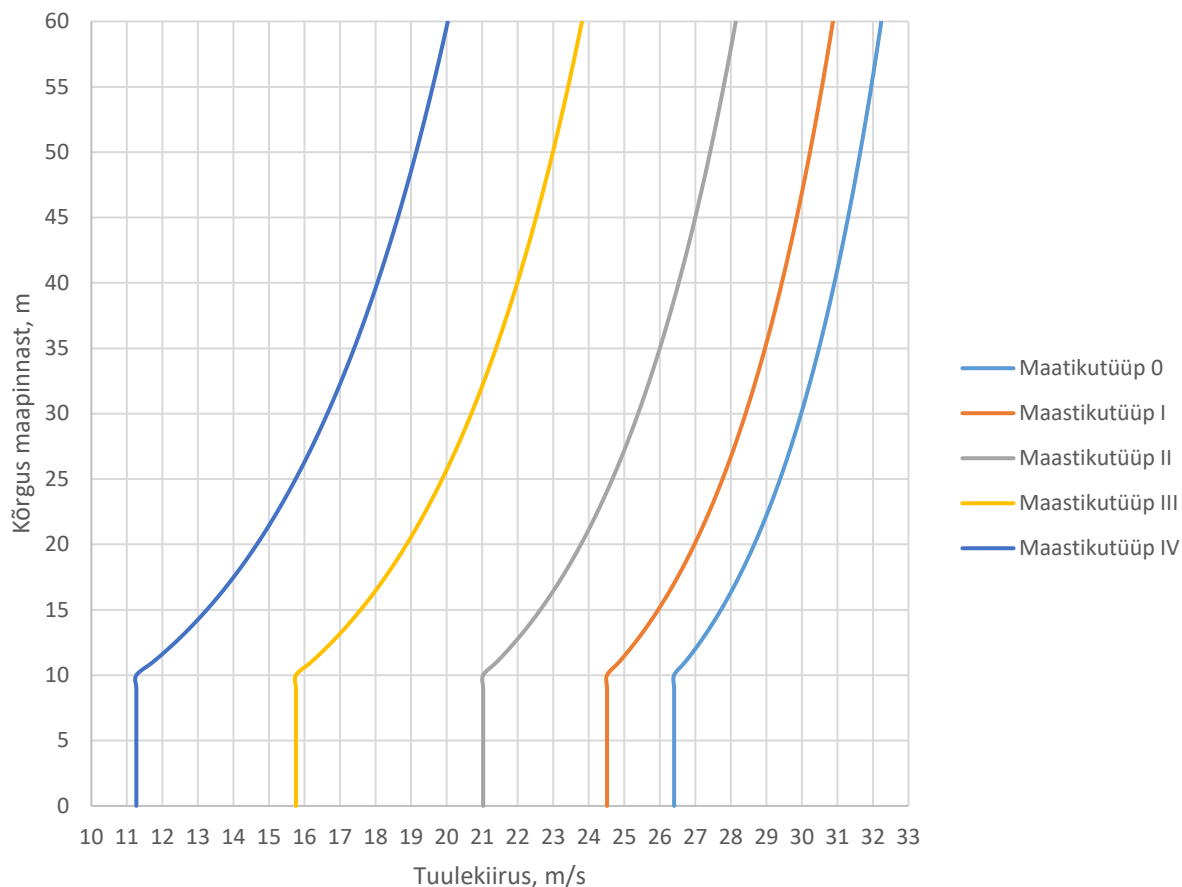
$z_0$  - maapinna ebatasasus, m. [9]

Kirjeldataud seosest on näha, et tuule baaskiirus on sõltuvuses kõrgusest ja samuti maapinna ebatasasusest. Maapinna ebatasasusi ehk maastikutüüpe on kokku neli (vt Tabel 3.4).

Tabel 3.4 Maastikutüübid [14]

Maastikutüüp	$z_0$ , m	$k_r$
0 Meri või avamerele avatud rannikuala.	0,003	0,155
I Järved või olulise taimestikuta ja takistusteta tasane maa.	0,01	0,169
II Avatud maastik madala taimestiku, nagu hein, ja üksikute takistustega.	0,05	0,189
III Alad ühtlase taimkatte või hoonestusega või üksikute takistustega.	0,3	0,214
IV Alad hoonestustihedusega vähemalt 15 % ja hoonete keskmise kõrgusega üle 15 m.	1	0,233

Õhuliinide projekteerimisel võetakse minimaalseks kõrguseks 10 m ehk tuulekiirused alla selle on arvutustes konstantse suurusega. Järgnevalt on koostatud graafik, kuidas erinevad tuulekiirused erinevatel maastikutüüpidel (vt Joonis 3.3).



Joonis 3.3 Keskmised tuulekiirused erinevatel maastikutüüpidel

Keskmise tuulekiiruse baasil on võimalik leida ka keskmine tuulesurve. Keskmine tuulesurve leitakse järgmise seose abil:

$$q_h(h) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_h^2(h) \quad (3.8)$$

kus  $\rho$  - õhu tihedus, kg/m<sup>3</sup>. [14]

Eestis võetakse õhu tihedus võrdseks konservatiivse väärtusena 1,25 kg/m<sup>3</sup>. Kuigi tegelikult on õhutihedus sõltuvuses temperatuurist ning absoluutsest kõrgusest H. Järgneva seose abil on võimalik välja arvutada teised õhu tiheduse väärtused:

$$\rho' = \frac{288}{T'} \cdot \rho \cdot e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot H} \quad (3.9)$$

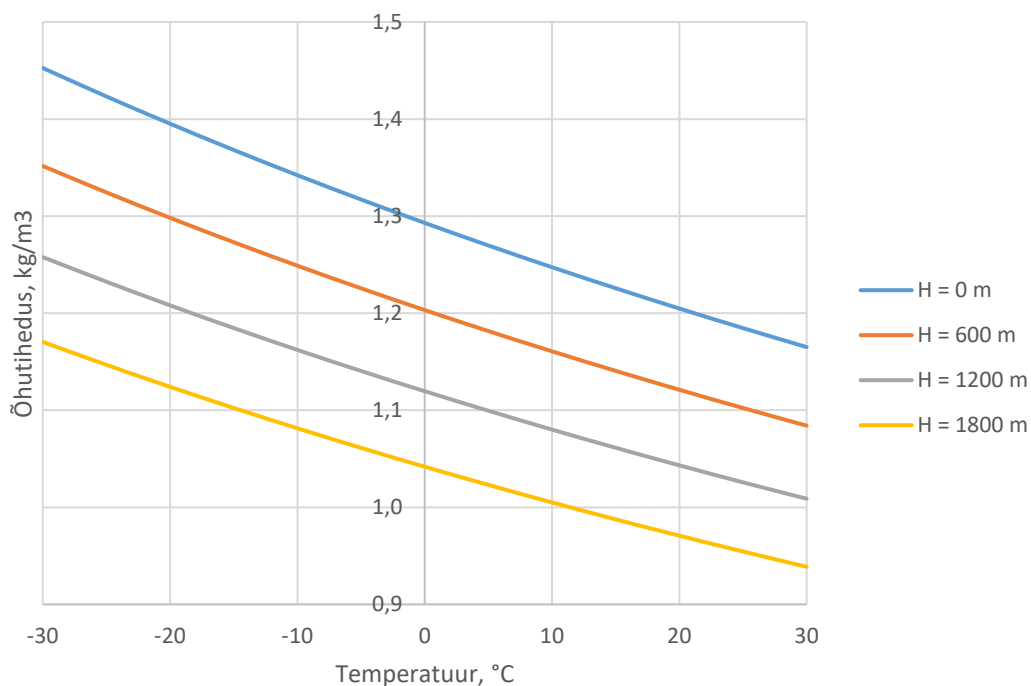
kus  $T'$  - absoluutne temperatuur, K,

$\rho$  – õhu tihedus, võrdne väärtusega 1,225 kg/m<sup>3</sup>,

$H$  - absoluutne baaskõrgus õhutiheduse määramiseks, m. [9]

Alljärgneval graafikul on esitatud õhutiheduse sõltuvus temperatuurist ja absoluutsest kõrgusest (vt

Joonis 3.4).



Joonis 3.4 Õhutiheduse sõltuvus temperatuurist

Õhuliinide projekteerimisel on vajalik lisaks keskmisele tuulesurvele määrata ära ka suurim tuulesurve, mis on sõltuvuses turbulentsi intensiivsusest. Turbulentsi intensiivsus on määratav järgneva seose abil:

$$I_v(h) = \frac{1}{c_0 \cdot \ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} \quad (3.10)$$

Turbulentsi intensiivsus – mis on toodud eelnevas avaldises – on turbulentsi standardhälve jagatud tuulekiiruse keskväärtusega.

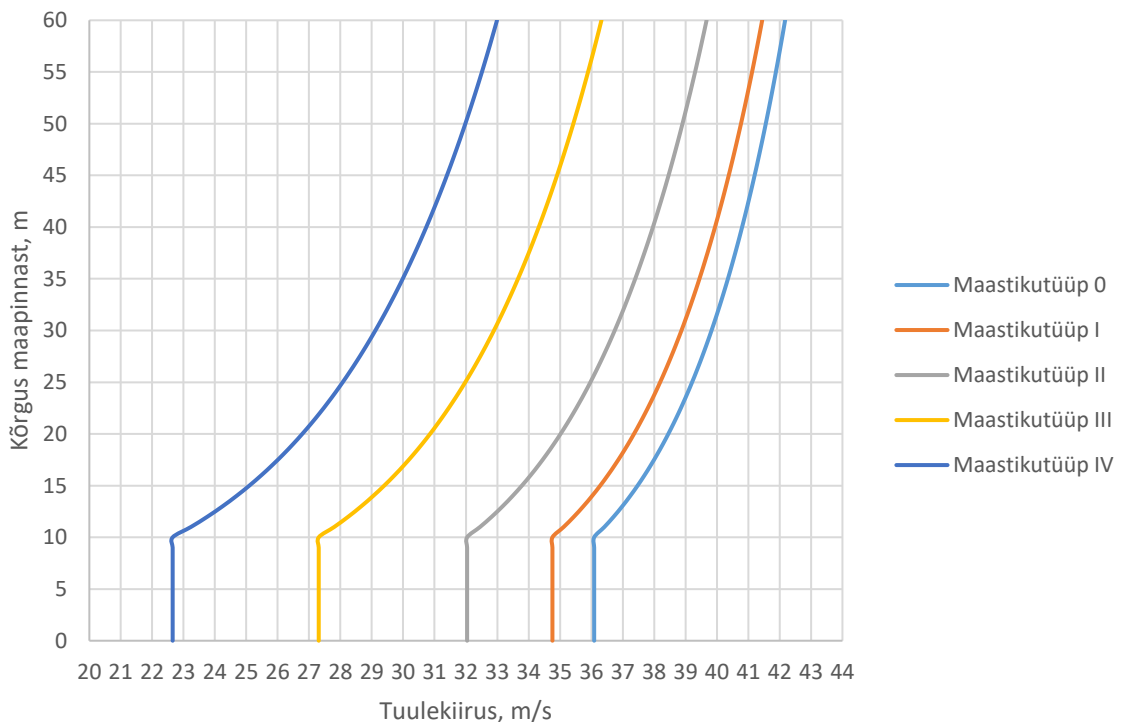
Seega suurim tuulesurve – kus on arvesse võetud turbulents – on võimalik välja arvutada järgmise seose abil:

$$q_p(h) = [1 + 7 \cdot I_v(h)] \cdot q_h(h) \quad (3.11)$$

Suurim tuulesurve on surve, kus liituvad keskmine ja lühiaegsed kiiruse pulsatsioonid. [9]

Alljärgnevalt on lisaks välja arvatud suurimad tuulekiirused erinevatel maastikutüüpidel sõltuvalt kõrgusest maapinnast. Vaadeldud on maksimaalselt 60 m kõrgusel suurimaid tuulekiiruseid (vt Joonis 3.5).

Alljärgnevalt graafikult on näha, et suurimad tuulekiirused on konstantse väärtusega kuni kõrguseni 10 m maapinnast. Enamasti kasutatakse õhuliinidel maastikutüüpi II, kus suurim tuulekiirus on 32,04 m/s kõrgusel 10 m maapinnast. Kõrgemal kui 10 m suureneb tuulekiirus vastavalt eelpool toodud avaldisele logaritmiliselt.



Joonis 3.5 Suurimad tuulekiirused erinevatel maastikutüüpidel

Juhtme mehaanilise resonantsi tegur on määratav alljärgneva seose abil, mis võtab arvesse seda, et suurim tuulesurve kogu visangu ulatuses ei ole ühtlane ja on muutliku suurusega.

$$G_c = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(h) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(h)} \quad (3.12)$$

kus  $k_p$  - maksimumitegur, mis on määratletud kui reaktsiooni muutlik osa suurima väärtuse suhe tema standardhälbesse,

$I_v(h)$  - turbulentsi intensiivsus,

$B^2$  - tausta tegur, mis arvestab surve täieliku korrelatsiooni puudumist visangus,

$R^2$  - resonantsreaktsiooni tegur, mis arvestab turbulentsi resonantsi vibratsiooniga. Teguri  $R^2$  soovituslikuks väärtuseks on null, kuna liini juhtmete puhul võib resonantsi tuule suunas igonoeerida. [9]

Käesolevast valemist on näha, et visangu mehaanilise resonantsi tegur on sõltuvuses turbulentsi intensiivsustest. See tähendab, et keskmise tuulesurve korral puudub mehaanilise resonantsiteguri väärtus ehk väärtuseks on sellel juhul üks.

Tegur  $B^2$  arvutatakse välja järgmisest seosest:

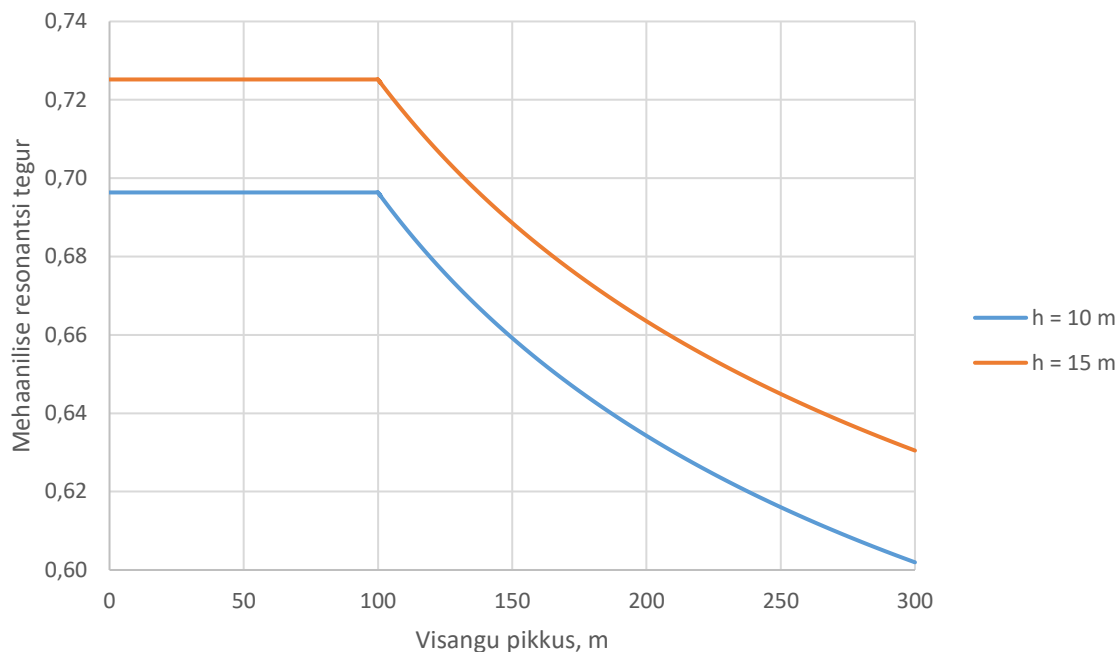
$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L(h)}} \quad (3.13)$$

kus  $L_m$  - kahe külgneva visangu keskmine pikkus ehk tuulevisang, m,

$L(h)$  - turbulentsi ulatus juhtmete baaskõrgusel  $h$  ja mis avaldub alljärgnevast seosest. [9]

$$L(h) = 300 \cdot \left( \frac{h}{200} \right)^{0,67+0,05 \cdot \ln(z_0)} \quad (3.14)$$

Kuna õhuliinide projekteerimisel kasutatakse eelkõige maastikutüübina teist kategooriat, on koostatud graafik (vt Joonis 3.6) mehaanilise resonantsi tegurile sõltuvalt visangu pikkusest. Kusjuures juhtmete baaskõrguseks on võetud 10 m ja lisaks on alla 100 m visangute puhul võetud visangu pikkused konstantseks pikkusega 100 m.



Joonis 3.6 Mehaanilise resonantsi tegur

Graafikult (Joonis 3.6) on näha, kui visangu pikkus suureneb, siis mehaanilise resonantsi tegur väheneb. See tähendab, et suurim tuulesurve juhtmetele väheneb. Väheneb seetõttu, et suurim tuulesurve ei saa mõjuda sama suuruselt üle kogu visangu.

Seega tuulekoormus, mis tahes liini elemendile on välja arvatav järgmise seose abil.

$$Q_{\text{tuulekoormus}} = q_p(h) \cdot G_x \cdot C_x \cdot A_x \quad (3.15)$$

kus  $q_p(h)$  - suurim tuulesurve vastavalt kõrgusel  $h$ ,  $N/m^2$ ,

$G_x$  - vaadeldava elemendi mehaanilise resonantsi tegur,

$A_x$  - vaadeldava elemendi pinna projektsioon tuule suunaga risti olevale tasapinnale,  $m^2$ ,

$C_x$  - vaadeldava elemendi tuuletakistustegur. [7]

Juhtmete tuuletakistustegurid on määratud standarditega, kus on tehtud vajalikud katsed tuuletunnelites. Seega on juhtmete tuuletakistustegurid järgmised:

- Tuuletakistustegur jäiteta juhtmele on 1,0,
- Tuuletakistustegur jäitega juhtmele on 1,0.

Eestis kasutataval jäite tüübil on tuuletakistustegur samasugune nagu jäiteta juhtmel.

#### **3.4.4 Jäitekoormus**

Mehaanilise tugevuse määramiseks tuleb lisaks tuulekoormusele leida ka jäitekoormus, mis mõjub õhuliini juhtmetele. Jäidet on kahte tüüpi ja see sõltub iga riigi kohalikest oludest, millega tuleb projekteerimisel arvestada. Nendeks tüüpideks on:

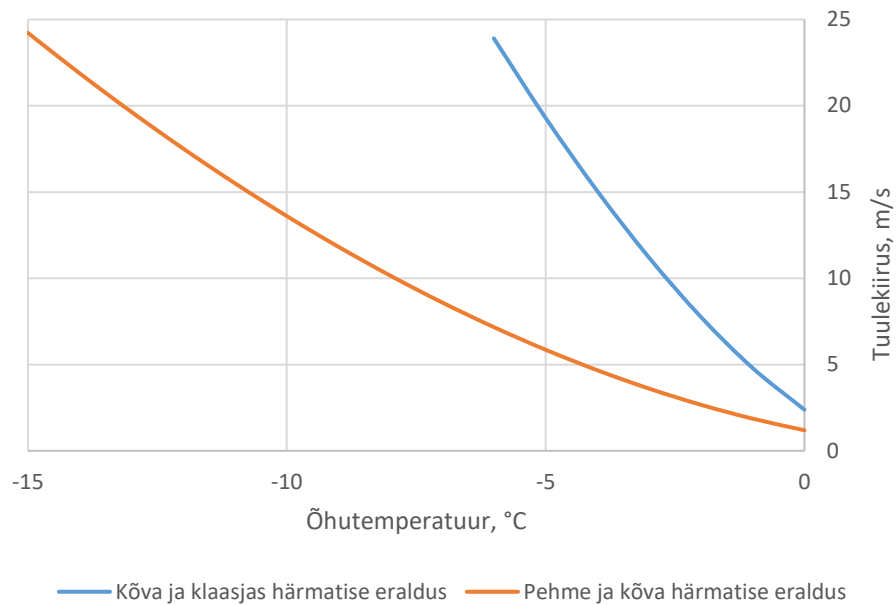
- Märg lumi või klaasjas jää – antud jäide tekib enamasti sademetest, mis jäätuivad kokkupuutel juhtmega selle pinnale,
- Kristalne või teraline härmatis – antud jäide on tekkinud udust.

Kui mõnes riigis esinevad mõlemad jäite tüübid, tuleb arvestada ka mõlemaga ja leida kõige ebasoodsam kombinatsioon, millega arvestada.

Erinevaid jäiteid on võimalik jaotada omaduste erinevuse tõttu ka järgmiselt:

- Klaasjas jää, mis tekib sademete jäätumisest ning mille iseloomulik tihedus on 900 kg/m<sup>3</sup>. Antud jäide tekib õhutemperatuuri -10 ... 0 °C vahemikus.
- Märg lumi, mis samuti tekib sademete jäätumisest, kuid antud jäide tekib temperatuuri 0 ... 3 °C vahemikus ja mille tihedus on 300 kuni 600 kg/m<sup>3</sup>.
- Udust tekkinud jäide on kas klaasjas, tugev või pehme härmatis. Tugeva härmatisel iseloomulik tihedus on 600 kuni 900 kg/m<sup>3</sup> ja pehme härmatisel on 200 kuni 600 kg/m<sup>3</sup>. Sõltuvus temperatuurist ja tuulekiirusest on esitatud joonisel (vt Joonis 3.7). Käesolev joonis esitab piirkonnad, kus milline jäide iseloomulikult tekkida võib erinevate tuulekiiruse ja õhutemperatuuri korral. [15]





Joonis 3.7 Jäite tekkimine

Seega kui on määratletud jäitetüüp ja selle tihedus, on võimalik määrata jäitekoormus, mis mõjub õhuliini juhtmetele. Seda on võimalik määrata alljärgneva seose abil:

$$I = 9,82 \cdot \rho_I \cdot \pi \cdot b + (d + b) \cdot 10^{-3} \quad (3.16)$$

kus  $\rho_I$  - jäite tihedus, g/m<sup>3</sup>,

$b$  - jäite paksus, mm

$d$  - juhtme või trossi läbimõõt, mm. [8]

Eelnevalt leitud jäitekoormuse korral on võimalik määrata juhtme kinnituspunktile mõjuv kogu jäitekoormus. Seda on võimalik määrata alljärgnevast seosest:

$$Q_{\text{jäitekoormus}} = I \cdot L_w \quad (3.17)$$

kus  $I$  - jäitekoormus, N/m,

$L_w$  - kaaluvisang, m.

Erinevate jäite tüüpide korral on võimalik mõlemat eelnevalt esitatud seost kasutada ja nendest tuletada vajalikke valemeid.

### 3.4.5 Temperatuurid

Enamasti on temperatuurid määratud siseriiklike ja projekti erinõuetega. Temperatuuri muutused mõjutavad kogu õhuliini talitlust, mehaanilist tugevust kui ka ohutust. Nendega arvestamata jätmine ei ole projekteerimisel võimalik.

- Aasta keskmine temperatuur on +5 °C – antud temperatuur on Eestis kasutatav ja pikaajaliste mõõtmiste tulemusel leitud aasta keskmine temperatuur,
- Maksimaalne õhutemperatuur on +35°C – antud temperatuur on Eesti siseriiklikus erinõuetes määratud õhu maksimaalne temperatuur,
- Maksimaalne juhtme temperatuur on +60 °C – antud temperatuur võtab arvesse välisõhu maksimaalset temperatuuri ja lisaks juhtme soojenemisest tulenevat temperatuuri kasvu,
- Minimaalne temperatuur on -40 °C
- Temperatuur teistel koormusjuhtumitel on -5 °C – käesolev temperatuur on mõeldud kõikidele koormusjuhtumitele, kus võib esineda tuulekoormus või jäitekoormus või nende koostoime.

Eelnimetud temperatuurid kehtivad Eestis, riigiti need temperatuurid erinevad.

### 3.4.6 Koormuste koostoime

Koormuste koostoimel tuleb esiteks välja selgitada, millised koormuskombinatsioonid esinevad juhtmetel. Kas juhtmele mõjub ainult faasijuhtme omakaal või lisaks ka jäitekoormus? Sellisel juhul on resultatiivne koormus suunalt vertikaalne. Juhul, kui lisaks vertikaalsele koormusele esineb ka tuulekoormus, mis on horisontaalsuunaline, siis tuleb koostada arvutus, mis liidab erisuunalisi jõu vektoreid. Resultatiivne koormus sellisel juhul on kaldu ehk see on määratav alljärgneva seose abil:

$$Resultaat = \sqrt{(Omakaal + Jäitekoormus)^2 + (Tuulekoormus)^2} \quad (3.16)$$

kus Omakaal - juhtme omakaal, N/m,

Jäitekoormus - juhtmele mõjuv ühikuline jäitekoormus, N/m,

Tuulekoormus - horisontaalsuunaline ühikkoormus, N/m.

## 4 Koormuste määramismetoodika Elektrilevi OÜ standardi tarbeks

Käesolevas peatükis töötatakse välja koormuste määramiseks metoodika Elektrilevi OÜ standardi tarbeks.

### 4.1 Faasijuhtmete tüübid

Faasijuhtmed on vastavalt standardile EVS-EN 50397-1:2017 ja EVS-EN 50182.

Faasijuhtme tõmbetugevuse osavarutegur on  $\gamma_m = 1,50$ .

Kaetud õhuliinijuhtmete andmed on koostatud koos Elektrilevi OÜ eksperdi Raivo Rebasega, kus on leitud sobilikud juhtmete mehaanilised andmed, mis oleks võimalikult kesksed erinevate tootjate juhtmete andmetele. See on tehtud eesmärgil, et koostada üldkasutatavad koormuste tabelid kaetud õhuliinijuhtmetele, mida oleks võimalik kasutada olenemata juhtmete tootja juhtmete detailsetest tüübiandmetest.

Alljärgnevalt on esitatud kaetud õhuliinijuhtme CCST 62 AL1/ST1A W tehnilised andmed [16] [17]:

Kirjeldus		CCST 62 AL1/ST1A W
Voolujuhi nimetus vastavalt standardile EVS-EN 50182		54-AL1/9-ST1A
Voolujuhi ristlõikepindala		62 mm <sup>2</sup>
Voolujuhi kogu diameeter		10,1 mm
Kaetud juhtme kogu diameeter		15,5 mm
Mass	voolujuht	216,1 kg/km
	kaetud juhe	340 kg/km
Minimaalne katketugevus		18,64 kN
Esialgne elastsusmoodul		59000 N/mm <sup>2</sup>
Lõplik elastsusmoodul		78000 N/mm <sup>2</sup>
Joonpaisumistegur		19,2 x 10 <sup>-6</sup>
Aasta keskmine mehaaniline pinge		45 N/mm <sup>2</sup>

Alljärgnevalt on esitatud kaetud õhuliinijuhtme CCST 99 AL1/ST1A W tehnilised andmed [16] [17]:

<b>Kirjeldus</b>		<b>CCST 99 AL1/ST1A W</b>
Voolujuhi nimetus vastavalt standardile EVS-EN 50182		85-AL1/14-ST1A
Voolujuhi ristlõikepindala		99 mm <sup>2</sup>
Voolujuhi (kõisjuhtme) diameeter		12,8 mm
Kaetud juhtme kogu diameeter		18,2 mm
Mass	voolujuht	343,6 kg/km
	kaetud juhe	504 kg/km
Minimaalne katketugevus		29,22 kN
Esialgne elastsusmoodul		59000 N/mm <sup>2</sup>
Lõplik elastsusmoodul		78000 N/mm <sup>2</sup>
Joonpaisumistegur		19,2 x 10 <sup>-6</sup>
Aasta keskmine mehaaniline pinge		45 N/mm <sup>2</sup>

Alljärgnevalt on näidatud kaetud õhuliini juhtme konstruktsioon (vt Joonis 4.1).



Joonis 4.1 Kaetud õhuliini faasijuhe [18]

## 4.2 Lähteandmed

Kuni 20 kV õhuliinidele rakendatakse töökindluse nivood I, see on vastavuses Eesti siseriiklike erinõuetega, kus pingetel alla 110 kV seatakse töökindluseks esimene nivoo. Keskpinge õhuliinide projekteerimisel kasutatakse sarnaselt kõrgepingeliinide projekteerimisele piirseisundi kontseptsiooni, mida rakendatakse koos osavaruteguritega.

Keskpinge õhuliinide projekteerimisel on lähtunud järgmistest põhinõuetest:

- 1) Õhuliin peab täitma selle otstarvet piisava talitluskindluse ja samuti ökonoomsusega,
- 2) Välistatud peab olema mõne komponendi purunemisel selle laianemine tõsisemaks ja suuremaks avariiks,
- 3) Ehituse ja käidu kestel peavad olema välistatud inimeste vigastumised, sh surmad. [9]

Esimese töökindlus nivoo korral rakendatakse koormuste järgmisi osavaru- ja kombinatsioonitEGureid:

- Tuulekoormuse osavarutegur  $\gamma_w = 1,00$  – koormusjuhtumis, kus domineerivaks on tuulekoormus, võetakse tuulekoormuse osavarutegur esimesel töökindluse nivool võrdseks ühega,
- Jäitekoormuse osavarutegur  $\gamma_i = 1,00$  – koormusjuhtumis, kus domineerivaks on jäitekoormus, võetakse jäitekoormuse osavarutegur esimesel töökindluse nivool võrdseks ühega,
- Tuulekoormuse kombinatsioonitegur  $\Psi_w = 0,40$  – koormusjuhtumis, kus (domineeriv) tuulekoormus esineb koos jäitekoormusega, võetakse tuulekoormuse kombinatsioonitegur võrdseks 0,40,
- Jäitekoormuse kombinatsioonitegur  $\Psi_i = 0,35$  – koormusjuhtumis, kus (domineeriv) jäitekoormus esineb koos tuulekoormusega võetakse jäitekoormuse kombinatsioonitegur võrdseks 0,35.

### 4.3 Tuulekoormus

Vastavalt Eesti siseriiklikele nõuetele, võib õhuliinidel pingega kuni 20 kV tuule baaskiirust vähendada, ehk lubatud tuule baaskiirus on järgmine:

- Tuule baaskiirus  $V_b = 18,5$  m/s. [8]

Õhutihedus võetakse konstantseks konservatiivse väärtusena, milleks on järgmine:

- Konstantne õhutihedus  $\rho = 1,25$  kg/m<sup>3</sup>.

Tuulekoormus arvutatakse vastavalt standarditele EVS-EN 50341-1:2013 ja EVS-EN 50341-2-20:2018, mida on detailsemalt kirjeldatud eelmistes peatükkides. Juhtmete tuuletakistustegur võetakse võrdseks 1,0.

Lisaks on tehtud järgmine eeldus, mis on samuti kooskõlas standarditega, et juhtmete baaskõrgus võetakse konstantseks 10 m olenemata, kui mõni õhuliini komponent on siiski kõrgemalt kui 10 m maapinnast. Antud eeldus tuleneb sellest, et õhuliinid pingega kuni 20 kV asetsevad puitmastidel, mille kõrgus ei ületa 10 m.

Juhtmete mehaanilise resonantsi tegur  $G_c$ , mida on samuti käsitletud detailsemalt eelmistes peatükkides, võetakse võrdseks 100 m visangu väärtusega, kui visangu on lühemad kui 100 m

### 4.4 Jäitekoormus

Jäitekoormus arvutatakse vastavalt standardile EVS-EN 50341-2-20:2018. Tuuletakistustegur jäitega kaetud juhtme korral on  $C_{ic} = 1,0$ .

Jäitekoormuste arvutamisel on kasutatud eelmistes peatükkides esitatuid seoseid.

Alljärgnevalt on esitatud arvutuslikud jäitekoormused erinevatel koormusjuhtumitel:

Kirjeldus	Sümbol	Jäide + tuul*	Tuul + jäide**
Jäitekoormuse osavarutegur	$\gamma_i$	1,00	1,00
Jäitekoormuse kombinatsioonitegur	$\psi_i$	1,00	0,35
Arvutuslik jäitekoormus, CCST 62	I	7,07 N/m	2,48 N/m
Arvutuslik jäitekoormus, CCST 99	I	7,82 N/m	2,74 N/m

Arvutuslik jäite paksus, CCST 62	$T_{\text{jäide}}$	10 mm	4,47 mm
Arvutuslik jäite paksus, CCST 99	$T_{\text{jäide}}$	10 mm	4,37 mm

*\*domineeriv jäitekoormus*

*\*\*domineeriv tuulekoormus*

## 4.5 Temperatuurid

Paigaldustabelites on arvestatud järgmistega temperatuuridega:

- Aasta keskmine temperatuur on  $0^{\circ}$  ,\*
- Maksimaalne õhutemperatuur on  $+35^{\circ}$  ,
- Maksimaalne juhtme temperatuur on  $+60^{\circ}$  ,
- Minimaalne temperatuur on  $-40^{\circ}\text{C}$  ,
- Temperatuur teistel koormusjuhtumitel on  $-5^{\circ}\text{C}$  .

*\*Õhuliinidele pingega kuni 20 kV, tuginedes pikaajalisele kogemusele, tuleb aasta keskmise temperatuurina rakendada väärtust  $0^{\circ}\text{C}$*

## 4.6 Koormusjuhtumid tugevuse analüüsimiseks

Alljärgnevas tabelis on esitatud koormusjuhtumid, mis rakenduvad kõikidele mastidele.

Tabel 4.1 Koormusjuhtumid

Nr	Koormusjuhtum	Temperatuur	Tuul		Jäide	
			$\gamma_w / \Psi_w$	Kordusperiood	$\gamma_l / \Psi_l$	Kordusperiood
1a	Piirtuulekoormus	$-5^{\circ}\text{C}$	1,00	T = 50		
2a	Piirjäitekoormus	$-5^{\circ}\text{C}$			1,00	T = 50
3a	Piirjäitekoormus + nimituulekoormus	$-5^{\circ}\text{C}$	0,40	T = 3	1,00	T = 50
3b	Piirtuulekoormus + nimijäitekoormus	$-5^{\circ}\text{C}$	1,00	T = 50	0,35	T = 3
4	Minimaalne temperatuur	$-40^{\circ}\text{C}$				

Mastide ja juhtmete tugevuse analüüsimisel kasutatakse esimest töökindlus nivood ja koormusjuhtumite loetelu ning vajalikud parameetrid on esitatud eelnimetatud tabelis.

Paigaldustabelite koostamisel on kasutatud ainult neid koormusjuhtumeid.

## 4.7 Koormusjuhtumid õhkvaheemike analüüsimiseks

Alljärgnevas tabelis on esitatud koormusjuhtumid õhkvaheemike analüüsimiseks.

Tabel 4.2 Koormusjuhtumid

Nr	Koormusjuhtum	Temperatuur	Tuul		Jäide	
			$\gamma_w / \Psi_w$	Kordusperiood	$\gamma_i / \Psi_i$	Kordusperiood
1	Piirtuulekoormus, keskmine	+15 °C	1,00	T = 50		
2	Piirjäitekoormus	-5 °C			1,00	T = 50
3	Nimituulekoormus, keskmine	+15 °C	0,58	T = 3		
4	Maksimaalne temperatuur	+60 °C				

Õhkvaheemike arvutamisel vastavalt kehtivatele standarditele tuleb arvestada nii temperatuuri, jäite- kui ka tuulekoormustega. Küll on tehtud mõned erisused eelmises peatükis esitatud koormuskombinatsioonidega. Tuulekoormusena õhkvaheemike arvutamisel võetakse arvesse piirtuulekoormust ja nimituulekoormust ning nende keskmist tuulesurvet. Tuulekoormused leitakse välisõhutemperatuuril +15°C. Jäitekoormusena tuleb arvestada ainult piirjäitekoormusega. Lisaks on vajalik arvestada juhtme suurima temperatuuriga, milleks on +60°C, mis on oluline gabariitide kontrolliks maapinnaga.

Õhkvaheemike arvutamisel on tehtud veel eeldus, et ei ole vaja kontrollida kombineeritud koormusjuhtumeid ehk kus esinevad tuule- ja jäitekoormus samaaegselt. See eeldus on tehtud seetõttu, et liigpinge esinemine koos kombineeritud koormusega on väga väikse tõenäosusega ja vastavat standardile ei pea seda kontrollima.



## 4.8 Kinnituspunktides mõjuvate koormuste määramine

Antud peatükis on koostatud lihtsustatud meetod faasijuhtmetest tulenevate koormuste määramiseks.

Tuulest ja liini suunamuutusest põhjustatud kinnituspunkti koormuste määramiseks tuleb kasutada järgmist seost:

$$F_{\text{horisontaalne}} = \left(\frac{l_1+l_2}{2}\right) \cdot g_{\text{horisontaalne koormus}} + 2 \cdot F_{\text{faasijuhtme tõmme}} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (4.1)$$

kus  $l_1$  – esimese külgneva visangu pikkus, m,

$l_2$  – teise külgneva visangu pikkus, m,

$g_{\text{horisontaalne koormus}}$  – horisontaalne ühikkoormus, N/m,

$F_{\text{faasijuhtme tõmme}}$  – faasijuhtme horisontaalne tõmme, N,

$\alpha$  – liini suunamuutus, °.\*\*

*\*\*Eeldatud on, et mast on paigaldatud nurgapoolitajaga risti*

Juhtme omakaalust ja jäitest põhjustatud kinnituspunkti koormuste määramiseks tuleb kasutada järgmist seost:

$$F_{\text{vertikaalne}} = \left(\frac{l_1+l_2}{2}\right) \cdot g_{\text{vertikaalne koormus}} + \left(\frac{y_1+y_2}{100}\right) \cdot F_{\text{faasijuhtme tõmme}} \quad (4.2)$$

kus  $y_1$  – esimese külgneva visangu kaaluvisangu parameeter, %,

$y_2$  – teise külgneva visangu kaaluvisangu parameter, %,

$g_{\text{vertikaalne koormus}}$  – vertikaalne ühikkoormus, N/m.

## 4.9 Koostatud ripete ja tõmbejõudude andmetabel

Ripete ja tõmbejõudude andmetabeli koostamisel on kasutatud eelmistes peatükkides esitatud seoseid ja meetodikaid.

Tabel on koostatud visangu pikkustele 40 m kuni 140 m.

Andmetabelid sisaldavad järgmisi välja arvatud parameetreid:

- Summaarne koormus, N/m – vertikaalse- ja horisontaalse koormuse koostoime mõju,
- Vertikaalne koormus, N/m – kogu vertikaalne koormus, mis sisaldab nii jäite kui ka omakaalu koormust,
- Horisontaalne koormus, N/m – kogu horisontaalne koormus, mis sisaldab tuulest tingitud koormust,
- Visangu keskne kaldenurk, deg – juhtme kõrvalekalle tuulekoormuse mõju tõttu,
- Mehhaaniline pinge, N/mm<sup>2</sup> – juhtme mehaaniline pinge, mis on juhtme tõmbejõu suhe ristlõike pindalasse,
- Tõmbejõud, N – juhtme tõmbejõud,
- Vertikaalne riipe, m – juhtme riipe visangu keskel,
- Kasutusprotsent, % - juhtme kasutusprotsent kogu juhtme katketugevusest.

## 4.9.1 Kasutamise näide

Alljärgnevalt on koostatud kasutamise näide, kuidas peaks projekteerija koostatud andmeid kasutama. Vaadeldud on koormusjuhtumit 1a Piirtuulekoormus.

Käesolevas näites võetakse vaatluse alla ankrusisang, mille taandatud visang on 40 m.

Tabel 4.3 Andmetabel

Taandatud visang	[m]	40
Kõrgus maapinnast	[m]	10
Juhtme mark		CCST ACSR 62-AL1/ST1A W
Osajuhtmete arv faasis		1
Mehhaanilised pinged		
Aasta keskmine pinge [N/mm <sup>2</sup> ]		45,0
Maksimaalne lubatud pinge [N/mm <sup>2</sup> ]		200,0
Lähteandmed		
Omakaal [N/m]		3,34
Tuule baaskiirus [m/s]		18,5
Jäite baaspaksus [mm]		10,0
Režiimi nimi		
1a Piirtuulekoormus, temperatuur -5 °C	Summaarne koormus [N/m]	6,32
	Vertikaalne koormus [N/m]	3,34
	Horisontaalne koormus [N/m]	5,37
	Visangu keskne kaldenurk [deg]	58,17
	Mehhaaniline pinge [N/mm <sup>2</sup> ]	57,45
	Tõmbejõud [N]	3562
	Vertikaalne ripe [m]	0,19
	Kasutusprotsent [%]	28,72
	Deformatsioon koormusest [%]	0,097
	Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,005
	Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	2,7

Horisontaalse koormuse määramine:

- $l_1 = 100$  m
- $l_2 = 80$  m
- $F_{\text{faasijuhtme tõmme}} = 3562$  N
- $g_{\text{horisontaalne koormus}} = 5,37$  N/m
- $\alpha = 0$

Rakendades järgmist valemit:

$$F_{\text{horisontaalne}} = \left( \frac{l_1 + l_2}{2} \right) \cdot g_{\text{horisontaalne koormus}} + 2 \cdot F_{\text{faasijuhtme tõmme}} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} =$$
$$= \left( \frac{100 + 80}{2} \right) \cdot 5,37 + 2 \cdot 3562 \cdot \sin \frac{0}{2} = 483,3 \text{ N}$$

Järgnevalt on uuritud vertikaalse koormuse määramist:

- $l_1 = 100 \text{ m}$
- $l_2 = 80 \text{ m}$
- $F_{\text{faasijuhtme tõmme}} = 3562 \text{ N}$
- $G_{\text{vertikaalne koormus}} = 5,37 \text{ N/m}$
- $y_1 = (2 / 100) \times 100 = 2,00 \%$
- $y_2 = (-1 / 80) \times 100 = -1,25 \%$

Rakendades järgmist valemit:

$$F_{\text{vertikaalne}} = \left( \frac{l_1 + l_2}{2} \right) \cdot g_{\text{vertikaalne koormus}} + \left( \frac{y_1 + y_2}{100} \right) \cdot F_{\text{faasijuhtme tõmme}} =$$
$$= \left( \frac{100 + 80}{2} \right) \cdot 3,34 + \left( \frac{2,00 + (-1,25)}{100} \right) \cdot 3562 = 327,3 \text{ N}$$

Teades õhuliini algandmeid visangute kohta ja kõrguste erinevust on võimalik koostatud valemite ning tabeli abil arvutada – suhteliselt lihtsalt – kinnituspunkti mõjuvad horisontaalsed ja vertikaalsed koormused vastavatel koormusjuhtumitel.

## 4.10 Juhtmete paigaldustabelid

Faasijuhtmete paigalduseks on väga olulisel kohal paigaldustabelid. Paigaldustabelid koostatakse kõikidele ankrusangutele ja täiendavalt kõikidele visangutele, mis esinevad ankrusangutes. Antud tabelites ei arvutata tuule- ega jäitekoormusi kuna eeldatakse, et juhtmete paigalduse hetkel tuul ei puhul ja ei esine ka jäidet. Näiteks kui juhtmeid paigaldatakse hetkel kui puhub tuul, siis on väga raske määratleda õiget juhtme olekut ja selle tõmbejõu suurust. Seega koostatakse paigaldustabelid erinevatele välisõhutemperatuuridele, jättes tuulemõjud arvestamata eeldusel, et tuulise ilmaga juhtmeid ei paigaldata.

Käesolevas töös on koostatud mõlemale kaetud õhuliini juhtmele paigaldustabelid. Taandatud visangu pikkused on võetud võrdseks. Välisõhutemperatuuri vahemikud on võetud samaseks

-20° ...+ 40°C kraadini.

Juhtme tõmbejõud ja mehaaniline pinge on arvutatud spetsiaaltarkvara abil, mis kasutab samast meetodikat, mida antud töös on kirjeldatud.

Alljärgnevalt on toodud näide, kuidas väljatöötatud andmetabeleid kasutada.

Oletame, et taandatud visang on 40 m ja konkreetne visang on 50 m. Välisõhutemperatuur juhtme paigalduse ajal on +10 °C. Seega tuleb faasijuhe viseerida 0,34 m rippega, mis asub visangu keskel. Juhul kui juhtmed on juba olnud töös, on võimalik määrata käesoleva andmetabeli abil samuti ka väljaveninud juhtme (nt paigaldusjärgse roome tõttu) ripet. Selleks on vaja juurde liita mõõdetavale välisõhutemperatuurile +15°C ehk väljaveninud juhtme ripe oleks sellisel juhul 0,46 m.

Juhe venib pikaajalise koormuse tõttu. Faasijuhtme venimise ekvivalentne temperatuuri kasv +15 °C.

Tabel 4.4 Andmetabel

Taandatud visang / visang	Sümbolid	Faasijuhtme mehaaniline pinge S [N/mm <sup>2</sup> ]													Aasta keskmine pinge
		Faasijuhtme tõmbejõud T [N]													
m		Taandatud visangu ripe fr / visangu ripe fs [m]													N/mm <sup>2</sup>
		-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
		Faasijuhe 1 x CCST ACSR 62-AL1/ST1A W													
40	S	80,77	75,37	70,02	64,75	59,58	54,53	49,66	45,00	40,62	36,56	32,90	29,66	26,85	45
	T	5008	4673	4341	4014	3694	3381	3079	2790	2518	2267	2040	1839	1665	
	fr	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,29	0,33	0,36	0,40	
30	f <sub>s</sub>	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,23	
40	f <sub>s</sub>	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,29	0,33	0,36	0,40	
50	f <sub>s</sub>	0,21	0,22	0,24	0,26	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,46	0,51	0,57	0,63	
60	f <sub>s</sub>	0,30	0,32	0,35	0,37	0,41	0,44	0,49	0,54	0,60	0,66	0,74	0,82	0,90	

## KOKKUVÕTE

Lõputöö esimeses pooles uuriti õhuliinide konstruktsiooni ja erinevate õhuliinide detailide tähtsust. Nii Eestis kui ka mujal leiab enim kasutust terasalumiiniumist koosnevad faasijuhtmed ehk nende juhtmete voolujuhtivaks osaks on alumiiniumtraatidest kokku punutud kimp ning juhtme sisemises osas on terastraatidest kokku punutud kimp, mis annab juhtmetele piisava mehaanilise jäikuse ja tugevuse. Samaselt on vastava ehitusega juhe ka paindub ja talitusolukorras ei tekita see üldjuhul olulisi mehaanilisi lisapingeid juhtmes. Jaotusvõrgus leiavad aina enam kasutust kaetud õhuliini-juhtmed, mis on sisult samasugused terasalumiinium faasijuhtmetele, kuid millele on täiendavalt peale kantud isolatsioonikate, mis teeb selle – kaetud õhuliinijuhtme – oluliselt talituskindlamaks ja ka ohutumaks.

Töös uuriti õhuliinide projekteerimise alusdokumente ja koormuskombinatsioone. Peamisteks alusdokumentideks on kolm dokumenti, mis määravad ära vajalikud algandmed. Esmaseks oluliseks dokumendiks on Euroopa standardi ühised eeskirjad, mis annab lähteandmed tervele Euroopale. Järgmiseks väga oluliseks dokumendiks on Eesti siseriiklikud erinõuded, mis annab täpsemad ilmastikutingimused ning viimasena projekti erinõuded ehk põhi- või jaotusvõrgu enda eritingimused.

Lõputöö käigus uuriti detailselt ka juhtmetele mõjuvaid tuule- ja jäitekoormuseid ning temperatuuri muutustest tekkivaid lisakoormuseid. Eestis on standardi kohaselt 21 m/s tuulekiirus. Sellest tulenevat tuulesurvet juhtmetele hakkab mõjutama kinnituspunktide kõrgus maapinnast, jaotusvõrgus võetakse see konstantseks 10 m ning lisaks samuti visangu pikkus. Uurimisel selgus, mida pikem on visangu pikkus, seda väiksem on suurim tuulesurve. Seda seetõttu, et kogu visangu ulatuses ei saa eeldada, et turbulentne tuulesurve mõjub ühesuguselt. Jäitekoormuse määramisel on oluliseks jäitepaksus ning tihedus, mis on määratletav jäitetüübist. Viimaseks muutujaks on temperatuur, mille suurenemisel on oluline kontrollida õhkvaemike ja mille vähenemisel on vajalik kontrollida puitmastide vastupidavust.

Antud lõputöö eesmärk oli koostada Elektrilevi Osäühingule projekteerimisettevõtete projekteerijatele valmis andmetabelid kahele kaetud õhuliini faasijuhtmele, mida oleks võimalik lihtsasti kasutada. Tabelite eesmärk on, et kõikidel projekteerijatel oleksid samasugused lähteandmed ja ka arvutustulemused, mida on võimalik kolmandal osapoolel lihtsamini kontrollida.

Koostatud andmetabelitest on võimalik leida juhtme ripete ja tõmbejõudude väärtusi erinevates koormuskombinatsioonides (nagu näiteks tuulekoormusel, jäitekoormusel kui ka nende koostoimel), mida saab kasutada puitmasti dimensioneerimiseks või samuti ka välis- või siseõhkvaheemike kontrollimiseks.

Täiendavalt on lõputöö autori poolt väljaarendatud arvutusvalemite seosed, mida on võimalik kasutada juhtme kinnituspunkti koormuste määramiseks ning mille sisendandmed tulevad juba väljatöötatud andmetabelitest. Viimaseks on koostatud andmetabel juhtmete monteerimise jõudude ja ripete suurustega. Antud tabel on koostatud paljudele erinevatele visangu pikkustele ning välisõhutempertuuride  $-20^{\circ}\text{C}$  ...  $+40^{\circ}\text{C}$  vahemikus. Käesolev andmetabel on mõeldud eelkõige ehitajale, kellel on oluline uus faasijuhe paigaldada projekteeritud tõmbejõuga ning vältida juhtme ülepingutamist ja sellest tulenevate kahjude ärahoidmist.

## SUMMARY

The first part of the graduation paper examines the overhead power line structure and the significance of parts of different overhead power lines. In Estonia and elsewhere the most frequently used option is a steel-aluminium phase wire: the conductor part is a strand of aluminium wires while the core consists of a strand of steel wires that ensures sufficient mechanical rigidity of the wire. Such a cable is also very flexible and it does not create additional tension during operation. The distribution network uses similar steel-aluminium phase wire, but they have an insulation layer for substantially improved weather proofness.

Overhead power line design primary documentation and load combinations were examined. There are three primary documents that stipulate all the necessary initial data. Firstly, the common European standard regulations outlining the initial data for all Europe. Secondly, the Estonian national special requirements containing a range of conditions, especially concerning the local climate. Thirdly, project-specific requirements, i.e. special requirements applicable to a particular man or distribution network.

The graduation paper also examined in detail the wind and ice loads affecting the cables, as well as the additional loads due to temperature fluctuations. The standard Estonian wind speed is 18,5 m/s. Accordingly, wind pressure on the cables depends on the height of the attachment points from the ground level. In the distribution network this height is set constantly at 10 metres. The span length is also a factor. It was discovered that the greater the span length, the smaller the maximum wind pressure. It is because we cannot assume that the turbulent wind pressure affects the whole span in the same manner. Ice layer thickness and density are important for ice load calculations that depend on the icing type. The last variable is temperature: as it increases, it is important to check the air intervals, and as it decreases, the wooden pole durability must be checked.

The goal of this graduation paper was to compile for the staff of Elektrilevi OÜ design companies easy in use data spreadsheets on two covered overhead power line phase cables. The spreadsheets would ensure that all design staff members have the same initial data and calculation results for easier verification by a third party. The data spreadsheets allow locating of values of cable suspension and attraction forces in different load combinations (for instance: wind load, ice load and their interaction) for the purpose of wooden pole dimensioning and checking for external or internal air intervals. The author of the graduation paper also developed calculation formula connections for determining the cable attachment point loads, with the input data derived from the aforementioned data spreadsheets.



The last data spreadsheet contains cable assembly forces and suspension values. This spreadsheet covers many different span lengths and external air temperatures ranging from -20°C to +40°C. This data spreadsheet is meant mostly for builders as they have to install the new phase cable with the stipulated attraction force to avoid excessive cable tension and subsequent damage.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] M. Meldorf, H. Tammoja, Ü. Treufeldt ja J. Kilter, Jaotusvõrgud, TTÜ, 2007.
- [2] EVS-EN IEC 60071-1:2020 Isolatsiooni koordineerimine. Osa 1: Määratlused, põhimõtted ja reeglid, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2020.
- [3] „Eesti põhivõrk,“ Elering AS, [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/elektrituru-kasiraamat/2-eesti-elektrisüsteem/21-euroopa-ja-eesti-elektrisüsteemi-ulevaade/211>. [Kasutatud 06 04 2020].
- [4] E. Tiigimägi, Elektrivõrgud, Tallinn: TTÜ, 1997.
- [5] Energiatalgud, „Võrgukaod: elekter,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://energiatalgud.ee/index.php/V%C3%B5rgukaod:\\_elekter?menu-80](https://energiatalgud.ee/index.php/V%C3%B5rgukaod:_elekter?menu-80). [Kasutatud 14 05 2020].
- [6] „ACSR Conductor,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.luxingcable.com/low-voltage-cables/bare-acsr-conductor-bs-215-2-dog-rabit.html>. [Kasutatud 14 05 2020].
- [7] F. Kiessling, P. Nefzger, J. Nolasco ja U. Kaintzyk, Overhead Power Lines Planning, Design, Construction, Springer, 2003.
- [8] EVS-EN 50341-2-20:2018 Elektriõhuliinid vahelduvpingega üle 1 kV. Osa 2-20: Eesti siseriiklikud erinõuded (SEN), Eesti Standardikeskus, 2018.
- [9] EVS-EN 50341-1:2013 Elektriõhuliinid vahelduvpingega üle 1 kV. Osa 1, Üldnõuded, Eesti Standardikeskus.
- [10] P. Paesaar, Elektrivõrkude projekteerimine III osa, Tallinn: TTÜ, 2010.
- [11] Overhead Conductor Manual - First Edition, Southwire.
- [12] Overhead Conductor Manual - Third Edition, Southwire.
- [13] М. А. Короткевич, Проектирование линий элетропередачи : механическая часть, Минск, 2010.

- [14] EVS-EN 1991-1-4:2005/A1:2010+A1:2010/NA:2010 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus, Eesti Standardikeskus, 2005.
- [15] ISO 12494:2017 Atmospheric icing of structures, Eesti Standardikeskus, 2017.
- [16] EVS-EN 50397-1:2007 Covered conductors for overhead lines and the related accessories for rated voltages above 1 kV a.c. and not exceeding 36 kV a.c. Part 1: Covered conductors, Eesti Standardikeskus, 2007.
- [17] EVS-EN 50182:2002/AC:2013 Conductors for overhead lines - Round wire concentric lay stranded conductors, Eesti Standardikeskus, 2013.
- [18] Amokabel, „CCSX AAAC,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://amokabel.com/en/catalog/products/blx-t-almgsi>. [Kasutatud 01 04 2020].
- [19] „Elektripaigaldise kaitsevööndi ulatus ja kaitsevööndis tegutsemise kord,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/12962378>. [Kasutatud 19 05 2020].

## **LISAD**

Lisa 1 Faasijuhtme CCST ACSR 62-AL1/ST1A W rippe ja tõmbe arvutused

Lisa 2 Faasijuhtme CCST ACSR 62-AL1/ST1A W paigaldustabel

Lisa 3 Faasijuhtme CCST ACSR 99-AL1/ST1A W rippe ja tõmbe arvutused

Lisa 4 Faasijuhtme CCST ACSR 99-AL1/ST1A W paigaldustabel

Faasjuhtme CCST ACSR 62-AL1/ST1A W rippe ja tõmbe arvutused

Ankruvisang		[m]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
Taandatud visang		[m]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
Kõrgus maapinnast		[m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Kõrgus merepinnast		[m]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Juhtme mark			CCST ACSR 62-AL1/ST1A W	CCST ACSR 62-AL1/ST1A W	CCST ACSR 62-AL1/ST1A W	CCST ACSR 62-AL1/ST1A W	CCST ACSR 62-AL1/ST1A W	CCST ACSR 62-AL1/ST1A W	CCST ACSR 62-AL1/ST1A W	CCST ACSR 62-AL1/ST1A W	CCST ACSR 62-AL1/ST1A W	CCST ACSR 62-AL1/ST1A W	CCST ACSR 62-AL1/ST1A W	
Osajuhmete arv			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<b>Mehhaanilised pinged</b>														
Aasta keskmine pinge [N/mm <sup>2</sup> ]			45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	
Maksimaalne lubatud pinge [N/mm <sup>2</sup> ]			200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	
<b>Lähteandmed</b>														
Omakaal [N/m]			3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	
Tuule baaskiirus [m/s]			18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	
Jäite baaspaksus [mm]			10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
<b>Režiimi nimi</b>														
1	Aasta keskmine pingsus	Summaarne koormus [N/m]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	
		Vertikaalne koormus [N/m]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	
		Horisontaalne koormus [N/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Visangu keskne kaldenurk [deg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Mehhaaniline pinge [N/mm <sup>2</sup> ]	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00
		Tõmbe jõud [N]	2790	2790	2790	2790	2790	2790	2790	2790	2790	2790	2790	2790
		Vertikaalne riipe [m]	0,24	0,37	0,54	0,73	0,96	1,21	1,49	1,81	2,15	2,53	2,93	3,34
		Capacity [%]	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50
		Deformatsioon koormusest [%]	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076
		Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Summaarne koormus [N/m]	6,32	6,32	6,32	6,32	6,32	6,32	6,32	6,32	6,27	6,21	6,17	6,12
		Vertikaalne koormus [N/m]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34
		Horisontaalne koormus [N/m]	5,37	5,37	5,37	5,37	5,37	5,37	5,37	5,37	5,31	5,24	5,19	5,13
Visangu keskne kaldenurk [deg]	58,17	58,17	58,17	58,17	58,17	58,17	58,17	58,17	57,84	57,54	57,26	56,99		
Mehhaaniline pinge [N/mm <sup>2</sup> ]	57,45	59,78	61,99	64,03	65,89	67,58	69,10	70,06	70,87	71,56	72,13	72,60		
Tõmbe jõud [N]	3562	3706	3843	3970	4085	4190	4284	4344	4386	4422	4452	4478		
Vertikaalne riipe [m]	0,19	0,28	0,39	0,51	0,65	0,81	0,97	1,16	1,37	1,59	1,83	2,07		
Capacity [%]	28,72	29,89	30,99	32,01	32,95	33,79	34,55	35,03	35,44	35,78	36,06	36,30		
Deformatsioon koormusest [%]	0,097	0,101	0,105	0,109	0,112	0,115	0,117	0,119	0,120	0,121	0,122	0,122		
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,009	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,011		
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	2,7	3,2	3,7	4,1	4,5	4,9	5,2	5,4	5,6	5,7	5,8	5,8		
Summaarne koormus [N/m]	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41		
Vertikaalne koormus [N/m]	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41		
Horisontaalne koormus [N/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Visangu keskne kaldenurk [deg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Mehhaaniline pinge [N/mm <sup>2</sup> ]	68,60	73,74	78,50	82,88	86,90	90,59	93,98	97,09	99,95	102,57	104,99	107,20		
Tõmbe jõud [N]	4253	4572	4967	5338	5685	6009	6309	6585	6837	7066	7272	7457		
Vertikaalne riipe [m]	0,49	0,71	0,96	1,24	1,55	1,88	2,23	2,62	3,02	3,46	3,92	4,39		
Capacity [%]	34,30	36,87	39,25	41,44	43,45	45,29	46,99	48,54	49,97	51,29	52,50	53,62		
Deformatsioon koormusest [%]	0,116	0,125	0,133	0,140	0,147	0,154	0,159	0,165	0,169	0,174	0,178	0,181		
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,010	0,012	0,014	0,016	0,017	0,019	0,020	0,022	0,023	0,024	0,025	0,025		
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	5,1	6,2	7,2	8,1	9,0	9,8	10,5	11,2	11,8	12,4	12,9	13,4		
Summaarne koormus [N/m]	11,51	11,51	11,51	11,51	11,51	11,51	11,51	11,51	11,46	11,41	11,42	11,42		
Vertikaalne koormus [N/m]	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41		
Horisontaalne koormus [N/m]	4,92	4,92	4,92	4,92	4,92	4,92	4,92	4,86	4,80	4,75	4,70	4,65		
Visangu keskne kaldenurk [deg]	25,31	25,31	25,31	25,31	25,31	25,31	25,31	25,03	24,77	24,54	24,32	24,10		
Mehhaaniline pinge [N/mm <sup>2</sup> ]	71,54	77,33	82,67	87,59	92,12	96,28	100,12	103,49	106,59	109,43	112,05	114,47		
Tõmbe jõud [N]	4436	4794	5126	5431	5711	5970	6207	6416	6608	6785	6947	7105		
Vertikaalne riipe [m]	0,47	0,68	0,91	1,17	1,46	1,77	2,10	2,45	2,83	3,24	3,67	4,12		
Capacity [%]	35,77	38,66	41,34	43,80	46,06	48,14	50,06	51,75	53,29	54,72	56,03	57,25		
Deformatsioon koormusest [%]	0,121	0,131	0,140	0,148	0,156	0,163	0,170	0,175	0,181	0,185	0,190	0,194		
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,011	0,013	0,016	0,018	0,019	0,021	0,023	0,024	0,025	0,027	0,028	0,028		
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	5,7	7,0	8,1	9,2	10,1	11,0	11,9	12,6	13,2	13,9	14,4	14,8		

5	3b Suur tuulekoormus, 0 deg + nimijäitekoormus	Summaarne koormus [N/m]	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,25	8,20	8,16	8,12	
		Vertikaalne koormus [N/m]	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81
		Horisontaalne koormus [N/m]	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	5,86	5,79	5,72	5,67
		Visangu keskne kaldenurk [deg]	45,59	45,59	45,59	45,59	45,59	45,59	45,59	45,22	44,88	44,57	44,28	44,28
		Mehhaaniline pingeline [N/mm <sup>2</sup> ]	62,88	66,68	70,21	73,47	76,45	79,18	81,66	83,56	85,27	86,78	88,13	88,13
		Tõmbejõud [N]	3899	4134	4353	4555	4740	4909	5063	5181	5286	5380	5464	5464
		Vertikaalne riipe [m]	0,30	0,44	0,60	0,78	0,98	1,20	1,43	1,70	1,98	2,28	2,61	2,61
		Capacity [%]	31,44	33,34	35,11	36,74	38,23	39,59	40,83	41,78	42,63	43,39	44,07	44,07
		Deformatsioon koormusest [%]	0,107	0,113	0,119	0,125	0,130	0,134	0,138	0,142	0,145	0,147	0,149	0,149
		Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,007	0,009	0,010	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,017	0,018	0,018
		Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	3,8	4,7	5,4	6,1	6,8	7,3	7,9	8,3	8,7	9,0	9,3	9,3
		Summaarne koormus [N/m]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34
		Vertikaalne koormus [N/m]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34
		Horisontaalne koormus [N/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Visangu keskne kaldenurk [deg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Mehhaaniline pingeline [N/mm <sup>2</sup> ]	86,22	84,05	81,52	78,72	75,76	72,74	69,79	66,99	64,41	62,11	60,08	60,08		
Tõmbejõud [N]	5346	5211	5054	4881	4697	4510	4327	4153	3994	3851	3725	3725		
Vertikaalne riipe [m]	0,12	0,20	0,30	0,42	0,57	0,75	0,96	1,21	1,50	1,83	2,19	2,19		
Capacity [%]	43,11	42,02	40,76	39,36	37,88	36,37	34,89	33,49	32,21	31,05	30,04	30,04		
Deformatsioon koormusest [%]	0,146	0,142	0,138	0,133	0,128	0,123	0,118	0,114	0,109	0,105	0,102	0,102		
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,017	0,016	0,015	0,014	0,013	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006	0,006		
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	8,9	8,4	7,9	7,3	6,6	6,0	5,3	4,7	4,2	3,7	3,2	3,2		
Summaarne koormus [N/m]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34		
Vertikaalne koormus [N/m]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34		
Horisontaalne koormus [N/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Visangu keskne kaldenurk [deg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Mehhaaniline pingeline [N/mm <sup>2</sup> ]	20,68	23,40	25,73	27,75	29,51	31,04	32,39	33,57	34,61	35,53	36,35	36,35		
Tõmbejõud [N]	1282	1451	1595	1720	1829	1925	2008	2081	2146	2203	2254	2254		
Vertikaalne riipe [m]	0,52	0,72	0,94	1,19	1,46	1,75	2,08	2,42	2,80	3,20	3,63	3,63		
Capacity [%]	10,34	11,70	12,86	13,87	14,75	15,52	16,19	16,78	17,31	17,77	18,18	18,18		
Deformatsioon koormusest [%]	0,035	0,040	0,044	0,047	0,050	0,053	0,055	0,057	0,059	0,060	0,062	0,062		
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Summaarne koormus [N/m]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34		
Vertikaalne koormus [N/m]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34		
Horisontaalne koormus [N/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Visangu keskne kaldenurk [deg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Mehhaaniline pingeline [N/mm <sup>2</sup> ]	17,97	20,78	23,22	25,36	27,24	28,90	30,37	31,67	32,83	33,86	34,78	34,78		
Tõmbejõud [N]	1114	1288	1440	1572	1689	1792	1883	1964	2035	2099	2156	2156		
Vertikaalne riipe [m]	0,60	0,81	1,04	1,30	1,58	1,88	2,21	2,57	2,95	3,36	3,79	3,79		
Capacity [%]	8,99	10,39	11,61	12,68	13,62	14,45	15,18	15,84	16,41	16,93	17,39	17,39		
Deformatsioon koormusest [%]	0,030	0,035	0,039	0,043	0,046	0,049	0,051	0,054	0,056	0,057	0,059	0,059		
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Summaarne koormus [N/m]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34		
Vertikaalne koormus [N/m]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34		
Horisontaalne koormus [N/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Visangu keskne kaldenurk [deg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Mehhaaniline pingeline [N/mm <sup>2</sup> ]	15,98	18,76	21,23	23,41	25,36	27,09	28,64	30,02	31,26	32,37	33,37	33,37		
Tõmbejõud [N]	991	1163	1316	1452	1572	1680	1776	1861	1938	2007	2069	2069		
Vertikaalne riipe [m]	0,67	0,90	1,14	1,41	1,70	2,01	2,35	2,71	3,10	3,51	3,95	3,95		
Capacity [%]	7,99	9,38	10,61	11,71	12,68	13,55	14,32	15,01	15,63	16,19	16,69	16,69		
Deformatsioon koormusest [%]	0,027	0,032	0,036	0,040	0,043	0,046	0,049	0,051	0,053	0,055	0,057	0,057		
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Summaarne koormus [N/m]	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71		
Vertikaalne koormus [N/m]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34		
Horisontaalne koormus [N/m]	3,32	3,32	3,32	3,32	3,32	3,32	3,32	3,32	3,32	3,32	3,32	3,32		
Visangu keskne kaldenurk [deg]	58,17	58,17	58,17	58,17	58,17	58,17	58,17	58,17	57,84	57,54	57,26	56,99		
Mehhaaniline pingeline [N/mm <sup>2</sup> ]	38,06	40,67	42,99	45,05	46,86	48,46	49,88	51,13	52,24	53,23	54,11	54,11		
Tõmbejõud [N]	2359	2521	2665	2793	2905	3003	3170	3300	3400	3480	3550	3550		
Vertikaalne riipe [m]	0,28	0,41	0,56	0,73	0,92	1,12	1,35	1,59	1,85	2,13	2,44	2,44		
Capacity [%]	19,03	20,33	21,49	22,52	23,43	24,23	24,94	25,57	26,12	26,62	27,05	27,05		
Deformatsioon koormusest [%]	0,065	0,069	0,073	0,076	0,079	0,082	0,085	0,087	0,089	0,090	0,092	0,092		
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004		
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	1,8	2,0	2,0		

11 Nimituulekoormus, 0 deg. õhkvahemik	Summaarne koormus [N/m]	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85
	Vertikaalne koormus [N/m]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34
	Horisontaalne koormus [N/m]	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93
	Visangu keskne kaldenurk [deg]	43,06	43,06	43,06	43,06	43,06	43,06	43,06	42,69	42,36	42,05	41,76
	Mehhaaniline pinge [N/mm <sup>2</sup> ]	34,87	36,77	38,46	39,94	41,24	42,37	43,36	44,22	44,98	45,64	46,22
	Tõmbe jõud [N]	2162	2280	2385	2477	2557	2627	2688	2742	2789	2830	2866
	Vertikaalne riipe [m]	0,31	0,46	0,63	0,82	1,04	1,29	1,55	1,84	2,15	2,49	2,85
	Capacity [%]	17,44	18,39	19,23	19,97	20,62	21,19	21,68	22,11	22,49	22,82	23,11
	Deformatsioon koormusest [%]	0,059	0,062	0,065	0,068	0,070	0,072	0,073	0,075	0,076	0,077	0,078
	Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
	Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3

Märkused

Summaarne koormus [N/m]	- Summaarne koormus juhtme omakaalust, jätekoormusest ja tuulekoormusest
Vertikaalne koormus [N/m]	- Vertikaalne koormus juhtme omakaalust ja jätekoormusest
Horisontaalne koormus [N/m]	- Horisontaalne koormus juhtme tuulekoormusest
Visangu keskne kaldenurk [deg]	- Juhnte kõrvalekalle visangu keskel tuulekoormusest
Mehhaaniline pinge [N/mm <sup>2</sup> ]	- Juhnte mehaaniline pinge
Tõmbe jõud [N]	- Juhnte tõmbe jõud
Vertikaalne riipe [m]	- Juhnte vertikaalne riipe visangu keskel
Capacity [%]	- Juhnte koormuse äärmuslik protsent
Deformatsioon koormusest [%]	- Juhnte deformatsioon
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	- Juhnte plastne deformatsioon peale koormust
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	- Juhnte ekvivalentne temperatuuri kasv, mis on põhjustatud plastsest deformatsioonist

Faasijuhme CCST ACSR 62-AL1/ST1A W paigaldustabel

Lisa 2

Taandatud visang / visang	Sümbolid	Faasijuhme mehaaniline pinge S [N/mm <sup>2</sup> ] Faasijuhme tõmbejõud T [N] 1 faasijuhme monteerimisjõud 1T [N] Taandatud visangu ripe f <sub>r</sub> / visangu ripe f <sub>s</sub> [m]												Aasta keskmine pinge N/mm <sup>2</sup>	
		Õhutemperatuur [°C]													
m		-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	
Faasijuhme 1 x CCST ACSR 62-AL1/ST1A W															
40	S	91,71	86,22	80,77	75,37	70,02	64,75	59,58	54,53	49,66	45,00	40,62	36,56	32,90	45
	T	5686	5346	5008	4673	4341	4014	3694	3381	3079	2790	2518	2267	2040	
	1T	5686	5346	5008	4673	4341	4014	3694	3381	3079	2790	2518	2267	2040	
	f <sub>r</sub>	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,29	0,33	
30	f <sub>s</sub>	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17	0,18	
40	f <sub>s</sub>	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,29	0,33	
50	f <sub>s</sub>	0,18	0,19	0,21	0,22	0,24	0,26	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,46	0,51	
60	f <sub>s</sub>	0,26	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37	0,41	0,44	0,49	0,54	0,60	0,66	0,74	
50	S	89,42	84,05	78,73	73,49	68,34	63,31	58,42	53,71	49,22	45,00	41,09	37,52	34,32	45
	T	5544	5211	4881	4557	4237	3925	3622	3330	3052	2790	2547	2326	2128	
	1T	5544	5211	4881	4557	4237	3925	3622	3330	3052	2790	2547	2326	2128	
	f <sub>r</sub>	0,19	0,20	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,34	0,37	0,41	0,45	0,49	
40	f <sub>s</sub>	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,29	0,31	
50	f <sub>s</sub>	0,19	0,20	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,34	0,37	0,41	0,45	0,49	
60	f <sub>s</sub>	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,38	0,41	0,45	0,49	0,54	0,59	0,65	0,71	
70	f <sub>s</sub>	0,37	0,39	0,42	0,45	0,48	0,52	0,56	0,61	0,67	0,73	0,80	0,88	0,96	
60	S	86,73	81,52	76,39	71,36	66,47	61,73	57,18	52,85	48,78	45,00	41,53	38,40	35,59	45
	T	5377	5054	4736	4425	4121	3827	3545	3277	3024	2790	2575	2381	2206	
	1T	5377	5054	4736	4425	4121	3827	3545	3277	3024	2790	2575	2381	2206	
	f <sub>r</sub>	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,39	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,63	0,68	
50	f <sub>s</sub>	0,19	0,21	0,22	0,24	0,25	0,27	0,29	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	
60	f <sub>s</sub>	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,39	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,63	0,68	
70	f <sub>s</sub>	0,38	0,40	0,43	0,46	0,50	0,53	0,58	0,62	0,68	0,73	0,79	0,86	0,93	
80	f <sub>s</sub>	0,50	0,53	0,56	0,60	0,65	0,70	0,75	0,81	0,88	0,96	1,04	1,12	1,21	
90	f <sub>s</sub>	0,63	0,67	0,71	0,76	0,82	0,88	0,95	1,03	1,12	1,21	1,31	1,42	1,53	
70	S	83,73	78,72	73,83	69,07	64,49	60,09	55,92	52,00	48,36	45,00	41,94	39,17	36,69	45
	T	5191	4881	4577	4283	3998	3726	3467	3224	2998	2790	2600	2429	2275	
	1T	5191	4881	4577	4283	3998	3726	3467	3224	2998	2790	2600	2429	2275	
	f <sub>r</sub>	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,55	0,59	0,63	0,68	0,73	0,79	0,84	0,90	
50	f <sub>s</sub>	0,20	0,21	0,23	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37	0,40	0,43	0,46	
60	f <sub>s</sub>	0,29	0,31	0,33	0,35	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,54	0,58	0,62	0,66	
70	f <sub>s</sub>	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,55	0,59	0,63	0,68	0,73	0,79	0,84	0,90	
80	f <sub>s</sub>	0,51	0,55	0,58	0,62	0,67	0,72	0,77	0,83	0,89	0,96	1,03	1,10	1,17	
90	f <sub>s</sub>	0,65	0,69	0,74	0,79	0,84	0,91	0,97	1,05	1,13	1,21	1,30	1,39	1,48	
100	f <sub>s</sub>	0,80	0,85	0,91	0,97	1,04	1,12	1,20	1,29	1,39	1,49	1,60	1,72	1,83	



Faasijuhme CCST ACSR 62-AL1/ST1A W paigaldustabel

Taandatud visang / visang	Sümbolid	Faasijuhme mehaaniline pinge S [N/mm <sup>2</sup> ] Faasijuhme tõmbejõud T [N] 1 faasijuhme monteerimisjõud 1T [N] Taandatud visangu ripe f <sub>r</sub> / visangu ripe f <sub>s</sub> [m] Õhutemperatuur [°C]												Aasta keskmine pinge N/mm <sup>2</sup>		
		-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25		30	
<b>Faasijuhme 1 x CCST ACSR 62-AL1/ST1A W</b>																
80	S	80,51	75,76	71,16	66,73	62,49	58,48	54,72	51,21	47,97	45,00	42,30	39,85	37,65	45	
	T	4992	4697	4412	4137	3875	3626	3392	3175	2974	2790	2623	2471	2334		
	1T	4992	4697	4412	4137	3875	3626	3392	3175	2974	2790	2623	2471	2334		
	f <sub>r</sub>	0,53	0,57	0,60	0,64	0,69	0,74	0,79	0,84	0,90	0,96	1,02	1,08	1,14		
60	f <sub>s</sub>	0,30	0,32	0,34	0,36	0,39	0,41	0,44	0,47	0,50	0,54	0,57	0,61	0,64	45	
70	f <sub>s</sub>	0,41	0,43	0,46	0,49	0,53	0,56	0,60	0,64	0,69	0,73	0,78	0,83	0,88		
80	f <sub>s</sub>	0,53	0,57	0,60	0,64	0,69	0,74	0,79	0,84	0,90	0,96	1,02	1,08	1,14		
90	f <sub>s</sub>	0,68	0,72	0,77	0,82	0,87	0,93	1,00	1,06	1,14	1,21	1,29	1,37	1,45		
100	f <sub>s</sub>	0,84	0,89	0,95	1,01	1,08	1,15	1,23	1,31	1,40	1,49	1,59	1,69	1,79		
110	f <sub>s</sub>	1,01	1,07	1,14	1,22	1,30	1,39	1,49	1,59	1,70	1,81	1,92	2,04	2,16		
90	S	77,19	72,74	68,48	64,41	60,57	56,96	53,60	50,48	47,62	45,00	42,61	40,44	38,48		45
	T	4786	4510	4246	3994	3755	3532	3323	3130	2952	2790	2642	2508	2386		
	1T	4786	4510	4246	3994	3755	3532	3323	3130	2952	2790	2642	2508	2386		
	f <sub>r</sub>	0,71	0,75	0,80	0,85	0,90	0,96	1,02	1,08	1,14	1,21	1,28	1,35	1,42		
70	f <sub>s</sub>	0,43	0,45	0,48	0,51	0,54	0,58	0,61	0,65	0,69	0,73	0,77	0,81	0,86	45	
80	f <sub>s</sub>	0,56	0,59	0,63	0,67	0,71	0,76	0,80	0,85	0,90	0,96	1,01	1,06	1,12		
90	f <sub>s</sub>	0,71	0,75	0,80	0,85	0,90	0,96	1,02	1,08	1,14	1,21	1,28	1,35	1,42		
100	f <sub>s</sub>	0,87	0,92	0,98	1,04	1,11	1,18	1,25	1,33	1,41	1,49	1,58	1,66	1,75		
110	f <sub>s</sub>	1,05	1,12	1,19	1,26	1,34	1,43	1,52	1,61	1,71	1,81	1,91	2,01	2,11		
120	f <sub>s</sub>	1,25	1,33	1,41	1,50	1,60	1,70	1,81	1,92	2,03	2,15	2,27	2,39	2,52		
130	f <sub>s</sub>	1,47	1,56	1,66	1,76	1,88	2,00	2,12	2,25	2,39	2,53	2,67	2,81	2,95		
140	f <sub>s</sub>	1,71	1,81	1,92	2,05	2,18	2,31	2,46	2,61	2,77	2,93	3,09	3,26	3,43		
100	S	73,88	69,79	65,90	62,22	58,78	55,57	52,59	49,84	47,31	45,00	42,89	40,95	39,19		45
	T	4580	4327	4086	3858	3644	3445	3260	3090	2933	2790	2659	2539	2430		
	1T	4580	4327	4086	3858	3644	3445	3260	3090	2933	2790	2659	2539	2430		
	f <sub>r</sub>	0,91	0,96	1,02	1,08	1,14	1,21	1,28	1,35	1,42	1,49	1,57	1,64	1,72		
80	f <sub>s</sub>	0,58	0,62	0,65	0,69	0,73	0,77	0,82	0,86	0,91	0,96	1,00	1,05	1,10	45	
90	f <sub>s</sub>	0,74	0,78	0,83	0,88	0,93	0,98	1,04	1,09	1,15	1,21	1,27	1,33	1,39		
100	f <sub>s</sub>	0,91	0,96	1,02	1,08	1,14	1,21	1,28	1,35	1,42	1,49	1,57	1,64	1,72		
110	f <sub>s</sub>	1,10	1,17	1,23	1,31	1,38	1,46	1,55	1,63	1,72	1,81	1,90	1,99	2,08		
120	f <sub>s</sub>	1,31	1,39	1,47	1,56	1,65	1,74	1,84	1,94	2,05	2,15	2,26	2,36	2,47		
130	f <sub>s</sub>	1,54	1,63	1,72	1,83	1,93	2,05	2,16	2,28	2,40	2,53	2,65	2,77	2,90		
140	f <sub>s</sub>	1,78	1,89	2,00	2,12	2,24	2,37	2,51	2,64	2,79	2,93	3,07	3,22	3,36		

Faasijuhme CCST ACSR 62-AL1/ST1A W paigaldustabel

Taandatud visang / visang	Sümbolid	Faasijuhme mehaaniline pinge S [N/mm <sup>2</sup> ] Faasijuhme tõmbejõud T [N] 1 faasijuhme monteerimisjõud 1T [N] Taandatud visangu ripe f <sub>r</sub> / visangu ripe f <sub>s</sub> [m]												Aasta keskmine pinge		
		Õhutemperatuur [°C]														
m		-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	N/mm <sup>2</sup>	
Faasijuhme 1 x CCST ACSR 62-AL1/ST1A W																
110	S	70,69	66,99	63,49	60,21	57,16	54,32	51,69	49,27	47,05	45,00	43,12	41,40	39,81	45	
	T	4383	4153	3936	3733	3544	3368	3205	3055	2917	2790	2674	2567	2468		
	1T	4383	4153	3936	3733	3544	3368	3205	3055	2917	2790	2674	2567	2468		
	f <sub>r</sub>	1,15	1,21	1,28	1,35	1,42	1,50	1,57	1,65	1,73	1,81	1,89	1,97	2,04		
80	f <sub>s</sub>	0,61	0,64	0,68	0,71	0,75	0,79	0,83	0,87	0,91	0,96	1,00	1,04	1,08	45	
90	f <sub>s</sub>	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00	1,05	1,11	1,16	1,21	1,26	1,32	1,37		
100	f <sub>s</sub>	0,95	1,00	1,06	1,12	1,18	1,24	1,30	1,36	1,43	1,49	1,56	1,62	1,69		
110	f <sub>s</sub>	1,15	1,21	1,28	1,35	1,42	1,50	1,57	1,65	1,73	1,81	1,89	1,97	2,04		
120	f <sub>s</sub>	1,37	1,45	1,53	1,61	1,69	1,78	1,87	1,97	2,06	2,15	2,25	2,34	2,43		
130	f <sub>s</sub>	1,61	1,70	1,79	1,89	1,99	2,09	2,20	2,31	2,42	2,53	2,64	2,75	2,85		
140	f <sub>s</sub>	1,86	1,97	2,08	2,19	2,31	2,43	2,55	2,67	2,80	2,93	3,06	3,18	3,31		
120	S	67,72	64,41	61,31	58,41	55,72	53,23	50,92	48,78	46,82	45,00	43,32	41,78	40,35		45
	T	4199	3994	3801	3622	3455	3300	3157	3025	2903	2790	2686	2590	2502		
	1T	4199	3994	3801	3622	3455	3300	3157	3025	2903	2790	2686	2590	2502		
	f <sub>r</sub>	1,43	1,50	1,58	1,66	1,74	1,82	1,90	1,98	2,07	2,15	2,24	2,32	2,40		
100	f <sub>s</sub>	0,99	1,04	1,10	1,15	1,21	1,26	1,32	1,38	1,44	1,49	1,55	1,61	1,67	45	
110	f <sub>s</sub>	1,20	1,26	1,33	1,39	1,46	1,53	1,60	1,67	1,74	1,81	1,88	1,95	2,02		
120	f <sub>s</sub>	1,43	1,50	1,58	1,66	1,74	1,82	1,90	1,98	2,07	2,15	2,24	2,32	2,40		
130	f <sub>s</sub>	1,68	1,76	1,85	1,95	2,04	2,14	2,23	2,33	2,43	2,53	2,62	2,72	2,82		
140	f <sub>s</sub>	1,95	2,05	2,15	2,26	2,37	2,48	2,59	2,70	2,82	2,93	3,04	3,15	3,27		
130	S	65,03	62,11	59,38	56,83	54,47	52,28	50,24	48,36	46,62	45,00	43,50	42,11	40,81		45
	T	4032	3851	3681	3524	3377	3241	3115	2998	2890	2790	2697	2611	2530		
	1T	4032	3851	3681	3524	3377	3241	3115	2998	2890	2790	2697	2611	2530		
	f <sub>r</sub>	1,75	1,83	1,91	2,00	2,09	2,17	2,26	2,35	2,44	2,53	2,61	2,70	2,78		
100	f <sub>s</sub>	1,03	1,08	1,13	1,18	1,23	1,29	1,34	1,39	1,44	1,49	1,55	1,60	1,65		45
110	f <sub>s</sub>	1,25	1,31	1,37	1,43	1,49	1,56	1,62	1,68	1,75	1,81	1,87	1,93	1,99		
120	f <sub>s</sub>	1,49	1,56	1,63	1,70	1,78	1,85	1,93	2,00	2,08	2,15	2,23	2,30	2,37		
130	f <sub>s</sub>	1,75	1,83	1,91	2,00	2,09	2,17	2,26	2,35	2,44	2,53	2,61	2,70	2,78		
140	f <sub>s</sub>	2,03	2,12	2,22	2,32	2,42	2,52	2,62	2,73	2,83	2,93	3,03	3,13	3,23		
140	S	62,65	60,08	57,69	55,46	53,39	51,46	49,66	48,00	46,45	45,00	43,65	42,39	41,22	45	
	T	3884	3725	3577	3438	3310	3190	3079	2976	2880	2790	2706	2628	2556		
	1T	3884	3725	3577	3438	3310	3190	3079	2976	2880	2790	2706	2628	2556		
	f <sub>r</sub>	2,10	2,19	2,28	2,38	2,47	2,56	2,65	2,75	2,84	2,93	3,02	3,11	3,20		
110	f <sub>s</sub>	1,30	1,35	1,41	1,47	1,52	1,58	1,64	1,70	1,75	1,81	1,86	1,92	1,97	45	
120	f <sub>s</sub>	1,55	1,61	1,68	1,75	1,81	1,88	1,95	2,02	2,08	2,15	2,22	2,28	2,35		
130	f <sub>s</sub>	1,81	1,89	1,97	2,05	2,13	2,21	2,29	2,37	2,45	2,53	2,60	2,68	2,76		
140	f <sub>s</sub>	2,10	2,19	2,28	2,38	2,47	2,56	2,65	2,75	2,84	2,93	3,02	3,11	3,20		

Venimise ekvivalentsed temperatuuri kasvud  
Faasijuhme venimise ekvivalentne temperatuuri kasv 15,0 °C

Ankruvisang		[m]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
Taandatud visang		[m]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
Kõrgus maapinnast		[m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Kõrgus merepinnast		[m]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Juhtme mark			CCST ACSR 99-AL1/ST1A W	CCST ACSR 99-AL1/ST1A W	CCST ACSR 99-AL1/ST1A W	CCST ACSR 99-AL1/ST1A W	CCST ACSR 99-AL1/ST1A W	CCST ACSR 99-AL1/ST1A W	CCST ACSR 99-AL1/ST1A W	CCST ACSR 99-AL1/ST1A W	CCST ACSR 99-AL1/ST1A W	CCST ACSR 99-AL1/ST1A W	CCST ACSR 99-AL1/ST1A W	
Osajuhmete arv			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<b>Mehhaanilised pinged</b>														
Aasta keskmine pinge [N/mm <sup>2</sup> ]			45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	
Maksimaalne lubatud pinge [N/mm <sup>2</sup> ]			196,6	196,6	196,6	196,6	196,6	196,6	196,6	196,6	196,6	196,6	196,6	
<b>Lähteandmed</b>														
Omakaal [N/m]			4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	
Tuule baaskiirus [m/s]			18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	
Jäte baaspaksus [mm]			10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
<b>Režiimi nimi</b>														
1	Aasta keskmine pingsus	Summaarne koormus [N/m]	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	
		Vertikaalne koormus [N/m]	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	
		Horisontaalne koormus [N/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Visangu keskne kaldenurk [deg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Mehhaaniline pinge [N/mm <sup>2</sup> ]	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00
		Tõmbe jõud [N]	4455	4455	4455	4455	4455	4455	4455	4455	4455	4455	4455	4455
		Vertikaalne riipe [m]	0,22	0,35	0,50	0,68	0,89	1,12	1,39	1,68	2,00	2,34	2,72	2,72
		Capacity [%]	22,89	22,89	22,89	22,89	22,89	22,89	22,89	22,89	22,89	22,89	22,89	22,89
		Deformatsioon koormusest [%]	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076
		Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Summaarne koormus [N/m]	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02	7,95	7,90	7,84	7,80
		Vertikaalne koormus [N/m]	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94
		Horisontaalne koormus [N/m]	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,23	6,16	6,09	6,03
Visangu keskne kaldenurk [deg]	51,92	51,92	51,92	51,92	51,92	51,92	51,92	51,92	51,56	51,23	50,93	50,65		
2	1a Piirtoolekoormus, 0 deg	Mehhaaniline pinge [N/mm <sup>2</sup> ]	54,50	55,96	57,38	58,73	59,97	61,10	62,13	62,76	63,29	63,73	64,09	
		Tõmbe jõud [N]	5396	5540	5681	5814	5937	6049	6151	6213	6265	6309	6345	
		Vertikaalne riipe [m]	0,18	0,28	0,39	0,52	0,67	0,83	1,00	1,20	1,42	1,66	1,91	
		Capacity [%]	27,72	28,46	29,18	29,87	30,50	31,08	31,60	31,92	32,19	32,41	32,59	
		Deformatsioon koormusest [%]	0,092	0,095	0,097	0,100	0,102	0,104	0,105	0,106	0,107	0,108	0,109	
		Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	
		Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	2,0	2,4	2,7	3,0	3,2	3,5	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	
		Summaarne koormus [N/m]	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77
		Vertikaalne koormus [N/m]	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77
		Horisontaalne koormus [N/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Visangu keskne kaldenurk [deg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Mehhaaniline pinge [N/mm <sup>2</sup> ]	62,54	66,33	69,89	73,20	76,27	79,08	81,67	84,05	86,23	88,23	90,07	
		Tõmbe jõud [N]	6192	6566	6919	7247	7550	7829	8085	8321	8537	8735	8917	
		Vertikaalne riipe [m]	0,41	0,61	0,83	1,08	1,35	1,65	1,97	2,32	2,69	3,09	3,51	
Capacity [%]	31,81	33,73	35,54	37,23	38,79	40,22	41,53	42,74	43,85	44,87	45,81			
Deformatsioon koormusest [%]	0,106	0,112	0,118	0,124	0,129	0,134	0,138	0,142	0,146	0,150	0,153			
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,007	0,009	0,010	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019			
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	3,8	4,6	5,4	6,1	6,7	7,3	7,9	8,4	8,9	9,3	9,7			
4	3a Piirjätkekoormus + nimitulekoormus, 0 deg	Summaarne koormus [N/m]	13,82	13,82	13,82	13,82	13,82	13,82	13,82	13,82	13,77	13,75	13,73	
		Vertikaalne koormus [N/m]	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	
		Horisontaalne koormus [N/m]	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,23	5,17	5,11	5,06	
		Visangu keskne kaldenurk [deg]	22,54	22,54	22,54	22,54	22,54	22,54	22,54	22,28	22,04	21,83	21,63	
		Mehhaaniline pinge [N/mm <sup>2</sup> ]	64,34	68,57	72,54	76,23	79,64	82,78	85,67	88,23	90,58	92,73	94,70	
		Tõmbe jõud [N]	6370	6789	7182	7547	7884	8195	8481	8735	8967	9180	9375	
		Vertikaalne riipe [m]	0,40	0,59	0,80	1,04	1,30	1,58	1,88	2,21	2,56	2,94	3,34	
		Capacity [%]	32,72	34,87	36,89	38,77	40,50	42,10	43,57	44,87	46,06	47,16	48,16	
		Deformatsioon koormusest [%]	0,109	0,116	0,123	0,129	0,135	0,140	0,145	0,150	0,154	0,157	0,161	
		Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,008	0,010	0,011	0,013	0,014	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	
		Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	4,2	5,1	5,9	6,7	7,4	8,1	8,7	9,3	9,8	10,3	10,7	

5	3b Suur tuulekoormus, 0 deg + nimijäitekoormus	Summaarne koormus [N/m]	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	10,03	9,99	9,94	9,90	
		Vertikaalne koormus [N/m]	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68
		Horisontaalne koormus [N/m]	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,46	6,38	6,31	6,25
		Visangu keskne kaldenurk [deg]	40,41	40,41	40,41	40,41	40,41	40,41	40,41	40,41	40,04	39,71	39,41	39,13
		Mehhaaniline pingeline [N/mm <sup>2</sup> ]	57,97	60,52	62,95	65,23	67,33	69,25	71,01	72,37	73,58	74,66	75,62	76,46
		Tõmbejõud [N]	5739	5991	6232	6458	6665	6856	7030	7165	7285	7391	7486	7568
		Vertikaalne riipe [m]	0,27	0,40	0,55	0,73	0,92	1,13	1,37	1,62	1,90	2,20	2,51	2,81
		Capacity [%]	29,48	30,78	32,02	33,17	34,24	35,22	36,11	36,81	37,42	37,97	38,46	38,86
		Deformatsioon koormusest [%]	0,098	0,103	0,107	0,111	0,114	0,117	0,120	0,123	0,125	0,127	0,128	0,128
		Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,011	0,012	0,012	0,013	0,013
		Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	2,8	3,3	3,9	4,3	4,8	5,2	5,6	5,9	6,1	6,4	6,6	6,6
		Summaarne koormus [N/m]	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94
		Vertikaalne koormus [N/m]	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94
		Horisontaalne koormus [N/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Visangu keskne kaldenurk [deg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Mehhaaniline pingeline [N/mm <sup>2</sup> ]	86,77	84,87	82,64	80,15	77,47	74,69	71,90	69,18	66,61	64,25	62,11	60,16		
Tõmbejõud [N]	8590	8402	8182	7935	7670	7394	7118	6849	6594	6360	6149	5958		
Vertikaalne riipe [m]	0,12	0,18	0,27	0,38	0,52	0,68	0,87	1,09	1,35	1,64	1,97	2,34		
Capacity [%]	44,13	43,16	42,03	40,76	39,40	37,98	36,56	35,18	33,88	32,67	31,59	30,61		
Deformatsioon koormusest [%]	0,147	0,144	0,140	0,136	0,131	0,127	0,122	0,117	0,113	0,109	0,105	0,105		
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,017	0,016	0,016	0,015	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,007		
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	9,0	8,6	8,1	7,6	7,0	6,4	5,8	5,2	4,6	4,1	3,7	3,3		
Summaarne koormus [N/m]	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94		
Vertikaalne koormus [N/m]	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94		
Horisontaalne koormus [N/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Visangu keskne kaldenurk [deg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Mehhaaniline pingeline [N/mm <sup>2</sup> ]	19,82	22,47	24,77	26,77	28,53	30,07	31,44	32,65	33,72	34,68	35,53	36,28		
Tõmbejõud [N]	1962	2225	2452	2650	2824	2977	3113	3232	3339	3433	3518	3594		
Vertikaalne riipe [m]	0,50	0,69	0,91	1,14	1,40	1,68	1,99	2,31	2,67	3,04	3,44	3,88		
Capacity [%]	10,08	11,43	12,60	13,61	14,51	15,29	15,99	16,60	17,15	17,64	18,07	18,45		
Deformatsioon koormusest [%]	0,034	0,038	0,042	0,045	0,048	0,051	0,053	0,055	0,057	0,059	0,060	0,060		
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Summaarne koormus [N/m]	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94		
Vertikaalne koormus [N/m]	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94		
Horisontaalne koormus [N/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Visangu keskne kaldenurk [deg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Mehhaaniline pingeline [N/mm <sup>2</sup> ]	17,09	19,82	22,21	24,32	26,19	27,85	29,33	30,66	31,84	32,90	33,86	34,74		
Tõmbejõud [N]	1692	1962	2199	2408	2593	2757	2904	3035	3152	3257	3352	3438		
Vertikaalne riipe [m]	0,58	0,79	1,01	1,26	1,53	1,82	2,13	2,46	2,82	3,21	3,61	4,01		
Capacity [%]	8,69	10,08	11,29	12,37	13,32	14,16	14,92	15,59	16,19	16,73	17,22	17,66		
Deformatsioon koormusest [%]	0,029	0,034	0,038	0,041	0,044	0,047	0,050	0,052	0,054	0,056	0,057	0,057		
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Summaarne koormus [N/m]	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94		
Vertikaalne koormus [N/m]	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94		
Horisontaalne koormus [N/m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Visangu keskne kaldenurk [deg]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Mehhaaniline pingeline [N/mm <sup>2</sup> ]	15,12	17,81	20,20	22,35	24,27	26,00	27,55	28,95	30,21	31,34	32,37	33,30		
Tõmbejõud [N]	1497	1763	2000	2213	2403	2574	2727	2866	2990	3103	3205	3297		
Vertikaalne riipe [m]	0,66	0,88	1,11	1,37	1,65	1,95	2,27	2,61	2,98	3,37	3,78	4,20		
Capacity [%]	7,69	9,06	10,28	11,37	12,34	13,22	14,01	14,72	15,36	15,94	16,46	16,93		
Deformatsioon koormusest [%]	0,026	0,030	0,034	0,038	0,041	0,044	0,047	0,049	0,051	0,053	0,055	0,055		
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Summaarne koormus [N/m]	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30		
Vertikaalne koormus [N/m]	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94		
Horisontaalne koormus [N/m]	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90		
Visangu keskne kaldenurk [deg]	51,92	51,92	51,92	51,92	51,92	51,92	51,92	51,56	51,23	50,93	50,65	50,38		
Mehhaaniline pingeline [N/mm <sup>2</sup> ]	35,68	37,83	39,77	41,50	43,03	44,39	45,60	46,67	47,62	48,46	49,21	49,88		
Tõmbejõud [N]	3532	3745	3937	4108	4260	4395	4514	4620	4714	4798	4872	4938		
Vertikaalne riipe [m]	0,28	0,41	0,57	0,74	0,93	1,14	1,37	1,62	1,89	2,18	2,49	2,81		
Capacity [%]	18,14	19,24	20,22	21,10	21,88	22,58	23,19	23,73	24,22	24,65	25,03	25,36		
Deformatsioon koormusest [%]	0,060	0,064	0,067	0,070	0,073	0,075	0,077	0,079	0,081	0,082	0,083	0,083		
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002		
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	0,7	0,9	0,9		

11 Nimituulekoormus, 0 deg. õhkvahemik	Summaarne koormus [N/m]	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44
	Vertikaalne koormus [N/m]	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94
	Horisontaalne koormus [N/m]	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26
	Visangu keskne kaldenurk [deg]	36,51	36,51	36,51	36,51	36,51	36,51	36,51	36,16	35,84	35,54	35,27
	Mehhaaniline pinga [N/mm <sup>2</sup> ]	33,65	35,31	36,81	38,15	39,33	40,36	41,27	42,07	42,78	43,40	43,94
	Tõmbejõud [N]	3331	3496	3644	3777	3893	3996	4086	4165	4235	4296	4351
	Vertikaalne riipe [m]	0,30	0,44	0,61	0,80	1,02	1,25	1,51	1,80	2,10	2,43	2,78
	Capacity [%]	17,11	17,96	18,72	19,40	20,00	20,53	20,99	21,40	21,75	22,07	22,35
	Deformatsioon koormusest [%]	0,057	0,060	0,062	0,065	0,067	0,068	0,070	0,071	0,073	0,074	0,074
	Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Märkused

Summaarne koormus [N/m]	- Summaarne koormus juhtme omakaalust, jätekoormusest ja tuulekoormusest
Vertikaalne koormus [N/m]	- Vertikaalne koormus juhtme omakaalust ja jätekoormusest
Horisontaalne koormus [N/m]	- Horisontaalne koormus juhtme tuulekoormusest
Visangu keskne kaldenurk [deg]	- Juhnte kõrvalekalle visangu keskel tuulekoormusest
Mehhaaniline pinga [N/mm <sup>2</sup> ]	- Juhnte mehaaniline pinge
Tõmbejõud [N]	- Juhnte tõmbejõud
Vertikaalne riipe [m]	- Juhnte vertikaalne riipe visangu keskel
Capacity [%]	- Juhnte koormuse äärmuslik protsent
Deformatsioon koormusest [%]	- Juhnte deformatsioon
Plastne deformatsioon pärast koormust [%]	- Juhnte plastne deformatsioon peale koormust
Ekvivalentne temperatuuri kasv peale koormust [°C]	- Juhnte ekvivalentne temperatuuri kasv, mis on põhjustatud plastsest deformatsioonist

Taandatud visang / visang	Sümbolid	Faasijuhme mehaaniline pinge S [N/mm <sup>2</sup> ] Faasijuhme tõmbejõud T [N] 1 faasijuhme monteerimisjõud 1T [N] Taandatud visangu ripe f <sub>r</sub> / visangu ripe f <sub>s</sub> [m] Õhutemperatuur [°C]												Aasta keskmine pinge N/mm <sup>2</sup>		
		-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25		30	
Faasijuhme 1 x CCST ACSR 99-AL1/ST1A W																
40	S	92,28	86,77	81,29	75,84	70,45	65,12	59,88	54,76	49,78	45,00	40,48	36,28	32,47	45	
	T	9136	8590	8048	7509	6975	6447	5928	5421	4928	4455	4007	3592	3214		
	1T	9136	8590	8048	7509	6975	6447	5928	5421	4928	4455	4007	3592	3214		
	f <sub>r</sub>	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,25	0,28	0,31		
30	f <sub>s</sub>	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14	0,15	0,17	45	
40	f <sub>s</sub>	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,25	0,28	0,31		
50	f <sub>s</sub>	0,17	0,18	0,19	0,21	0,22	0,24	0,26	0,29	0,31	0,35	0,39	0,43	0,48		
60	f <sub>s</sub>	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,35	0,38	0,41	0,45	0,50	0,56	0,62	0,69		
50	S	90,29	84,87	79,50	74,20	68,97	63,85	58,85	54,01	49,38	45,00	40,92	37,19	33,83		45
	T	8938	8402	7871	7346	6828	6321	5826	5347	4889	4455	4051	3682	3349		
	1T	8938	8402	7871	7346	6828	6321	5826	5347	4889	4455	4051	3682	3349		
	f <sub>r</sub>	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24	0,27	0,29	0,32	0,35	0,38	0,42	0,46		
40	f <sub>s</sub>	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,20	0,22	0,24	0,27	0,30		45
50	f <sub>s</sub>	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24	0,27	0,29	0,32	0,35	0,38	0,42	0,46		
60	f <sub>s</sub>	0,25	0,26	0,28	0,30	0,33	0,35	0,38	0,42	0,46	0,50	0,55	0,60	0,66		
70	f <sub>s</sub>	0,34	0,36	0,38	0,41	0,44	0,48	0,52	0,57	0,62	0,68	0,75	0,82	0,90		
60	S	87,93	82,64	77,43	72,31	67,29	62,42	57,72	53,22	48,97	45,00	41,35	38,03	35,06	45	
	T	8705	8182	7666	7158	6662	6180	5714	5269	4848	4455	4093	3765	3471		
	1T	8705	8182	7666	7158	6662	6180	5714	5269	4848	4455	4093	3765	3471		
	f <sub>r</sub>	0,26	0,27	0,29	0,31	0,33	0,36	0,39	0,42	0,46	0,50	0,54	0,59	0,64		
50	f <sub>s</sub>	0,18	0,19	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,45	45	
60	f <sub>s</sub>	0,26	0,27	0,29	0,31	0,33	0,36	0,39	0,42	0,46	0,50	0,54	0,59	0,64		
70	f <sub>s</sub>	0,35	0,37	0,40	0,42	0,45	0,49	0,53	0,57	0,62	0,68	0,74	0,80	0,87		
80	f <sub>s</sub>	0,45	0,48	0,52	0,55	0,59	0,64	0,69	0,75	0,82	0,89	0,97	1,05	1,14		
90	f <sub>s</sub>	0,58	0,61	0,65	0,70	0,75	0,81	0,88	0,95	1,03	1,12	1,22	1,33	1,44		
70	S	85,27	80,15	75,13	70,24	65,49	60,92	56,55	52,42	48,57	45,00	41,74	38,80	36,16	45	
	T	8442	7935	7438	6954	6483	6031	5598	5190	4808	4455	4132	3841	3579		
	1T	8442	7935	7438	6954	6483	6031	5598	5190	4808	4455	4132	3841	3579		
	f <sub>r</sub>	0,36	0,38	0,41	0,44	0,47	0,50	0,54	0,58	0,63	0,68	0,73	0,79	0,85		
50	f <sub>s</sub>	0,18	0,19	0,21	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37	0,40	0,43	45	
60	f <sub>s</sub>	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62		
70	f <sub>s</sub>	0,36	0,38	0,41	0,44	0,47	0,50	0,54	0,58	0,63	0,68	0,73	0,79	0,85		
80	f <sub>s</sub>	0,47	0,50	0,53	0,57	0,61	0,66	0,71	0,76	0,82	0,89	0,96	1,03	1,11		
90	f <sub>s</sub>	0,59	0,63	0,67	0,72	0,77	0,83	0,89	0,96	1,04	1,12	1,21	1,30	1,40		
100	f <sub>s</sub>	0,73	0,78	0,83	0,89	0,95	1,02	1,10	1,19	1,29	1,39	1,50	1,61	1,73		

Faasijuhme CCST ACSR 99-AL1/ST1A W paigaldustabel

Taandatud visang / visang	Sümbolid	Faasijuhme mehaaniline ping S [N/mm <sup>2</sup> ] Faasijuhme tõmbejõud T [N] 1 faasijuhme monteerimisjõud 1T [N] Taandatud visangu ripe f <sub>r</sub> / visangu ripe f <sub>s</sub> [m] Õhutemperatuur [°C]												Aasta keskmine ping N/mm <sup>2</sup>		
		-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25		30	
<b>Faasijuhme 1 x CCST ACSR 99-AL1/ST1A W</b>																
80	S	82,38	77,47	72,70	68,07	63,63	59,40	55,40	51,66	48,19	45,00	42,10	39,48	37,12	45	
	T	8156	7670	7197	6739	6300	5881	5485	5114	4770	4455	4168	3908	3674		
	1T	8156	7670	7197	6739	6300	5881	5485	5114	4770	4455	4168	3908	3674		
	f <sub>r</sub>	0,48	0,52	0,55	0,59	0,63	0,67	0,72	0,77	0,83	0,89	0,95	1,01	1,08		
60	f <sub>s</sub>	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,50	0,53	0,57	0,61	45	
70	f <sub>s</sub>	0,37	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,55	0,59	0,63	0,68	0,73	0,77	0,82		
80	f <sub>s</sub>	0,48	0,52	0,55	0,59	0,63	0,67	0,72	0,77	0,83	0,89	0,95	1,01	1,08		
90	f <sub>s</sub>	0,61	0,65	0,70	0,74	0,79	0,85	0,91	0,98	1,05	1,12	1,20	1,28	1,36		
100	f <sub>s</sub>	0,76	0,81	0,86	0,92	0,98	1,05	1,13	1,21	1,30	1,39	1,48	1,58	1,68		
110	f <sub>s</sub>	0,92	0,98	1,04	1,11	1,19	1,27	1,36	1,46	1,57	1,68	1,79	1,91	2,04		
90	S	79,34	74,69	70,20	65,90	61,80	57,93	54,31	50,94	47,84	45,00	42,42	40,07	37,96		45
	T	7855	7394	6950	6524	6118	5735	5376	5043	4736	4455	4199	3967	3758		
	1T	7855	7394	6950	6524	6118	5735	5376	5043	4736	4455	4199	3967	3758		
	f <sub>r</sub>	0,64	0,68	0,72	0,77	0,82	0,87	0,93	0,99	1,06	1,12	1,19	1,26	1,33		
70	f <sub>s</sub>	0,39	0,41	0,44	0,46	0,49	0,53	0,56	0,60	0,64	0,68	0,72	0,76	0,81	45	
80	f <sub>s</sub>	0,50	0,53	0,57	0,61	0,65	0,69	0,74	0,78	0,84	0,89	0,94	1,00	1,05		
90	f <sub>s</sub>	0,64	0,68	0,72	0,77	0,82	0,87	0,93	0,99	1,06	1,12	1,19	1,26	1,33		
100	f <sub>s</sub>	0,79	0,84	0,89	0,95	1,01	1,08	1,15	1,23	1,30	1,39	1,47	1,56	1,64		
110	f <sub>s</sub>	0,95	1,01	1,08	1,15	1,22	1,30	1,39	1,48	1,58	1,68	1,78	1,88	1,99		
120	f <sub>s</sub>	1,13	1,20	1,28	1,36	1,45	1,55	1,66	1,76	1,88	2,00	2,12	2,24	2,37		
130	f <sub>s</sub>	1,33	1,41	1,50	1,60	1,71	1,82	1,94	2,07	2,21	2,34	2,49	2,63	2,78		
140	f <sub>s</sub>	1,54	1,64	1,74	1,86	1,98	2,11	2,25	2,40	2,56	2,72	2,88	3,05	3,22		
100	S	76,24	71,90	67,73	63,78	60,05	56,55	53,30	50,29	47,53	45,00	42,69	40,60	38,69		45
	T	7548	7118	6706	6314	5945	5598	5276	4979	4705	4455	4227	4019	3830		
	1T	7548	7118	6706	6314	5945	5598	5276	4979	4705	4455	4227	4019	3830		
	f <sub>r</sub>	0,82	0,87	0,92	0,98	1,04	1,10	1,17	1,24	1,31	1,39	1,46	1,54	1,61		
80	f <sub>s</sub>	0,52	0,56	0,59	0,63	0,67	0,71	0,75	0,79	0,84	0,89	0,94	0,98	1,03	45	
90	f <sub>s</sub>	0,66	0,70	0,75	0,79	0,84	0,89	0,95	1,01	1,06	1,12	1,18	1,25	1,31		
100	f <sub>s</sub>	0,82	0,87	0,92	0,98	1,04	1,10	1,17	1,24	1,31	1,39	1,46	1,54	1,61		
110	f <sub>s</sub>	0,99	1,05	1,12	1,18	1,26	1,34	1,42	1,50	1,59	1,68	1,77	1,86	1,95		
120	f <sub>s</sub>	1,18	1,25	1,33	1,41	1,50	1,59	1,69	1,79	1,89	2,00	2,11	2,21	2,32		
130	f <sub>s</sub>	1,38	1,47	1,56	1,65	1,76	1,87	1,98	2,10	2,22	2,34	2,47	2,60	2,73		
140	f <sub>s</sub>	1,60	1,70	1,81	1,92	2,04	2,16	2,30	2,43	2,57	2,72	2,87	3,01	3,16		

Faasijuhme CCST ACSR 99-AL1/ST1A W paigaldustabel

Lisa 4

Taandatud visang / visang	Sümbolid	Faasijuhme mehaaniline ping S [N/mm <sup>2</sup> ] Faasijuhme tõmbejõud T [N] 1 faasijuhme monteerimisjõud 1T [N] Taandatud visangu ripe f <sub>r</sub> / visangu ripe f <sub>s</sub> [m]												Aasta keskmine ping		
		Õhutemperatuur [°C]														
m		-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	N/mm <sup>2</sup>	
Faasijuhme 1 x CCST ACSR 99-AL1/ST1A W																
110	S	73,19	69,18	65,37	61,78	58,42	55,29	52,39	49,71	47,25	45,00	42,94	41,05	39,33	45	
	T	7246	6849	6472	6116	5784	5474	5186	4921	4678	4455	4251	4064	3894		
	1T	7246	6849	6472	6116	5784	5474	5186	4921	4678	4455	4251	4064	3894		
	f <sub>r</sub>	1,03	1,09	1,16	1,22	1,29	1,37	1,44	1,52	1,60	1,68	1,76	1,84	1,92		
80	f <sub>s</sub>	0,55	0,58	0,61	0,65	0,68	0,72	0,76	0,80	0,85	0,89	0,93	0,97	1,02		
90	f <sub>s</sub>	0,69	0,73	0,77	0,82	0,87	0,91	0,97	1,02	1,07	1,12	1,18	1,23	1,29		
100	f <sub>s</sub>	0,85	0,90	0,95	1,01	1,07	1,13	1,19	1,26	1,32	1,39	1,45	1,52	1,59		
110	f <sub>s</sub>	1,03	1,09	1,16	1,22	1,29	1,37	1,44	1,52	1,60	1,68	1,76	1,84	1,92		
120	f <sub>s</sub>	1,23	1,30	1,38	1,46	1,54	1,63	1,72	1,81	1,90	2,00	2,09	2,19	2,29		
130	f <sub>s</sub>	1,44	1,53	1,61	1,71	1,81	1,91	2,01	2,12	2,23	2,34	2,46	2,57	2,68		
140	f <sub>s</sub>	1,67	1,77	1,87	1,98	2,09	2,21	2,34	2,46	2,59	2,72	2,85	2,98	3,11		
120	S	70,26	66,61	63,17	59,95	56,95	54,16	51,58	49,20	47,01	45,00	43,15	41,45	39,89		45
	T	6956	6594	6254	5935	5638	5362	5106	4871	4654	4455	4272	4104	3949		
	1T	6956	6594	6254	5935	5638	5362	5106	4871	4654	4455	4272	4104	3949		
	f <sub>r</sub>	1,28	1,35	1,42	1,50	1,58	1,66	1,74	1,83	1,91	2,00	2,08	2,17	2,25		
100	f <sub>s</sub>	0,89	0,94	0,99	1,04	1,10	1,15	1,21	1,27	1,33	1,39	1,45	1,51	1,56		
110	f <sub>s</sub>	1,08	1,13	1,20	1,26	1,33	1,39	1,46	1,54	1,61	1,68	1,75	1,82	1,89		
120	f <sub>s</sub>	1,28	1,35	1,42	1,50	1,58	1,66	1,74	1,83	1,91	2,00	2,08	2,17	2,25		
130	f <sub>s</sub>	1,50	1,58	1,67	1,76	1,85	1,95	2,05	2,14	2,24	2,34	2,44	2,55	2,64		
140	f <sub>s</sub>	1,74	1,84	1,94	2,04	2,15	2,26	2,37	2,49	2,60	2,72	2,84	2,95	3,07		
130	S	67,53	64,25	61,17	58,30	55,63	53,16	50,87	48,75	46,80	45,00	43,34	41,80	40,38		45
	T	6685	6360	6056	5772	5507	5263	5036	4827	4633	4455	4290	4138	3998		
	1T	6685	6360	6056	5772	5507	5263	5036	4827	4633	4455	4290	4138	3998		
	f <sub>r</sub>	1,56	1,64	1,72	1,81	1,90	1,98	2,07	2,16	2,25	2,34	2,43	2,52	2,61		
100	f <sub>s</sub>	0,92	0,97	1,02	1,07	1,12	1,17	1,23	1,28	1,33	1,39	1,44	1,49	1,55		
110	f <sub>s</sub>	1,12	1,18	1,23	1,30	1,36	1,42	1,48	1,55	1,61	1,68	1,74	1,81	1,87		
120	f <sub>s</sub>	1,33	1,40	1,47	1,54	1,62	1,69	1,77	1,84	1,92	2,00	2,07	2,15	2,23		
130	f <sub>s</sub>	1,56	1,64	1,72	1,81	1,90	1,98	2,07	2,16	2,25	2,34	2,43	2,52	2,61		
140	f <sub>s</sub>	1,81	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	2,41	2,51	2,61	2,72	2,82	2,93	3,03		
140	S	65,04	62,11	59,38	56,84	54,47	52,28	50,25	48,36	46,62	45,00	43,50	42,11	40,81	45	
	T	6439	6149	5879	5627	5393	5176	4974	4788	4615	4455	4306	4169	4040		
	1T	6439	6149	5879	5627	5393	5176	4974	4788	4615	4455	4306	4169	4040		
	f <sub>r</sub>	1,88	1,97	2,06	2,15	2,25	2,34	2,44	2,53	2,62	2,72	2,81	2,91	3,00		
110	f <sub>s</sub>	1,16	1,22	1,27	1,33	1,39	1,44	1,50	1,56	1,62	1,68	1,74	1,79	1,85		
120	f <sub>s</sub>	1,38	1,45	1,51	1,58	1,65	1,72	1,79	1,86	1,93	2,00	2,07	2,13	2,20		
130	f <sub>s</sub>	1,62	1,70	1,78	1,86	1,94	2,02	2,10	2,18	2,26	2,34	2,43	2,51	2,59		
140	f <sub>s</sub>	1,88	1,97	2,06	2,15	2,25	2,34	2,44	2,53	2,62	2,72	2,81	2,91	3,00		

Venimise ekvivalentsed temperatuuri kasvud  
Faasijuhme venimise ekvivalentne temperatuuri kasv 15,0 °C